

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena hanya dengan rahmat, ridho, dan kasih sayang-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih dan Penutup Balik Otomatis (*Recloser*) pada Penyulang Junrejo 20 kV Gardu Induk Sengkaling Akibat Gangguan Arus Hubung Singkat" dengan baik. Skripsi ini disusun dalam rangka untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Banyak kendala yang dihadapi penulis dalam penyelesaian skripsi ini. Namun kendala tersebut dapat diatasi berkat bantuan secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut diantaranya:

1. Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
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 Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T. selaku Kepala Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama di Laboratorium serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
5. Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang telah membantu segala urusan para penulis selama ini.
6. Kedua orang tua tercinta, Bapak Suryadi, Ibu Siti Fathonah, kakak-kakak dan adik-adik serta kedua ponakan atas dukungan doa, finansial, dan dorongan semangat yang senantiasa selalu diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Fery Praditama yang telah mengajarkan banyak hal, serta segala dukungan doa, nasihat dan semangat kepada penulis selama beberapa tahun ini.

8. Sahabat tersayang Riezkyna Dea Yunintya atas semangat, doa, waktu, dan hiburan yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
9. Khairina Noor Astuti, Luthfan Bagus, Agam Rido, dan Indah Safti atas bantuan semangat, doa, dan waktu yang selalu tersedia untuk penulis.
10. Muhammad Iqbal, Anastasia Indah, Abdul Azis, Riza Aryanto serta adik-adik 2011 dan 2012 rekan asisten Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan semangat, bantuan dan hiburan kepada penulis.
11. Rekan-rekan Konsentrasi Teknik Energi Elektrik yang menjadi teman diskusi dalam pengerjaan skripsi ini.
12. Teman-teman mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, khususnya keluarga besar Magnet'10 yang telah mendukung dan membantu selama proses pengerjaan skripsi.
13. Teman-teman COVA dan TULUS memberi semangat dan hiburan selama proses pengerjaan skripsi.
14. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik yang tidak dapat disebutkan satu persatu secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Sekiranya Allah SWT mencatat amalan ikhlas kami dan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Amin.

Malang, Maret 2015

Penulis

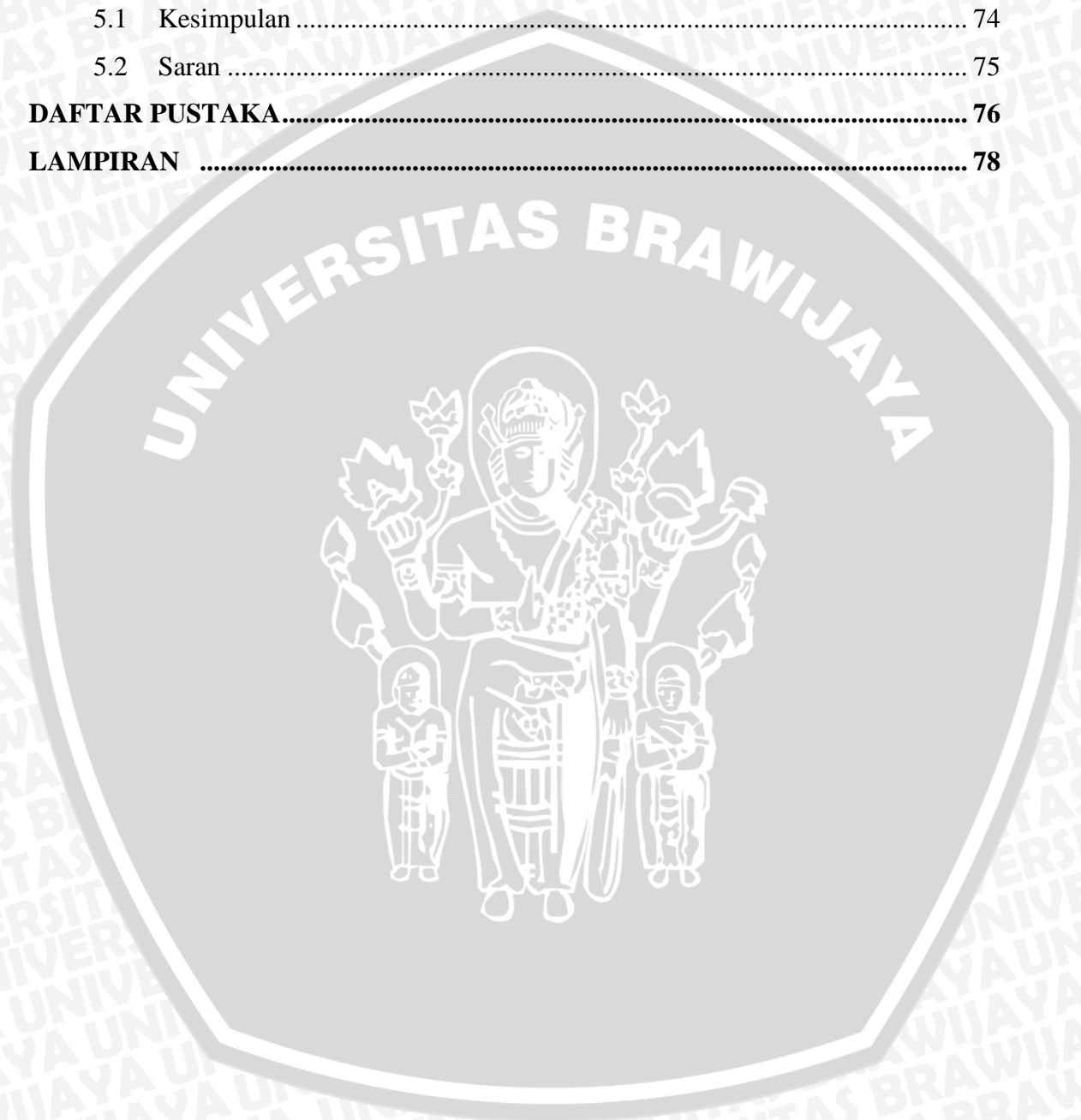
## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>x</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	4
2.2 Gangguan Pada Sistem Distribusi.....	6
2.3 Arus Gangguan .....	10
2.3.1 Komponen Simetris.....	10
2.3.2 Gangguan Hubung Singkat .....	12
2.3.2.1 Gangguan Hubung Singkat tiga Fasa.....	13
2.3.2.2 Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa.....	14
2.4 Perhitungan Impedansi.....	14
2.4.1 Perhitungan Impedansi Sumber .....	15
2.4.2 Perhitungan Impedansi Transformator.....	16
2.4.3 Perhitungan Impedansi Penyulang.....	17
2.4.4 Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan .....	17
2.5 Sistem Pengaman Jaringan Distribusi 20 kV .....	18
2.6 Peralatan Pengaman Arus Lebih .....	19
2.6.1 Penutup Balik Otomatis (PBO) atau <i>Recloser</i> .....	19
2.6.2 Rele Pengaman.....	21
2.6.2.1 Rele Arus Lebih .....	23
2.6.2.2 Karakteristik Rele Arus Lebih .....	25
2.7 Dasar Penyetelan Rele .....	31

2.7.1	Batas Manimum .....	31
2.7.2	Batas Maksimum.....	31
2.7.3	Dasar Penyetelan Waktu Kerja .....	31
2.7.3.1	Rele Paling Hilir .....	31
2.7.3.2	Rele Satu Seksi di Hulunya.....	31
2.8	Daerah Pengamanan.....	31
2.9	Koordinasi Pengaman .....	32
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>34</b>
3.1	Pengambilan Data .....	34
3.2	Perhitungan Arus Hubung Singkat .....	35
3.3	Analisis Koordinasi Pemasangan Pengaman .....	35
3.4	Penutup .....	36
<b>BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS KOORDINASI RECLOSER DAN RELE ARUS LEBIH PADA PENYULANG 20 KV GARDU INDUK SENGKALING .....</b>		<b>37</b>
4.1	Gardu Induk Sengkaling .....	37
4.2	Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat.....	41
4.2.1	Menghitung Impedansi Sumber.....	42
4.2.2	Menghitung Impedansi Transformator Daya.....	42
4.2.3	Menghitung Impedansi Penyulang.....	43
4.2.4	Menghitung Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan Urutan Negatif.....	44
4.2.5	Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat pada Penyulang Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling.....	45
4.2.5.1	Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.....	46
4.2.5.2	Arus Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa.....	47
4.2.6	Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat .....	51
4.3	Perhitungan Setelan <i>Recloser</i> dan Rele Arus Lebih .....	51
4.3.1	Penyetelan Arus dan TMS di <i>Recloser</i> .....	51
4.3.2	Penyetelan Arus dan TMS di Sisi Penyulang .....	52
4.3.3	Penyetelan Arus dan TMS di Sisi Masukan 20 kV.....	56
4.3.4	Analisis Penyetelan <i>Recloser</i> dengan Rele Arus Lebih.....	60
4.4	Penyetelan Ulang Setelan Rele Arus Lebih Sisi Penyulang .....	60

4.4.1 Penyetelan Arus dan TMS Baru Rele Arus Lebih Sisi Penyulang .60  
4.4.2 Analisis Penyetelan Baru *Recloser* dengan Rele Arus Lebih .....65  
4.5 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Keadaan di Lapangan.....66

**BAB V PENUTUP ..... 74**  
5.1 Kesimpulan ..... 74  
5.2 Saran ..... 75  
**DAFTAR PUSTAKA..... 76**  
**LAMPIRAN ..... 78**



## DAFTAR GAMBAR

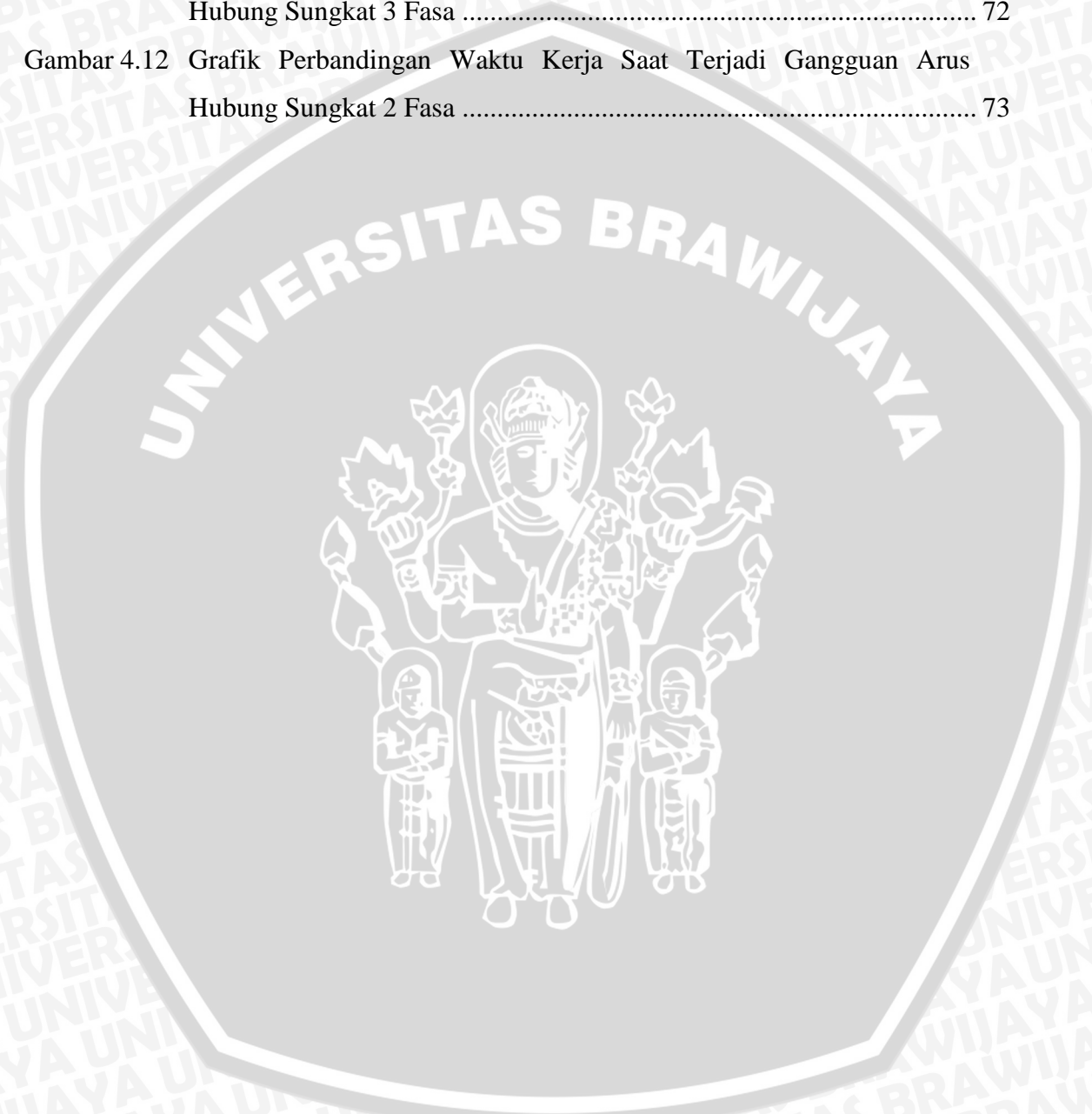
Gambar 2.1	Skema Sistem Energi Listrik.....	5
Gambar 2.2	Tiga Himpunan Fasor Seimbang yang Merupakan Komponen Simetris dari Tiga Fasor Tidak Seimbang .....	11
Gambar 2.3	Penjumlahan Secara Grafis Komponen-komponen Untuk Mendapatkan Fasor-fasor Tak Seimbang.....	11
Gambar 2.4	Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.....	14
Gambar 2.5	Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa.....	14
Gambar 2.6	<i>Single line</i> diagram jaringan distribusi.....	15
Gambar 2.7	Konversi XS dari 150 kV ke 20 kV .....	15
Gambar 2.8	Bentuk Buka Tutup Hingga Terkunci pada <i>Recloser</i> .....	21
Gambar 2.9	Skema Konsep Kerja Rele .....	22
Gambar 2.10	Bagan Elemen Dasar Rele Pengaman .....	22
Gambar 2.11	Karakteristik Rele Arus Lebih <i>Instant</i> .....	25
Gambar 2.12	Rangkaian Rele Arus Lebih Dengan Karakteristik <i>Instant</i> .....	26
Gambar 2.13	Karakteristik Arus Lebih <i>Definite</i> .....	28
Gambar 2.14	Karakteristik Operasi <i>Relay Invers Time</i> .....	29
Gambar 2.15	Daerah Pengaman Distribusi.....	32
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	34
Gambar 4.1	Diagram Satu Garis Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang.....	38
Gambar 4.2	Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo .....	39
Gambar 4.3	Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo dengan Berbagai Titik Gangguan .....	41
Gambar 4.4	Grafik Gangguan Arus Hubung Singkat.....	50
Gambar 4.5	Grafik Waktu Kerja Rele Saat Gangguan Arus Hubung Singkat 3 Fasa Penyulang Junrejo.....	58
Gambar 4.6	Grafik Waktu Kerja Rele Saat Gangguan Arus Hubung Singkat 2 Fasa Penyulang Junrejo.....	59
Gambar 4.7	Grafik Waktu Kerja Rele Baru Saat Gangguan Arus Hubung Singkat 3 Fasa .....	64
Gambar 4.8	Grafik Waktu Kerja Rele Baru Saat Gangguan Arus Hubung Singkat 2 Fasa .....	65

Gambar 4.9 Grafik Waktu Kerja Rele saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Lapangan..... 68

Gambar 4.10 Grafik Waktu Kerja Rele saat TerjadiGangguan Hubung Singkat 2 Fasa di Lapangan..... 70

Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Waktu Kerja Saat Terjadi Gangguan Arus Hubung Sungkat 3 Fasa ..... 72

Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Waktu Kerja Saat Terjadi Gangguan Arus Hubung Sungkat 2 Fasa ..... 73

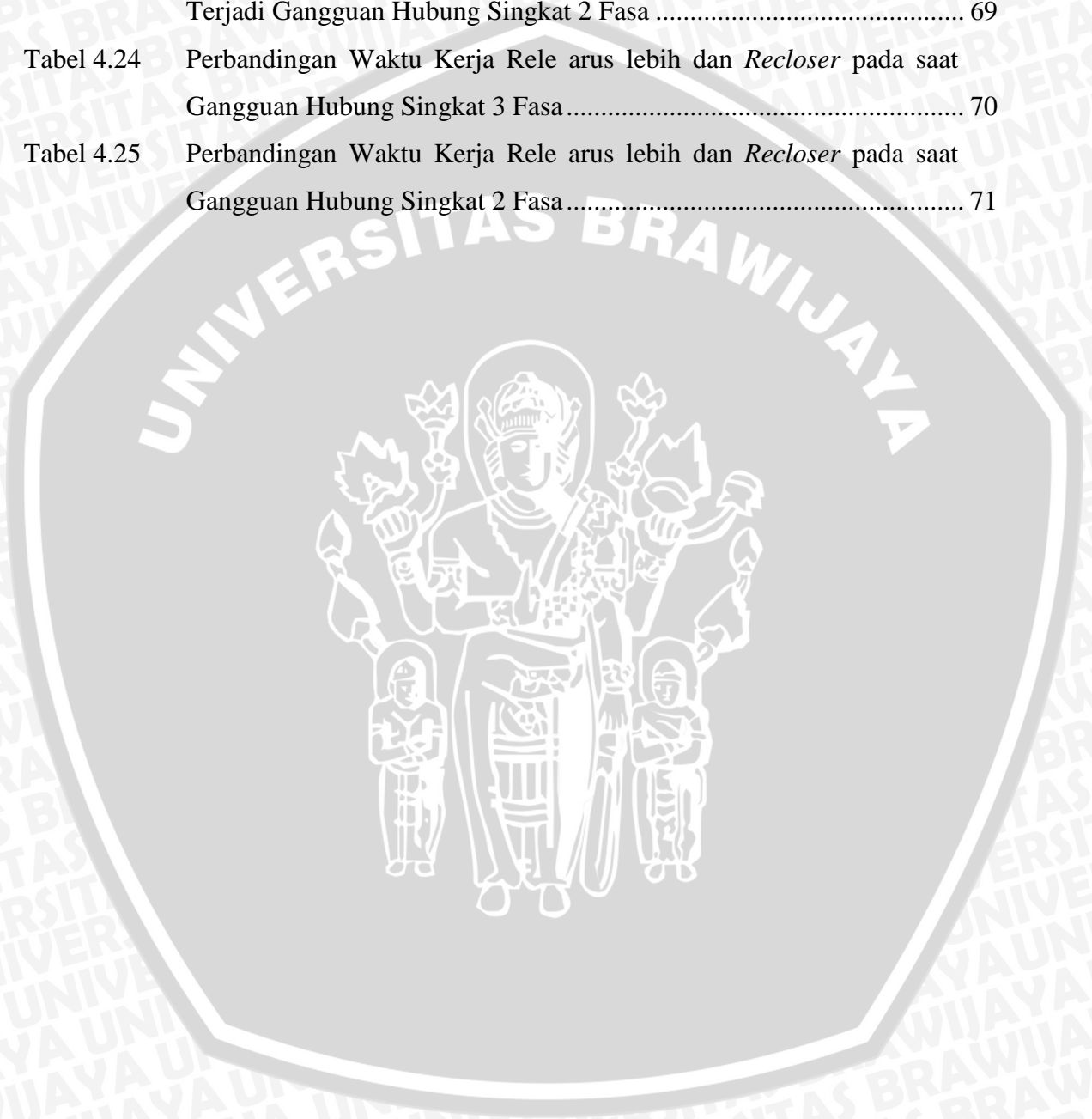


## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang .....	40
Tabel 4.2	Data Rele Arus Lebih Sisi masukan (incoming) 20 kV .....	40
Tabel 4.3	Data Rele Arus Lebih Sisi Keluaran (Outgoing) 20 kV Malang .....	40
Tabel 4.4	Data Penutup Balik Otomatis atau <i>Recloser</i> Malang .....	41
Tabel 4.5	Hasil perhitungan impedansi sumber dan reaktansi urutan positif sistem 20 kV penyulang Junrejo .....	43
Tabel 4.6	Impedansi penyulang mulai dari GI hingga <i>Recloser</i> dengan panjang 2,2 km.....	43
Tabel 4.7	Impedansi penyulang mulai dari GI hingga <i>Recloser</i> dengan panjang 20,885 km.....	43
Tabel 4.8	Hasil perhitungan impedansi ekivalen ( $Z_{1eki}$ dan $Z_{2eki}$ ) menurut lokasi terjadinya gangguan mulai dari GI hingga <i>Recloser</i> dengan panjang 1.916 km. ....	44
Tabel 4.9	Hasil perhitungan impedansi ekivalen( $Z_{1eki}$ dan $Z_{2eki}$ ) menurut lokasi terjadinya gangguan mulai dari <i>Recloser</i> hingga ujung penyulang Junrejo dengan panjang 8,829 km. ....	45
Tabel 4.10	Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa sepanjang Gardu Induk hingga <i>Recloser</i> .....	46
Tabel 4.11	Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa sepanjang Gardu Induk hingga <i>Recloser</i> .....	47
Tabel 4.12	Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa sepanjang Gardu Induk hingga <i>Recloser</i> .....	48
Tabel 4.13	Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa sepanjang Gardu Induk hingga <i>Recloser</i> .....	49
Tabel 4.14	Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa.....	49
Tabel 4.15	Tabel perhitungan pengaturan Rele arus lebih dan <i>Recloser</i> .....	57
Tabel 4.16	Waktu kerja rele pada saat gangguan hubung singkat 3 fasa.....	58
Tabel 4.17	Waktu kerja rele pada saat gangguan hubung singkat 2 fasa.....	59
Tabel 4.18	Tabel perhitungan baru pengaturan rele arus lebih dan recloser.....	63
Tabel 4.19	Waktu kerja rele baru pada saat gangguan hubung singkat 3 fasa.....	63
Tabel 4.20	Waktu kerja rele baru pada saat gangguan hubung singkat 2 fasa.....	64



Tabel 4.21	Perbandingan Penyetelan Rele arus lebih dan <i>Recloser</i> yang diterapkan di lapangan dengan penyetelan hasil perhitungan.....	66
Tabel 4.22	Waktu Kerja Rele arus lebih dengan <i>Recloser</i> di Lapangan pada saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa .....	67
Tabel 4.23	Waktu Kerja Rele arus lebih dengan <i>Recloser</i> di Lapangan pada saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa .....	69
Tabel 4.24	Perbandingan Waktu Kerja Rele arus lebih dan <i>Recloser</i> pada saat Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa.....	70
Tabel 4.25	Perbandingan Waktu Kerja Rele arus lebih dan <i>Recloser</i> pada saat Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa.....	71



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I.1	Tabel Perhitungan Arus Gangguan Penyulang Junrejo 20 kV Gardu Induk Sengkaling Trafo III 150/20 kV 30 MVA .....	74
Lampiran I.2	Arus Hubung Singkat GI/GITET P3B Jawa Bali Semester Dua, Tahun 2012 Untuk Perhitungan Sistem Proteksi .....	81
Lampiran I.3	Tabel Tahanan dan Reaktansi Penghantar AAAC Tegangan 20 kV ....	82
Lampiran I.4	Daftar Trafo .....	83
Lampiran I.5	Beban Trafo dan Penyulang Gardu Induk Sengkaling .....	84
Lampiran I.6	Data Gardu Junrejo .....	85
Lampiran I.7	Penerepan <i>Setting</i> OCR Trafo Distribusi UPT Malang 2010 .....	86
Lampiran I.8	<i>Setting</i> Relay Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang 2014 .....	87
Lampiran I.9	Kawat Penghantar .....	88
Lampiran I.10	Laporan Harian Gangguan Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang Periode 1 Januari-31 Desember 2013 .....	89
Lampiran I.11	Rekapitulasi Gangguan Penyulang Bulanan Periode Bulan Desember 2013 .....	90
Lampiran I.12	Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo .....	92
Lampiran I.13	Diagram Satu Garis Proteksi Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang .....	93
Lampiran I.14	Diagram Satu Garis Koordinasi Proteksi Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang .....	94

## ABSTRAK

**Mega Firdausi Nuzulla**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2015, *Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih dan Penutup Balik Otomatis (Recloser) pada Penyulang Junrejo 20 kV Gardu Induk Sengkaling Akibat Gangguan Arus Hubung Singkat*, Dosen Pembimbing: Ir. Hery Purnomo, M.T. dan Ir. Teguh Utomo, M.T.

Di dalam jaringan distribusi 20 kV sering terjadi gangguan, salah satunya adalah gangguan arus hubung singkat. Dalam mengatasi gangguan arus hubung singkat ini diperlukan koordinasi antar pengaman jaringan distribusi agar dapat mengisolasi gangguan dan melindungi jaringan distribusi serta peralatan yang berada di jaringan tersebut. Koordinasi antara Penutup Balik Otomatis (*Recloser*) sebagai pengaman utama dengan Rele arus lebih baik pada sisi penyulang maupun masukan 20 kV sebagai pengaman cadangan haruslah tepat. Pada penelitian ini dihitung besar arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa yang akan digunakan sebagai penyetelan *Recloser* dan Rele arus lebih. Dari hasil perhitungan dan analisis didapatkan bahwa terjadi kesalahan koordinasi antara *Recloser* dengan Rele arus lebih sisi penyulang, dimana Rele pada sisi penyulang sudah bekerja dengan karakteristik rele *instant* ( $t = 40$  milidetik) pada daerah kerja *Recloser* yang memiliki waktu kerja 0,3 detik. Hal ini dapat mengakibatkan Rele arus lebih di sisi penyulang yang merupakan pengaman cadangan bekerja terlebih dahulu dibandingkan *Recloser* yang merupakan pengaman utama. Dilakukan perhitungan dan analisis ulang dengan merubah penyetelan Rele arus lebih di sisi penyulang menggunakan karakteristik *invers*. Penyetelan Rele arus lebih di sisi penyulang ini berhasil memperbaiki koordinasi antara *Recloser* dengan Rele arus lebih sisi penyulang maupun masukan 20 kV dengan waktu tunda 0,4 detik sesuai dengan ketentuan PLN.

**Kata kunci:** gangguan hubung singkat, koordinasi proteksi, *recloser*, rele arus lebih.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Keandalan pada suatu sistem tenaga listrik dibutuhkan untuk menjamin kontinuitas penyaluran tenaga listrik hingga ke konsumen. Jumlah pemadaman atau gangguan yang terjadi pada suatu sistem tenaga listrik menjadi acuan dalam menentukan keandalan suatu sistem tenaga listrik. Keandalan dikatakan bahwa sistem proteksi yang terpasang itu benar-benar handal, proteksi haruslah memiliki tingkat selektifitas, ekonomis, kecepatan bereaksi dan tingkat kepekaan yang tinggi.

Sistem proteksi merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Tanpa adanya pengamanan, tenaga listrik yang dihasilkan tidak dapat ditransmisikan dan didistribusikan kepada konsumen dengan tingkat keandalan yang tinggi. PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Timur Area Malang memiliki misi menjadikan tenaga listrik sebagai media untuk meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat. Sehingga, PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Timur Area Malang dituntut untuk terus meningkatkan kinerja pelayanannya dalam melayani ketersediaan energi listrik di Malang Raya. Pada sisi lain, kondisi sistem kelistrikan di wilayah ini masih memerlukan banyak perhatian mengingat sistem yang terpasang adalah skala besar mulai dari perkotaan sampai kepegunungan, mulai dari industri, perumahan sampai ke desa-desa, dimana faktor alam sangat mempengaruhi distribusi energi listrik pada wilayah ini.

Salah satu permasalahan yang ada di Gardu Induk Sengkaling, yaitu sering terjadi gangguan hubung singkat pada salah satu penyulang yang dipasok oleh transformator daya III. Tercatat sepanjang tiga tahun terakhir ini hampir setiap bulannya sering terjadi gangguan hubung singkat, bahkan dalam beberapa bulan terakhir terjadi gangguan pada penyulang yang berdampak pada *tripnya* rele masukan akibat kegagalan atau keterlambatan sistem proteksi pada penyulang. Hal ini sangat riskan terjadi, karena *tripnya* rele masukan 20 kV mengakibatkan *tripnya* penyulang – penyulang lain yang mendapat suplai dari masukan tersebut yang tidak mengalami gangguan.

Oleh karena itu, PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Timur Area Malang Penyulang Junrejo membutuhkan analisis ulang terhadap sistem kelistrikan sehingga keandalan sistem tetap terjaga. Salah satu metode yang dilakukan adalah koordinasi

peralatan pengaman, terutama koordinasi pada saat terjadi gangguan hubung singkat yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa dengan memfungsikan rele arus lebih baik pada sisi masukan maupun penyulang sebagai pengaman cadangan serta Penutup Balik Otomatis (*Recloser*) yang terletak pada penyulang 20 kV sebagai pengaman utama. Proteksi cadangan ini umumnya mempunyai perlambatan waktu (*time delay*). Hal ini bertujuan untuk memberikan kesempatan kepada proteksi utama beroperasi terlebih dahulu, sehingga jika proteksi utama gagal baru proteksi cadangan yang akan beroperasi. Untuk memenuhi fungsi tersebut maka waktu pengaman utama diatur lebih cepat daripada pengaman cadangan. Pengaman dengan kemampuan selektif yang baik dibutuhkan untuk mencapai keandalan sistem yang tinggi karena tindakan pengaman yang cepat dan tepat dapat memperkecil wilayah gangguan yang dalam analisis ini akan dilakukan di wilayah penyulang Junrejo GI Sengkaling.

Hasil analisis ini akan dipakai sebagai acuan untuk melakukan perubahan konfigurasi maupun pengembangan sistem kelistrikan secara keseluruhan dalam usaha peningkatan keandalan dan kontinuitas suplai daya pada PT PLN.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini ditekankan pada :

1. Berapa besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan dua fasa pada busbar 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang.
2. Bagaimana setelan peralatan pengaman Rele Arus Lebih dan *Recloser* terpasang di penyulang Gardu Induk Sengkaling PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Timur Area Malang.
3. Bagaimana koordinasi peralatan pengaman Rele Arus Lebih dan *Recloser* di penyulang Gardu Induk Sengkaling PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Timur Area Malang.

## 1.3 Batasan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang ada, maka penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Analisis sistem daya yang dilakukan meliputi analisis hubung singkat tiga fasa dan dua fasa.

2. Peralatan pengaman yang disetting dan dikoordinasi yaitu rele arus lebih baik di sisi *incoming* maupun *outgoing* dan *Recloser*.
3. Peralatan pengaman yang terletak pada sistem distribusi jaringan tegangan menengah 20 kV seperti *Fuse Cut Out (FCO)*, *Sectionanalyzer (SSO)*, *Load Break Switch (LBS)*, *Automatic Vacuum Switch (AVS)* tidak dianalisis.
4. Studi kasus dilaksanakan di jaringan distribusi 20kV di Gardu Induk Sengkaling Transformator III 150/20 kV 30 MVA penyulang Junrejo PT. PLN PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Timur Area Malang.

#### 1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis bagaimana koordinasi pengaman antara rele arus lebih dengan Penutup Balik Otomatis atau *Recloser* di penyulang Junrejo Gardu Induk Sengkaling PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Timur Area Malang saat terjadi gangguan arus hubung singkat.

#### 1.5 Sistematika Penulisan

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

##### **BAB I : PENDAHULUAN**

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

##### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Penulisan skripsi ini dikerjakan berdasarkan teori-teori yang berlaku dan telah teruji secara akademis. Oleh karena itu, pada bagian kedua skripsi berisi mengenai konsep-konsep yang digunakan sebagai dasar untuk menyelesaikan permasalahan.

##### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Memberikan penjelasan tentang metode yang digunakan dalam skripsi ini, meliputi metode pengambilan data, perhitungan, dan analisis.

##### **BAB IV : PEMBAHASAN**

Memberikan menjelaskan tentang analisis dan perhitungan hasil penelitian yang telah dilaksanakan.

##### **BAB V : PENUTUP**

Dalam bab ini memberikan kesimpulan dan saran sehubungan dengan penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

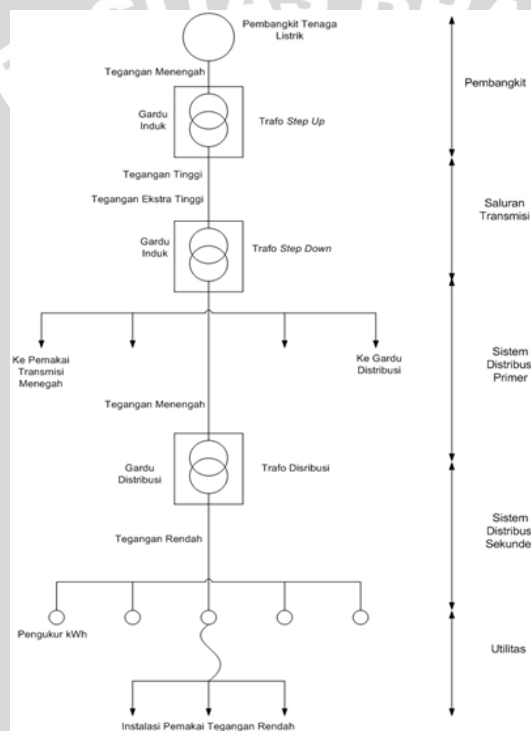
Tanpa listrik infra-struktur masyarakat sekarang tidak akan menyenangkan. Makin bertambahnya konsumsi listrik per kapita diseluruh dunia menunjukkan kenaikan standar kehidupan manusia. Pemanfaatan secara optimum bentuk energi ini oleh masyarakat dapat dibantu dengan sistem distribusi yang efektif (Pabla, A S, 1986:1).

Suatu sistem energi listrik mengandung empat unsur. Pertama, adanya unsur pembangkit tenaga listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik itu biasanya adalah tegangan menengah (TM). Kedua, suatu sistem transmisi, lengkap dengan gardu induk. Karena jaraknya yang biasanya jauh, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TT) atau tegangan ekstra tinggi (TET). Ketiga, adanya saluran distribusi, yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dengan tegangan rendah (TR). Keempat, adanya unsur pemakaian atas utilisasi, yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik. Instalasi rumah tangga biasanya memakai tegangan rendah, sedangkan pemakai besar seperti industri mempergunakan tegangan menengah ataupun tegangan tinggi. Pada gambar 2.1 ditunjukkan skema suatu sistem energi listrik. Perlu dikemukakan bahwa suatu sistem dapat terdiri atas beberapa subsistem yang saling berhubungan, atau yang biasa disebut sebagai sistem terinterkoneksi (Kadir, 2006:5).

Energi listrik dibangkitkan pada pembangkit tenaga listrik (PTL), yang dapat merupakan suatu pusat listrik tenaga uap (PLTU), pusat tenaga listrik air (PLTA), pusat listrik tenaga gas (PLTG), pusat listrik tenaga diesel (PLTD), ataupun pusat listrik tenaga nuklir (PLTN). Jenis PTL yang dipakai, pada umumnya tergantung dari jenis bahan bakar atau energi primer yang tersedia. Pada sistem besar sering ditemukan beberapa jenis PTL. Perlu pula dikemukakan bahwa PLTD biasanya dipakai pada sistem yang lebih kecil. PTL biasanya membangkitkan energi listrik pada tegangan menengah (TM), yaitu pada umumnya antara 6 dan 20 kV. Pada sistem tenaga listrik yang besar, atau bilamana PTL terletak jauh dari pemakai, maka energi listrik itu perlu dingkut melalui saluran transmisi, dan tegangannya harus dinaikkan dari TM menjadi tegangan tinggi (TT). Pada jarak yang sangat jauh malah digunakan tegangan ekstra tinggi (TET). Menaikkan tegangan itu dilakukan di gardu induk (GI) dengan mempergunakan transformator penaik (*step-up transformer*). Tegangan tinggi di



Indonesia adalah 70 kV, 150 kV dan 275 kV. Sedangkan tegangan ekstra tinggi 500 kV. Digunakannya tegangan setinggi mungkin untuk memperkecil arus yang mengalir pada transformator step up, sehingga rugi-rugi daya pada sistem penyaluran daya jarak jauh dapat dikurangi. Bagaimanapun juga untuk sekarang ini, adalah suatu kenyataan pokok bahwa makin besar tegangan, suplai akan semakin murah. Karena  $P = VI \cos \phi$  watt, berlaku bahwa suatu pertambahan tegangan memberi pengurangan arus pada jumlah daya dan faktor daya yang diberikan. Dalam keadaan seperti ini, dapat dikatakan bahwa arus sebanding terbalik dengan tegangan. Arus yang lebih kecil jelas menghasilkan pengurangan ukuran kabel dan panel hubung bagi kehilangan  $I^2R$  dan penurunan tegangan. Hal ini merupakan kecenderungan pemakaian tegangan yang semakin tinggi.



Gambar 2.1 Skema Sistem Energi Listrik

Sumber : Kadir (2006:5)

Mendekati pusat pemakaian tenaga listrik, yang dapat merupakan suatu industri atau suatu kota, tegangan tinggi diturunkan menjadi tegangan menengah (TM). Hal ini juga dilakukan pada suatu GI dengan mempergunakan transformator penurun (*step-down transformer*). Di Indonesia tegangan menengah adalah 20 kV. Saluran 20 kV ini menelusuri jalan-jalan di seluruh kota dan merupakan sistem distribusi primer. Bilamana transmisi tenaga listrik dilakukan dengan mempergunakan saluran-saluran udara dengan menara menara transmisi, sistem distribusi primer di kota biasanya terdiri atas kabel-kabel tanah yang tertanam di tepi jalan, sehingga tidak terlihat.

Di tepi-tepi jalan, biasanya berdekatan dengan persimpangan, terdapat gardu-gardu distribusi (GD), yang mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah (TR) melalui transformator distribusi (*distribution transformer*). Melalui tiang-tiang listrik yang terlihat di tepi jalanan, energi listrik tegangan rendah disalurkan kepada para pemakai. Di Indonesia, tegangan rendah adalah 220/380 volt, dan merupakan sistem distribusi sekunder. Pada tiang-tiang TR terpasang pula lampu-lampu penerangan jalan umum.

Energi diterima pemakai dari tiang TR melalui konduktor atau kawat yang dinamakan sambungan rumah (SR), dan berakhir pada alat pengukur listrik yang sekaligus merupakan titik akhir pemilikan PLN. Setelah titik ini, berawal unsur utilisasi pada instalasi pemakai tenaga listrik (Kadir, 2006:6).

## 2.2 Gangguan Pada Sistem Distribusi

Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya sistem energi listrik yang menyebabkan suplai energi listrik terputus. Gangguan pada jaringan distribusi lebih banyak terjadi pada saluran udara (SUTM) yang umumnya lebih rentan dibandingkan dengan saluran distribusi yang ditanam pada tanah (SKTM). Sumber gangguan pada jaringan distribusi dapat berasal dari dalam sistem maupun dari luar sistem distribusi.

1. Gangguan distribusi dari dalam sistem
  - a) Arus lebih atau tegangan lebih
  - b) Pemasangan yang kurang tepat
  - c) Usia pemakaian peralatan
2. Gangguan distribusi dari luar sistem
  - a) Sambaran petir
  - b) Hujan atau cuaca
  - c) Penggalan tanah
  - d) Hewan
  - e) SUTM yang terkena dahan/ranting pohon

Berdasarkan sifat gangguannya, gangguan pada sistem distribusi dapat dibagi menjadi:

- a) Gangguan temporer

Gangguan yang bersifat sementara dan terjadi dalam hanya pada waktu yang singkat saja dimana kemudian sistem kembali pada keadaan normal.

Misalnya gangguan yang disebabkan oleh petir, hewan atau pohon, dimana terjadi loncatan api pada isolasi udara atau minyak (Hutahuruk, 1991:6).

Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya dengan cara memutuskan bagian yang terganggu sesaat, kemudian menutup balik kembali, baik secara otomatis maupun secara manual oleh operator. Bila gangguan tidak dapat dihilangkan dengan sendirinya atau dengan *recloser* maka dapat menjadi gangguan permanen dan dapat menyebabkan pemutusan permanen. Gangguan temporer yang terjadi berulang-ulang kali dapat menjadi gangguan permanen dan dapat merusak peralatan listrik.

#### b) Gangguan permanen

Gangguan yang baru dapat dihilangkan atau diperbaiki setelah bagian yang terganggu itu diisolir dengan bekerjanya pemutus daya (Hutahuruk, 1991:6).

Gangguan ini bersifat tetap dan ditandai dengan jatuhnya (*trip*) kembali pemutus daya setelah operator memasukkan sistem kembali setelah terjadi gangguan. Untuk mengatasi gangguan-gangguan sebuah peralatan harus dilengkapi dengan sistem pengaman rele, dimana sistem pengaman ini diharapkan dapat mendeteksi adanya gangguan sesuai dengan fungsi dan daerah pengamanannya.

Sebuah gangguan sangat identik dengan sebuah pemadaman. Dan secara umum pemadaman dapat disebabkan oleh dua hal, yakni :

#### a) Pemadaman Karena Pekerjaan Jaringan

Pekerjaan jaringan yang dimaksud adalah pekerjaan yang dilakukan karena adanya kegiatan jaringan seperti :

- Perluasan jaringan untuk memenuhi pertumbuhan dan meningkatnya beban
- Penggantian dan perbaikan peralatan jaringan yang sudah tidak memenuhi persyaratan teknis.
- Rehabilitasi jaringan
- Pemeliharaan jaringan
- Pencarian titik penyebab gangguan

Adanya pemadaman karena pekerjaan sosial bertujuan untuk keselamatan pekerja jaringan dan lingkungan sekitar.

## b) Pemadaman Akibat Gangguan Pada Jaringan Distribusi

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan pemadaman akibat gangguan jaringan distribusi, antara lain :

- Faktor teknis
- Faktor manusia (*human error*)
- Faktor internal
- Faktor eksternal

Gangguan yang terjadi dalam jaringan distribusi dapat disebabkan oleh kelalaian manusia (pegawai) didalam mengenai peralatan listrik baik dari dalam instalasi, kalibrasi peralatan, atau karena kecerobohan operator. Meskipun gangguan yang disebabkan manusia ini bisa saja terjadi namun prosentasenya sangat kecil.

Faktor internal adalah penyebab gangguan yang berasal dalam sistem itu sendiri, biasanya karena menurunnya kekuatan peralatan seperti :

- Pin isolator rusak karena getaran kawat
- Trafo rusak karena beban berlebih
- Kawat putus karena isolator yang merenggang

Gangguan yang sering terjadi pada jaringan distribusi diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yakni :

### 1. Dilihat dari fasanya (hubung singkat)

Gangguan ini disebut juga dengan gangguan hubung singkat. Hubung singkat terjadi disebabkan oleh hubungan antar penghantar bertegangan (antar konduktor) atau antara penghantar bertegangan dan media tidak bertegangan (konduktor dengan tanah) sehingga timbul arus yang besar atau tidak normal. Hubung singkat dapat pula terjadi karena adanya arus yang cukup besar melebihi keadaan normal mengalir pada sistem sebagai akibat dari petir atau *switching* yang menimbulkan tegangan yang cukup besar (*over voltage*) sehingga timbul kebocoran atau menyebabkan percikan (*flash over*) melalui permukaan isolator. Isolator yang sudah terkontaminasi oleh debu dapat menyebabkan percikan selama kondisi tegangan normal.

Terdapat beberapa macam gangguan hubung singkat, yaitu :

- Gangguan fasa dengan tanah (*single line to ground*)
- Gangguan antar fasa dengan tanah (*double line to ground*)
- Gangguan tiga fasa dengan atau tanpa hubungan ke tanah

- Gangguan antar fasa (*line to line*)

Gangguan fasa dengan tanah, gangguan antar fasa dengan tanah, dan gangguan antar fasa menimbulkan arus hubung singkat yang tidak simetris (*asymmetrical short circuit*). Sedangkan gangguan tiga fasa dengan atau tanpa hubungan ke tanah menimbulkan arus hubung singkat yang simetris (*symmetrical short circuit*). Banyak faktor yang memengaruhi jumlah dari masing-masing gangguan seperti konfigurasi jaringan, ketinggian dari overhead ground wire, tegangan, metode pentanahan, tingkat isolasi ke tanah dan antar fasa, kecepatan menghilangkan gangguan, jumlah petir per tahun dan keadaan lingkungan sekitar.

Pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) penyebab gangguan antar fasa (*line to line*) antara lain :

- Kawat fasa lengket atau terhubung satu sama lain akibat jaringan SUTM kendor
- SUTM terkena layang-layang
- Kabel rusak
- Jumper putus dan kemudian menimpa kawat fasa lain

Sedangkan penyebab gangguan ke tanah antara lain :

- Kawat fasa putus dan terhubung ke tanah
- SUTM tertimpa pohon
- Jumper putus mengenai transformator atau tiang
- Isolator tembus/rusak/pecah
- Ground wire putus dan menimpa kawat

Pada SKTM, gangguan dapat disebabkan oleh faktor-faktor :

a. Dari dalam sistem

- Beban lebih
- Usia alat yang sudah tua
- Tegangan dan arus abnormal
- Pemasangan yang kurang tepat

b. Dari luar sistem

- Impuls petir lewat saluran
- Binatang
- Gangguan mekanis akibat galian

- Kendaraan yang lewat di atasnya
2. Dilihat dari rele yang bekerja

Relai berfungsi untuk melindungi saluran dan peralatan terhadap kerusakan dengan cara menghilangkan gangguan yang terjadi secara tepat dan cepat. Selain itu, untuk membatasi daerah yang terkena gangguan seminimum mungkin agar mutu dan keandalan sistem tetap terjamin.

Jenis gangguan dapat dilihat berdasarkan relai yang bekerja, antara lain dengan melihat jenis relai yang bekerja, misalnya relai arus lebih atau *over current relay*. Jika yang bekerja adalah relai arus lebih (menyebabkan PMT *trip*) dipastikan gangguan yang terjadi adalah karena hubung singkat fasa ke fasa. Untuk memastikan perlu dilakukan pemeriksaan dengan mencoba memasukkan PMT penyulang satu kali, bila *trip* kembali terjadi maka perlu dilakukan pengecekan secara visual pada jaringan seperti : pemeriksaan kemungkinan kawat lengket karena kawat kendur, dahan pohon, benda lain dan binatang yang menyangkut antara fasa ke fasa.

3. Dilihat dari bagian peralatan jaringan sistem distribusi.

Gangguan pada sistem distribusi dapat dengan mudah dilihat dan dikenali dari bagian peralatan jaringan yang mengalami kerusakan, misalnya transformator, *arrester* dan isolator.

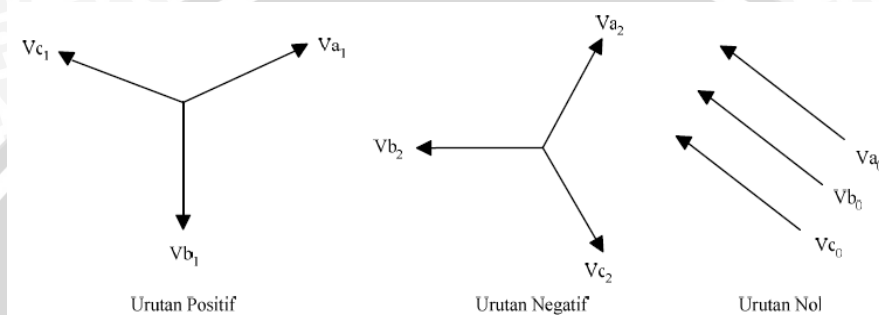
## 2.3 Arus Gangguan

### 2.3.1 Komponen Simetris

Menurut toerama Fortercue, tiga fasa tidak seimbang pada suatu sistem tiga fasa dapat diturunkan menjadi tiga fasor seimbang yaitu (Stevenson, 1994:272) :

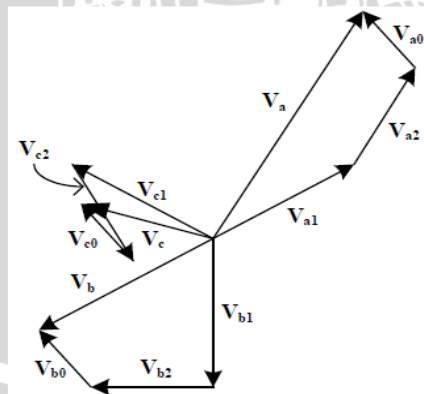
1. Komponen-komponen urutan positif (*positive sequence components*) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam sudut fasa  $120^\circ$  dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
2. Komponen-komponen urutan negatif (*negative sequence components*) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam sudut sebesar  $120^\circ$  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 2.2.



Gambar 2.2 Tiga Himpunan Fasor Seimbang yang Merupakan Komponen Simetris dari Tiga Fasor Tidak Seimbang  
Sumber: Stevenson, 1996:273

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 2.3 Penjumlahan Secara Grafis Komponen-komponen Untuk Mendapatkan Fasor-fasor Tak Seimbang  
Sumber: Stevenson, 1996:274

Dari gambar 2.3 fasor asli dapat dinyatakan dalam suku komponennya atau persamaan sebagai berikut (Stevenson, 1996:273):

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (2.1)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (2.2)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (2.3)$$

### 2.3.2 Gangguan Hubung Singkat

Dari jenis gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu (Penangsang, O., 2005 yang dikutip dalam penelitian yang dilakukan Dhipaatmaja, 2012:6) :

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 :

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.



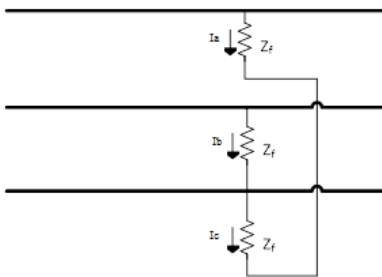
- d. Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem-sistem pengamanan yang berbeda-beda, kejadian ini di kenal sebagai *cascading*.

Perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah analisis suatu sistem tenaga pada saat dalam gangguan hubung singkat, dimana nantinya akan diperoleh besar nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut. Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan dasar isolasi (*basic insulation strenght*) antara sesama kawat fasa, atau antara kawat fasa dengan tanah, yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan atau bias juga disebut gangguan arus lebih. Perhitungan arus gangguan hubung singkat sangat penting untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik pada waktu perencanaan maupun setelah beroperasi nantinya. Perhitungan arus hubung singkat dibutuhkan untuk:

- a. Setelan dan koordinasi peralatan proteksi
- b. Menentukan kapasitas alat pemutus daya
- c. Menentukan rating hubung singkat peralatan-peralatan yang digunakan
- d. Menganalisis sistem jika ada hal-hal yang tidak baik yang terjadi pada waktu sistem sedang beroperasi.
- e. Arus gangguan hubung singkat merupakan aliran arus yang tidak normal (besar) yang disebabkan terjadinya hubungan antara sesama kawat penghantar bertegangan atau antara kawat penghantar bertegangan dengan tanah secara langsung tidak melalui media yang seharusnya (beban/isolator). Oleh karena itu arus hubung singkat dapat dikatakan arus lebih, tetapi arus lebih belum tentu dapat dikatakan arus hubung singkat. Dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat untuk proteksi rele cukup dihitung salah satu fasa aja. Pada perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa ke tanah, nilai impedansi gangguan ( $Z_f$ ) dianggap nol ( $Z_f = 0$ ).

#### 2.3.2.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa diperlihatkan pada gambar 2.4 dibawah ini.



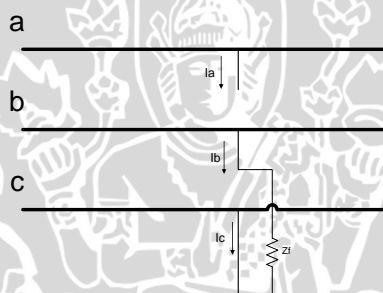
Gambar 2.4 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa  
 Sumber: Stevenson, 1994:305

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

$$I_{hs} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_f} \tag{2.4}$$

**2.3.2.2 Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa**

Gangguan terjadi pada fasa b dan c. Gangguan hubung singkat antar fasa diperlihatkan pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa  
 Sumber: Stevenson, 1994:316

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

$$I_{hs} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \tag{2.5}$$

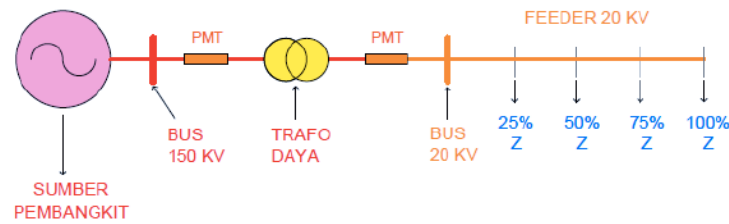
keterangan :

- $I_{hs}$  : Arus hubung singkat (Ampere).
- $E_a$  : Tegangan fasa (V)
- $Z_1$  : Impedansi urutan positif (ohm)
- $Z_2$  : Impedansi urutan negatif (ohm)
- $Z_f$  : Impedansi gangguan hubung singkat (ohm)

**2.4 Perhitungan Impedansi**

Perhitungan arus hubung singkat pada dari sistem 20 kV yang dipasang dari gardu induk seperti pada gambar 2.6 dibawah ini,





Gambar 2.6 Single line diagram jaringan distribusi

Sumber: Sarimun, W., 2011:164

Untuk menghitung arus hubung singkat pada sistem diatas, pertama-tama hitung impedansi sumber (reaktansi) dalam hal ini diambil dari data hubung singkat pada bus 150 kV, kedua menghitung reaktansi transformator tenaga, ketiga menghitung impedansi penyulang.

#### 2.4.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber maka data yang diperlukan adalah data hubung singkat pada bus primer trafo. Besar nilai impedansi sumber (trafo) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus (Sarimun, W., 2012:164):

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.6)$$

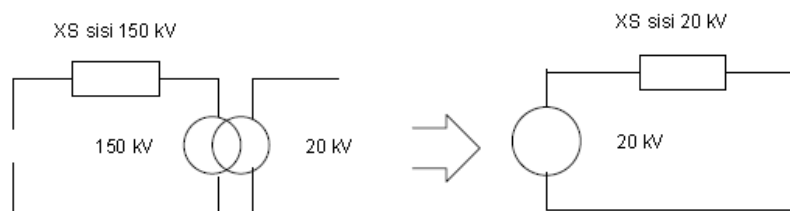
Dimana:

$X_s$  : Impedansi sumber (ohm)

kV : Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA : Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

Perlu diingat bahwa impedansi sumber ini adalah nilai ohm pada sisi 150 kV, karena arus hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat di sisi 20 kV, maka impedansi sumber tersebut harus dikonversi dulu ke sisi 20 kV, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7 dibawah ini. Sehingga pada perhitungan arus gangguan nanti sudah menggunakan sumber 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 kV, dilakukan dengan cara sebagai berikut:



Gambar 2.7 Konversi XS dari 150 kV ke 20 kV

Sumber : Sarimun, W. 2012: 165

Dasar perhitungan untuk mengetahui nilai impedansi sumber pada sisi 20 kV adalah (Sarimun, W., 2012:166):

Daya sisi 150 kV = Daya sisi 20 kV

$$\frac{kV_1^2}{Z_1(\text{sisi } 150 \text{ kV})} = \frac{kV_2^2}{Z_2(\text{sisi } 20 \text{ kV})}$$

$$X_s(\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{20^2}{150^2} X X_s(\text{sisi } 150 \text{ kV}) \quad (2.7)$$

#### 2.4.2 Perhitungan Impedansi Transformator

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahananannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam ohm dihitung dengan cara sebagai berikut. Langkah pertama mencari nilai ohm pada 100% untuk trafo pada 20 kV, yaitu dengan menggunakan rumus (Sarimun, W., 2012:166):

$$Z_B = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.8)$$

Dimana:

$Z_B$  : Impedansi trafo tenaga pada 100% (ohm)

$kV^2$  : Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

$MVA$  : Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Reaktansi urutan positif, negatif ( $X_{11} = X_{12}$ )

$$X_{11} = \text{reaktansi trafo (\%)} \times Z_B \quad (2.9)$$

Reaktansi urutan nol trafo tenaga :

Sebelum menghitung reaktansi urutan nol ( $X_{10}$ ) terlebih dahulu harus diketahui data trafo tenaga itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam kapasitas trafo:

1. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan  $\Delta Y$  dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka :

$$X_{10} = X_{11} \quad (2.10)$$

2. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan  $\Delta Y$  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 :

$$X_{10} = 3 \times X_{11} \quad (2.11)$$

3. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka :

$$X_{t0} = 9 \text{ s/d } 14 \times X_{t1} \quad (2.12)$$

### 2.4.3 Perhitungan Impedansi Penyulang

Menghitung impedansi penyulang, impedansi penyulang ini dihitung tergantung dari besarnya impedansi per meter penyulang yang bersangkutan, dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi tiang yang digunakan untuk jaringan SUTM atau dari jenis tabel kabel tanah untuk jaringan SKTM. Dalam perhitungan disini diambil dengan impedansi  $Z = (R+jX) \Omega/\text{km}$ .

Dalam melakukan penghitungan impedansi penyulang pada penyulang Junrejo yang memiliki satu buah *Recloser*, maka perhitungannya dibagi menjadi dua bagian. Yaitu, bagian mulai dari GI hingga *Recloser* dan dari *Recloser* hingga ujung jaringan.

Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan yang dalam perhitungan ini disimulasikan terjadi pada lokasi dengan jarak 1%, 10%, 20%, hingga 100% panjang penyulang baik pada bagian sebelum *Recloser* maupun setelah *Recloser*. Sehingga untuk impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus (Sarimun, W., 2012:167):

1. Urutan positif dan urutan negatif

$$Z_1 = Z_2 = \text{panjang penyulang (km)} \times Z_1/Z_2 \text{ (ohm)} \quad (2.13)$$

Dimana:

$Z_1$  : impedansi urutan positif (ohm)

$Z_2$  : impedansi urutan negatif (ohm)

2. Urutan nol

$$Z_0 = \text{panjang penyulang (km)} \times Z_0 \text{ (ohm)} \quad (2.14)$$

Dimana:

$Z_0$  : Impedansi urutan nol (ohm)

### 2.4.4 Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan di sini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekuivalen positif ( $Z_{1eki}$ ), negatif ( $Z_{2eki}$ ), dan nol ( $Z_{0eki}$ ) dari titik gangguan sampai ke sumber sesuai dengan urutan diatas. Karena dari sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitungan  $Z_{1eki}$  dan  $Z_{2eki}$  dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan  $Z_{0eki}$  dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya

ditanahkan. Akan tetapi untuk menghitung impedansi  $Z_{0eki}$  ini, harus diketahui dulu hubungan belitan trafonya. Sehingga untuk impedansi ekivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Sarimun, W., 2012:168):

1. Urutan positif dan urutan negatif ( $Z_{1eki} = Z_{2eki}$ )

$$Z_{1eki} = Z_{2eki} = (n\% \times R_{1jar}) + j (X_{SC} + X_T + (n\% \times X_{1jar})) \quad (2.15)$$

Dimana:

$Z_{1eki}$  : impedansi ekivalen jaringan urutan positif (ohm)

$Z_{2eki}$  : impedansi ekivalen jaringan urutan negatif (ohm)

$X_s$  (sisi 20 kV) : impedansi sumber sisi 20 kV (ohm)

$X_{t1}$  : impensi trafo tenaga urutan positif dan negatif (ohm)

$R_{1jar}$  : tahanan jaringan (ohm)

2. Urutan nol

$$Z_{0eki} = (3RN + (n\% \times R_{0jar})) + j (X_{0T} + (n\% \times X_{0jar})) \quad (2.16)$$

Dimana:

$Z_{0eki}$  : impedansi ekivalen jaringan nol (ohm)

$Z_{t0}$  : impedansi trafo tenaga urutan nol (ohm)

$R_N$  : tahanan tanah trafo tenaga (ohm)

$Z_0$  : impedansi urutan nol (ohm)

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 10%, 20%, 30%, hingga 100% panjang penyulang, maka  $Z_{1eki}$ ,  $Z_{2eki}$ , dan  $Z_{0eki}$  yang didapat juga pada lokasi tersebut. Setelah mendapatkan impedansi ekivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya, hanya saja impedansi ekivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah tergantung dari hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah.

## 2.5 Sistem Pengamanan Jaringan Distribusi 20 kV

Jaringan distribusi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik kepihak konsumen/pelanggan. Karena fungsinya tersebut, maka keandalan menjadi sangat penting dan untuk itu jaringan distribusi perlu dilengkapi oleh alat pengamanan.

Pada dasarnya semua konstruksi jaringan distribusi tidak ada yang benar-benar aman dari gangguan yang datangnya dari dalam sistem itu sendiri maupun dari luar sistem. Gangguan tersebut merupakan potensi yang merugikan ditinjau dari beberapa hal, maka perlunya dipasang sistem proteksi yang berfungsi sebagai berikut:

Ada tiga fungsi sistem pengaman dalam jaringan distribusi, antara lain:

- Mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya dari akibat adanya gangguan listrik
- Menjaga keselamatan umum dari akibat gangguan listrik
- Meningkatkan kelangsungan pelayanan tenaga listrik kepada konsumen

Pada sistem distribusi 20 kV hal yang terpenting pada sistem proteksi selain alat proteksi itu sendiri, sistem pentanahan juga merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam sistem proteksi itu sendiri. Misalnya ada gangguan fasa yang bocor ke tanah, maka bila sistem pentanahan tidak sesuai dengan sistem distribusi yang diproteksi, maka alat proteksi tidak akan bekerja dengan benar, sehingga dapat merusak peralatan jaringan maupun membahayakan keselamatan manusia.

## 2.6 Peralatan Pengaman Arus Lebih

Fungsi dari peralatan arus lebih adalah untuk mengatasi gangguan arus lebih yang ada pada sistem distribusi sebelum gangguan tersebut meluas keseluruh sistem yang ada. Peralatan yang banyak digunakan sebagai pengaman arus lebih anatar lain :

- Penutup Balik Otomatis (PBO) atau *Recloser*
- Rele Arus Lebih atau *Over Current Relay (OCR)*

### 2.6.1 Penutup Balik Otomatis (PBO) atau *Recloser*

Sebagian besar gangguan (80-95%) pada jaringan distribusi dan transmisi adalah bersifat temporer (sementara), berlangsung dari beberapa *cycle* sampai beberapa detik. Penyebab gangguan kebanyakan disebabkan oleh dahan ranting pohon yang mengenai saluran udara (Kadarisman, 2010 yang dikutip dari penelitian yang dilakukan oleh Dhipaatmaja, 2012:25).

*Recloser* merupakan suatu peralatan pengaman arus lebih, karena hubung singkat antara fasa dengan fasa atau fasa dengan tanah, dimana *recloser* ini memutuskan arus dan menutup kembali secara otomatis dengan selang waktu yang dapat diatur sesuai dengan setting interval *recloser* untuk membebaskan sistem dari gangguan yang bersifat temporer maupun permanen.

Pada suatu gangguan permanen, *recloser* berfungsi memisahkan daerah atau jaringan yang terganggu pada gangguan sesaat, *recloser* akan memisahkan daerah gangguan sesaat sampai gangguan tersebut dianggap hilang, dengan demikian *recloser*

akan masuk kembali sesuai settingannya sehingga jaringan akan aktif kembali secara otomatis.

*Recloser* hampir sama dengan circuit breaker, namun *recloser* dapat disetting untuk bekerja membuka dan menutup beberapa kali secara otomatis. Apabila *feeder* mendapat gangguan sementara, bila *circuit breaker* yang digunakan untuk *feeder* yang mendapat gangguan sementara, akan menyebabkan hubungan *feeder* terputus. Tetapi jika *recloser* yang digunakan, diharapkan gangguan sementara tersebut tidak membuat *feeder* terputus, maka *recloser* akan bekerja beberapa kali sampai akhirnya *recloser* terbuka.

### 1. Cara kerja *Recloser*

Waktu membuka dan menutup *recloser* (Silaban, 2009 yang dikutip dari penelitian yang dilakukan oleh Dhipaatmaja, 2012:26):

1. Arus yang mengalir normal bila tidak terjadi gangguan
2. Ketika terjadi sebuah gangguan, arus yang mengalir melalui *recloser* membuka kontak pada *recloser*.
3. Kontak *recloser* akan menutup kembali setelah beberapa detik, sesuai setting yang ditentukan. Tujuan memberikan selang waktu adalah member kesempatan agar gangguan tersebut hilang dari sistem, terutama gangguan yang bersifat temporer.
4. Apabila yang terjadi adalah gangguan permanen, maka *recloser* akan membuka dan menutup balik sesuai setting yang ditentukan dan kemudian *lockout*.
5. Setelah gangguan permanen dibebaskan oleh petugas, baru dapat dikembalikan pada keadaan normal.

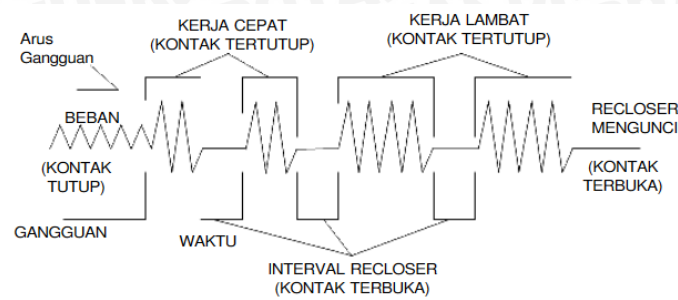
### 2. Prinsip Penyetelan *Recloser*

*Recloser* dapat disetel untuk beberapa kali operasi. Penyetelan untuk jumlah operasi dilakukan dengan memutar setting *lockout* yang terdapat pada panel kontrol elektronik. *Recloser* dapat disetting beberapa kali interval penutupnya dan masing-masing interval memiliki waktu yang berbeda sesuai dengan gambar 2.8.

Untuk *recloser* pengaturan hidrolis tiga fasa yang selang waktu penutupan standar 2 s. pada *recloser* pengaturan elektronik waktu penutupan lebih besar dapat deprogram dalam rangkaian pengaturannya.



Beberapa pilihan waktu penutupan baik *recloser* dapat dibuat, hal ini sangat dipengaruhi oleh koordinasinya pada peralatan pengamannya yang lain.



Gambar 2.8 Bentuk Buka Tutup Hingga Terkunci pada *Recloser*

Sumber: Sarimun, W., 2011:207

1. Penutup balik seketika, artinya setelah kontak *recloser* mebuca karena gangguan maka dengan waktu yang singkat kontak tersebut akan menu tup kembali.
2. Menutup baik setelah dua detik artinya setelah kontak *recloser* membuka karena gangguan, maka selang dua detik kemudian kontak *recloser* akan menutup balik. Selang dua detik ini diharapkan sudah cukup untuk menghilangkan adanya gangguan transien dan menghilangkan adanya ionisasi gas. Bila digunakan diantara operasi fast trip, maka dua detik ini sudah cukup untuk mendinginkan sekring di sisi beban.
3. Menutup balik setelah lima detik, ini dimaksudkan agar dapat memberikan kesempatan sekring untuk dingin kembali sehingga tidak sampai titik leleh minimumnya. Dan dipakai juga untuk selang waktu penutup operasi diperlambat pada *recloser* di gardu induk untuk mendinginkan sekring di sisi tegangan tinggi.
4. Menutup balik setelah sepuluh detik, lima belas detik dan seterusnya atau dikenal sebagai *longer recloser interval*, pada umumnya digunakan apabila pengaman cadangannya adalah pemutus tenaga yang dikontrol dengan rele.

### 2.6.2 Rele Pengaman

Pada dasarnya rele proteksi terdiri dari sebuah elemen operasi dan seperangkat kontak. Elemen operasi menerima arus dari transformator arus ataupun tegangan dari transformator tegangan atau kombinasi dari keduanya.

Dalam beberapa kasus rele melakukan pengukuran atau perbandingan operasi dasar input dan mengubahnya dalam bentuk gerakan kontak. Keadaan keluarana dari

rele adalah menutup (*close*) dan ditahan (*block*). Jika keadaan tertutup maka rele akan memberikan sinyal untuk melakukan proses pembukaan dan circuit breaker dimana pada gilirannya akan mengisolasi gangguan dari bagian sistem tenaga listrik lain yang sehat.

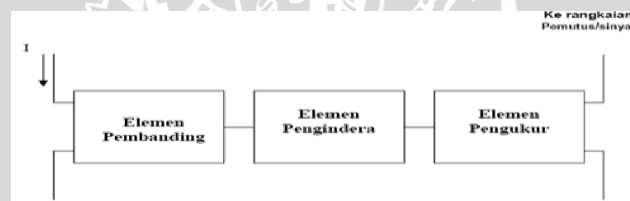
Di dalam penyetelan sebuah rele harus dilakukan dengan benar agar tidak terjadi kesalahan operasi pada saat terjadi gangguan. Oleh karena itu hal-hal yang mempengaruhi dalam penyetelan rele harus benar-benar diperhatikan sesuai dengan gambar 2.9 (Wahyudi, 2011 yang dikutip dalam penelitian yang dilakukan oleh Dhipaatmaja, 2012:31):



Gambar 2.9 Skema Konsep Kerja Rele

Sumber: Dhipaatmaja, 2012:31

Rele pengaman biasanya dipisahkan menjadi tiga elemen dasar seperti terlihat pada gambar 2.10:



Gambar 2.10 Bagan Elemen Dasar Rele Pengaman

Sumber: Dhipaatmaja, 2012:31

a. Elemen perbandingan

Elemen ini berfungsi menerima besaran setelah terlebih dahulu besaran itu diterima oleh elemen pengindera untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran yang disetting pada rele. Komponen yang berfungsi sebagai elemen perbandingan ini adalah rele, yang bekerja setelah mendapatkan besaran dari elemen pengindera dan membandingkan dengan besar arus penyetelan dan kerja rele.

b. Elemen pengindera

Elemen ini berfungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik seperti arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya tergantung rele yang digunakan. Pada elemen ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya apakah apakah keadaan yang diproteksi mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal yang untuk selanjutnya besaran tersebut dikirimkan ke elemen perbandingan.

Komponen yang berfungsi sebagai elemen pengindera adalah transformator arus (CT)

c. Elemen pengukur

Elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurannya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka circuit breaker atau memberikan sinyal. Komponen yang berfungsi sebagai elemen control adalah kumparan penjauh (*trip-coil*).

### 2.6.2.1 Rele Arus Lebih

Rele merupakan peralatan pengaman yang dipasang pada peralatan yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik dari gangguan yang mungkin terjadi. Tujuan dipasang relai pengaman adalah :

- Menghindari atau mengurangi kerusakan yang terjadi akibat gangguan pada alat yang dilalui arus gangguan.
- Menyelamatkan sistem atau bagian sistem lainnya yang tidak terganggu supaya tetap dapat bekerja terus, dengan cara melepaskan bagian sistem yang terganggu sedemikian rupa sehingga penyimpangan atau kesalahan akibat gangguan tersebut tidak memberikan akibat nefatif yang lebih luas terhadap sistem keseluruhan yang ada

Peralatan proteksi harus dirancang sedemikian rupa sehingga gangguan dapat dengan segera diputuskan atau dihilangkan. Suatu gangguan yang serius dapat menyebabkan pemutusan yang cepat dan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan. Gangguan yang terjadi secara tidak langsung harus diketahui oleh operator sehingga peralatan dapat dioperasikan di luar daerah kritis. Kejadian-kejadian yang sangat berbahaya bagi operasi generator ataupun transformator adalah hubung singkat, gangguan ke tanah, penguatan kurang, arus lebih dan panas berlebihan.

Rele pengaman merupakan bentuk dasar dari peralatan listrik otomatis dan sangat perlu kerja dari sistem distribusi daya yang modern bahkan tergantung padanya. Bila terjadi gangguan baik berupa arus, tegangan, frekuensi dan daya, rele pengaman akan mendeteksi dan memutuskan bagian yang mengalami gangguan dari sistem. Selanjutnya akan mengembalikan ke keadaan normal atau membangkitkan sinyal peringatan kepada operator.

Rele jenis ini adalah besarnya arus yang masuk ke dalam rele, atau rele arus lebih. Rele ini memberikan reaksi terhadap besarnya arus masukan, dan bekerja untuk memutuskan bilamana besarnya arus melebihi nilai tertentu yang dapat diatur. Rele

arus lebih akan menutup kontak-kontaknya untuk menggerakkan rangkaian yang menyebabkan terjadinya saklar daya membuka atau menutup. Bilamana arus mencapai nilai yang sudah ditentukan terdahulu sedemikian rupa. Dengan begitu, maka pada rele arus lebih terdapat kepekaan terhadap besar arus yang mengalir.

Rele arus lebih dikategorikan menjadi tiga yaitu :

- Rele arus lebih seketika (*instantaneous over current relay*)
- Rele arus lebih dengan karakteristik tunda waktu (*definite time over current relay*)
- Rele arus lebih dengan karakteristik tunda waktu terbalik (*inverse time over current relay*)

Rele arus lebih seketika adalah rele yang bekerjanya tanpa penundaan waktu atau jangka waktu relay mulai saat rele arusnya *pick up* sampai selesai, sangat singkat (sekitar 20 ms sampai 100ms).

Rele arus lebih dengan karakteristik tunda waktu tertentu, yaitu suatu rele dengan jangka waktu mulai rele arus *pick up* sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan nilai atau waktu tertentu. Sehingga apabila arus yang mengalir telah melebihi arus setting maka rele akan bekerja sesuai dengan waktu penundaan yang telah ditetapkan. Ada beberapa jenis rele arus lebih dengan tunda waktu, hal ini sangat bergantung pada karakteristik waktu tundanya. Berdasarkan tunda waktu kerjanya, rele lebih dapat dibedakan menjadi tiga, yakni (Sarimun, W., 2011:28) :

- Waktu tertentu (*definite time*)
- Sangat berbanding terbalik (*very inverse*)
- Sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*)

#### a. Prinsip kerja Rele Arus Lebih

Rele arus lebih merupakan suatu jenis rele yang bekerja berdasarkan besarnya arus masukan, dan apabila besarnya arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur ( $I_p$ ) maka rele arus lebih bekerja. Dimana  $I_p$  merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT). bila suatu gangguan terjadi di dalam daerah perlindungan rele, besarnya arus gangguan  $I_f$  yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT juga. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut (Wahyudi, 2011 yang dikutip dalam penelitian yang dilakukan oleh Dhipaatomaja, 2012:32):

$I_f > I_p$  Rele bekerja (trip)

$I_f < I_p$  tidak bekerja (blok)

### b. Dasar Penyetelan Rele Arus Lebih

Pada dasarnya rele arus lebih berfungsi sebagai pengaman gangguan hubung singkat, tetapi dalam beberapa hal dapat berfungsi sebagai pengaman beban lebih. Fungsi rele ini disamping sebagai pengaman utama untuk seksi yang diamankan juga berfungsi sebagai pengaman cadangan pada seksi berikutnya. Hal ini apabila rele arus lebih dipakai pada sistem distribusi tegangan menengah. Namun untuk saluran transmisi tegangan tinggi rele arus lebih berfungsi sebagai pengaman cadangan (*backup*) (Anderson, 1998 yang dikutip dalam penelitian yang dilakukan oleh Dhipaatmaja, 2012:32).

Mengingat gangguan yang terjadi pada saluran transmisi adalah gangguan hubung singkat fasa ke tanah, maka penyetelan juga berbeda sehingga akan diuraikan kriteria penyetelan untuk gangguan fasa dan gangguan tanah secara terpisah.

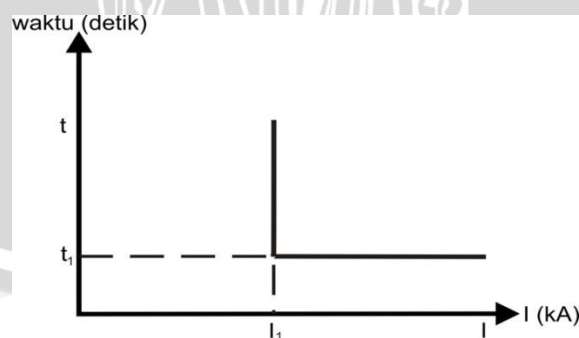
Untuk operasi yang selektif, apabila terdapat beberapa rele arus lebih pada suatu jaringan radial. Maka rele pada ujung yang terjauh dari sumber harus disetel untuk dapat bekerja pada waktu yang sesingkat mungkin. Untuk jenis rele arus lebih karakteristik inverse, setelan waktunya ditentukan pada saat arus gangguan maksimum.

#### 2.6.2.2 Karakteristik Rele Arus Lebih

Berdasarkan karakteristik waktunya rele arus lebih dibedakan atas 3 jenis, yaitu:

##### A. Rele Arus Lebih *Instant*

Prinsip kerja rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 0,1 detik, pada umumnya kurang dari 0,08 detik (Sarimun, W., 2012:29), seperti pada gambar 2.11.

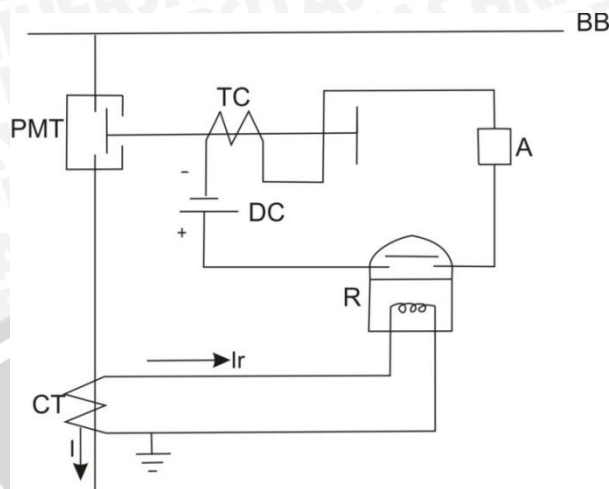


Gambar 2.11 Karakteristik Rele Arus Lebih *Instant*

Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun:29

Bekerjanya rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih. Pada setelan koordinasi proteksi di sistem distribusi tegangan menengah disebut dengan sistem moment/instant. Misal saat terjadi gangguan hubung singkat,

membukanya CB dalam waktu cepat sekali (80 mili detik), berarti gangguan hubung singkat yang terjadi adalah dengan arus yang sangat besar.



Gambar 2.12 Rangkaian Rele Arus Lebih Dengan Karakteristik *Instant*

Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun: 29

Gambar 2.12 di atas adalah rangkaian rele arus lebih dengan karakteristik instan dimana bila karena adanya suatu hal sehingga arus yang mengalir melebihi harga yang diijinkan, maka harga  $I_r$  yang keluar dari sisi sekunder transformator arus juga akan naik melebihi dari arus setting rele sehingga rele bekerja. Kerja rele ini ditandai dengan menutupnya rangkaian rele. Karena merupakan rangkaian tertutup maka dengan adanya sumber tegangan dc maka tripping coil akan menarik kontak CB, sehingga CB terbuka. Untuk mengetahui bekerjanya rele, maka sering digunakan lampu indicator atau sinyal S yang dipasang antara rele dan tripping coil.

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 yang dikutip dalam penelitian oleh Dhipaatomaja, 2012:33). Maka koordinasi antara satu dan seksi lainnya untuk mendapatkan selektifitas didasarkan tingkat beda arus (*current grading*). Penyetelan rele ini adalah (Sarimun, W., 2012:28) :

a. Setelan Arus Pada Bagian Sekunder

Besarnya setelan arus pada bagian sekunder sebesar :

$$I_{\text{instansekunder}} = \frac{I_{\text{instan}}}{I_{\text{set primer}}} \quad (2.17)$$

Dengan :

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

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

$I_{\text{instan}}$  : 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  $3,2 \times I_{n \text{ trafo}}$
- (2.18)

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

$$I_{\text{instan}} = 4 \times I_{n \text{ trafo}} \quad (2.19)$$

Dengan :

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

Untuk menghitung arus nominal transformator daya menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_{n \text{ trafo}} = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}_{L-L}} \quad (2.20)$$

b. Setelan Arus Pada Bagian Primer

Besarnya setelan arus pada bagian primer sebesar :

$$I_{\text{instan primer}} = I_{\text{instan sekunder}} \times I_{\text{set primer}} \quad (2.21)$$

Dengan :

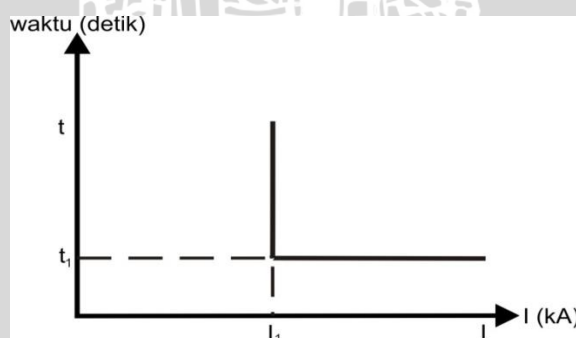
$I_{\text{instan primer}}$  : Setelan arus instan pada bagian primer (Ampere).

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., 2012:29).

**B. Rele Arus Lebih Definite**

Setelah proteksi dengan menggunakan karakteristik *definite time* yang di *setting* pada rele hanya didasarkan pada waktu kerjanya proteksi dengan tidak melihat besarnya arus gangguan. Kurva rele arus lebih dengan karakteristik *definite* dapat dilihat pada gambar berikut:

Gambar 2.13 menunjukkan karakteristik waktu dan arus rele definite, dengan ts merupakan setting waktu sesuai setelan. Keuntungan dari karakteristik definite adalah koordinasinya mudah dan waktu kerjanya tidak tergantung pada perubahan kapasitas pembangkit (Sarimun, W., 2012:29). Disamping keuntungan adapula kerugiannya, yaitu terjadinya kumulasi waktu pada rele dihulu. Untuk sistem yang besar, arus gangguan besar dalam hal ini kumulatif waktu tidak digunakan.



Gambar 2.13 Karakteristik Arus Lebih *Definite*

Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun:29

**C. Rele Arus Lebih Inverse**

Setelan proteksi dengan menggunakan karakteristik *inverse time* rele, karakteristik grafiknya terbalik antara arus dan waktu, dimana semakin besar arus gangguan hubung singkat maka semakin kecil waktu yang dibutuhkan untuk membuka pemutus (PMT) sehingga dalam settingnya nanti rele jenis ini perlu mengetahui

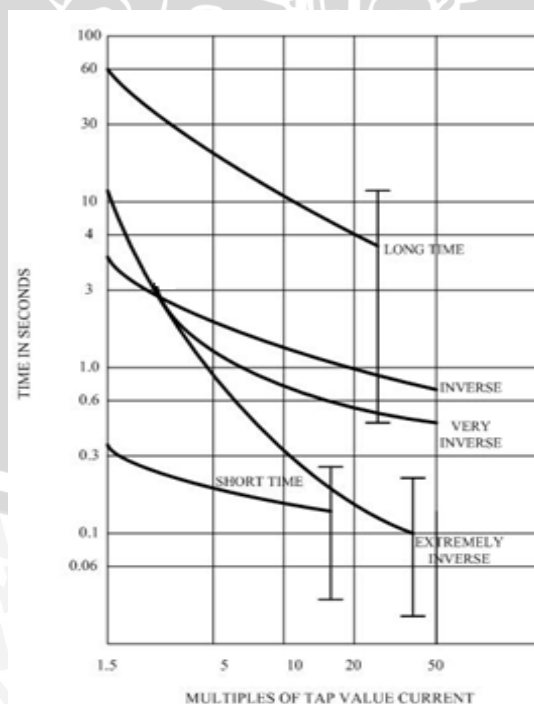


besarnya arus hubung singkat untuk tiap seksi di samping arus nominal serta kurva karakteristik rele. Cara kerja *inverse* rele adalah sebagai berikut (Sarimun, W., 2008:31):

1. Rele mulai *pick up* pada arus gangguan  $> I_{set}$
2. Bila perbandingan antara arus gangguan dan setelan arus  $> I$ , maka elemen waktu mulai menghitung.
3. Hitungan waktu selesai bila kontak menutup, dan lamanya tergantung besarnya perbandingan arus itu. Makin besar arus, makin cepat kerja rele.
4. Setelan waktu dilakukan dengan Time Dial (td) untuk rele elektromekanik atau *Time Multiplier Setting* (TMS untuk rele static)
5. Dengan setelan td yang tetap, perubahan setelan arus akan mempengaruhi waktu kerja rele.

Adapun karakteristik rele arus lebih terbalik berdasarkan standard IEC 60255-3 dan BS 142 dapat dilihat pada gambar 2.14 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.



Gambar 2.14 Karakteristik Operasi *Relay Invers Time*

Sumber: Anonymous, 2002

Penyetelan Arus Setelan Rele Arus Lebih jenis *Inverse* sebagai berikut:

1. Arus Setelan (*Setting*) Primer Rele Arus Lebih Jenis *inverse*

Rele jenis *inverse* biasa diset sebesar 1,05 s/d 1,1 x  $I_n$  (Sarimun, W., 2012:194). maka besarnya arus setelan rele arus lebih jenis *inverse* pada bagian primer adalah sebesar:

$$I_p = 1,05 \times I_n \quad \text{Ampere} \quad (2.22)$$

Dimana :

$I_p$  : Arus setelan (*setting*) pada bagian primer (Ampere)

$I_n$  : Arus nominal peralatan (Ampere)

2. Arus Setelan (*Setting*) Sekunder Rele Arus Lebih Jenis *inverse*

Arus Setelan (*setting*) sekunder rele arus lebih jenis *inverse* pada bagian sekunder sebesar:

$$I_s = I_p \times \frac{1}{\text{Rasio}_{CT}} \text{ A} \quad (2.23)$$

Dimana:

$I_s$  : Arus setelan (*setting*) pada bagian sekunder (Ampere)

$n_{CT}$  : Perbandingan ratio trafo arus (CT)

Penyetelan *Time Multiple Setting* (TMS) Rele Arus Lebih Jenis *Inverse* sebagai berikut:

Setelan (*setting*) waktu rele arus lebih jenis *inverse* dihitung menggunakan kurva waktu dengan arus adalah seperti persamaan berikut (Sarimun, W., 2012:195):

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_s}\right)^{0,02} - 1} \times TMS \text{ Detik} \quad (2.24)$$

Dimana:

$t$  : waktu kerja dari rele arus lebih jenis *inverse*

TMS : *Time Multiple Setting* (setelan waktu yang diinginkan)

$I_s$  : Arus setelan rele arus lebih jenis *inverse* primer (Ampere)

$I_{\text{fault}}$  : Arus gangguan (Ampere)

Maka nilai TMS pada Rele Arus Lebih dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t \quad (2.25)$$

Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetkan pada rele arus lebih sisi *incoming* transformator tenaga yaitu arus hubung singkat  $I_{f3fasa}$  di bus 20 kV, sedangkan untuk sisi 150 kV diambil arus hubung singkat  $I_{f3fasa}$  disisi 150 kV.

## a. Dasar Penyetelan Rele

### 2.7.1 Batas Minimum

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

### 2.7.2 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.

### 2.7.3 Dasar Penyetelan Waktu Kerja

#### 2.7.3.1 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.

#### 2.7.3.2 Rele Satu Seksi di Hulunya

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

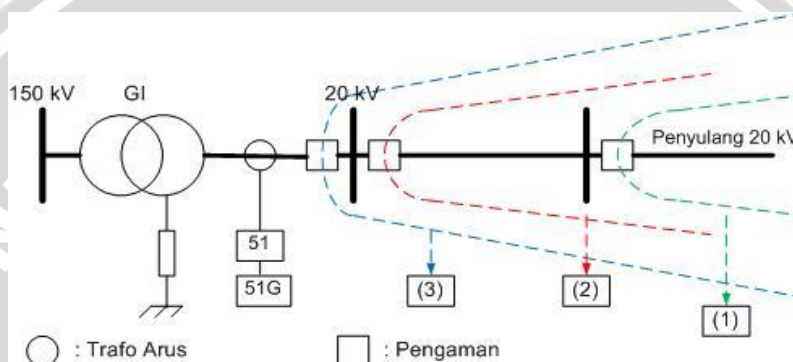
## 2.8 Daerah Pengamanan

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 2.15 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 2.15 Daerah Pengaman Distribusi

Sumber: Sarimun, W., 2012:9

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).

## 2.9 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 pengaman 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 pengaman, maka setelan rele arus lebih memiliki peranan yang penting dalam koordinasi rele pengaman. Setelan rele arus lebih dapat dilakukan berdasarkan setelan waktu, setelan arus maupun kombinasi keduanya (IEEE Standard 242-1986).

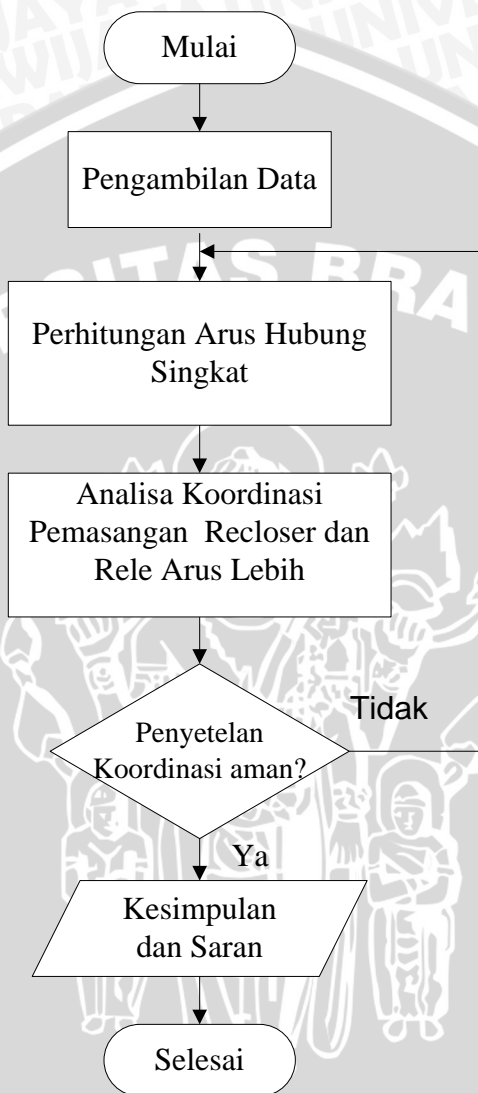
Koordinasi ini adalah untuk menentukan *time delay* pada pengaman antara rele pengaman utama dan rele pengaman cadangan tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan *time delay* antara rele utama dan rele cadangan adalah 0,4-0,5 detik. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- 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.

### BAB III

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk pembahasan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Sumber: Penulis

### 3.1 Pengambilan Data

Data – data yang digunakan adalah data yang didapatkan dari penyulang Junrejo Gardu Induk Sengkaling PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Timur Area Malang berupa data-data spesifikasi peralatan seperti transformator di gardu induk, transformator distribusi, beban, spesifikasi peralatan pengaman *Recloser* dan Rele Arus

Lebih baik pada sisi penyulang maupun masukan 20 kV, serta data konfigurasi sistem serta pengoperasiannya.

### 3.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan besar arus hubung singkat adalah sebagai berikut :

1. Menghitung impedansi ekivalen jaringan.

Untuk mendapatkan besar impedansi ekivalen jaringan ( $Z_{eki}$ ) digunakan persamaan 2.15 dan 2.16. Dimana dilakukan perhitungan terlebih dahulu untuk mendapatkan impedansi sumber ( $X_s$ ) dengan menggunakan persamaan 2.6 dan 2.7, menghitung impedansi transformator ( $Z_B$ ) dengan menggunakan persamaan 2.8 dan menghitung impedansi penyulang ( $Z$ ) menggunakan persamaan 2.13 dan 2.14.

2. Menganalisis impedansi urutan berdasarkan diagram satu garis penyulang Junrejo Gardu Induk Sengkaling. Impedansi urutan yang dianalisis adalah impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol.

3. Menganalisis arus gangguan hubung singkat.

Dengan menggunakan persamaan 2.4 dan 2.5 maka dapat dihitung arus gangguan hubung singkat tiga fasa ( $I_{3fasa}$ ) dan dua fasa ( $I_{2fasa}$ ).

### 3.3 Analisis Koordinasi Pemasangan Pengaman

Langkah selanjutnya yaitu akan dilakukan analisis koordinasi pada *Recloser*, dan Rele arus lebih akibat arus hubung singkat. Analisis koordinasi yang akan dilakukan yaitu koordinasi pengaman terhadap setting arus dan setting waktu.

Analisis dilakukan terhadap peralatan pengaman jaringan 20 kV akibat arus lebih, yaitu *Recloser*, dan Rele Arus lebih.

Untuk melakukan analisis terhadap *Recloser* dan Rele Arus Lebih dilakukan dua tahap, yaitu:

1. Setelan arus

Melakukan perhitungan terhadap arus setelan bagian primer menggunakan persamaan (2.22). kemudian, melakukan perhitungan terhadap arus setelan bagian sekunder menggunakan persamaan (2.23).

2. Setelan waktu

Setelan waktu rele dihitung persamaan (2.24) dan (2.25) untuk mendapatkan waktu kerja dari rele arus lebih jenis *inverse*.

### 3.4 Penutup

Pada bagian penutup akan dilakukan pengambilan kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang telah dilakukan.

Kesimpulan diambil berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat dan penyetelan *recloser* dan rele arus lebih baik pada sisi penyulang maupun masukan 20 kV, sehingga dapat diketahui bagaimana koordinasi pengaman tersebut. Setelah kesimpulan diambil maka saran akan digunakan untuk memperbaiki penelitian dan pengembangan selanjutnya.





## BAB IV

### PERHITUNGA DAN ANALISIS KOORDINASI *RECLOSER* DAN RELE ARUS LEBIH PADA PENYULANG 20 KV GARDU INDUK SENGKALING

#### 4.1 Gardu Induk Sengkaling

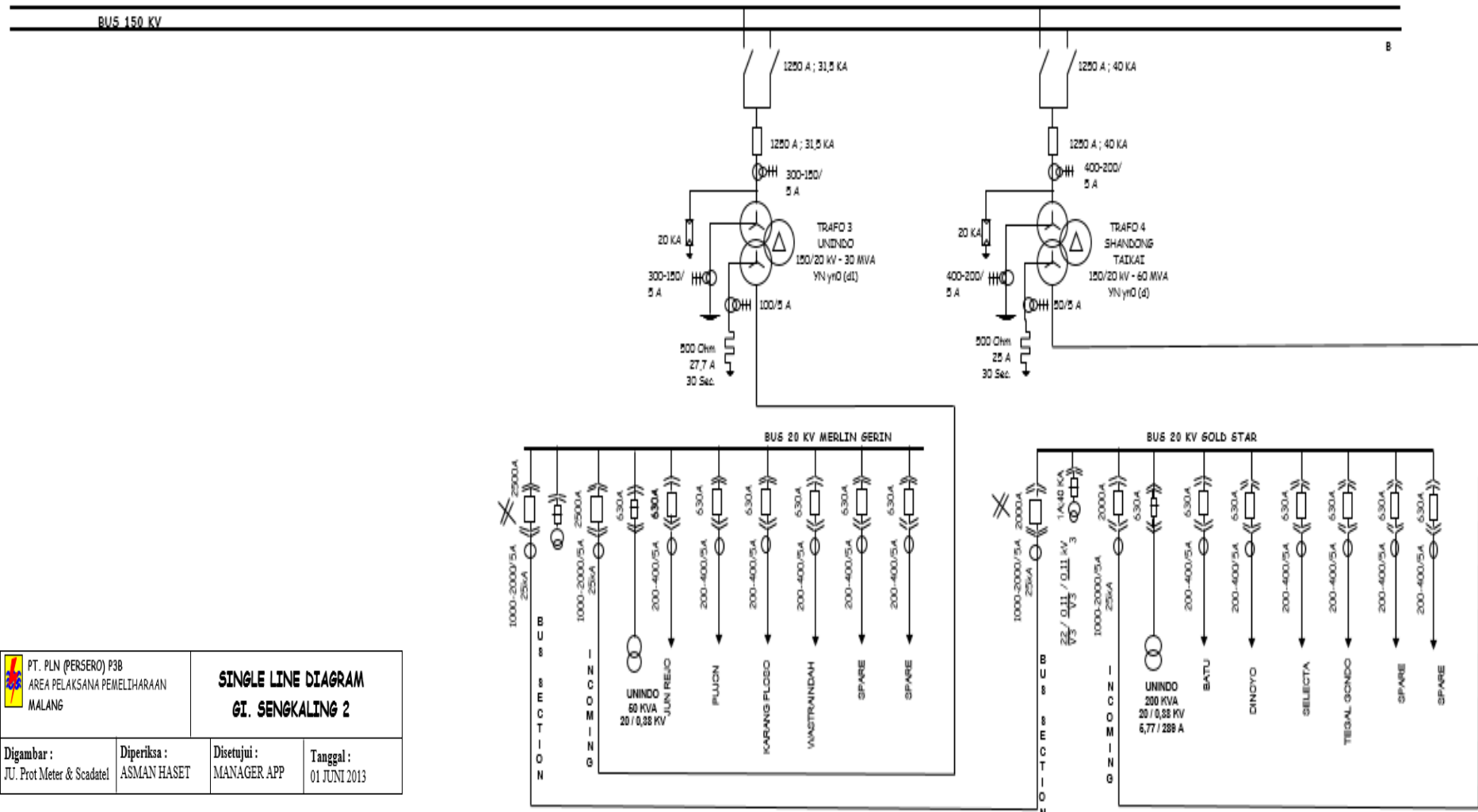
Gardu Induk (GI) Sengkaling yang berada di wilayah kerja Unit Pelayanan Transmisi Malang memiliki 4 buah transformator yang menerima suplai tegangan 150 kV. Transformator I dan transformator II berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 150 kV menjadi 70 kV, dan dua transformator lainnya yaitu transformator 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.


Berdasarkan data dari Gardu Induk Sengkaling, dapat diketahui bahwa sistem jaringan distribusi yang sering mengalami gangguan pada tahun 2013 adalah penyulang Junrejo dengan total jumlah gangguan sebanyak 14 kali.

Hal ini berarti penyulang Junrejo merupakan penyulang yang cukup bermasalah dari sisi keandalan dan koordinasi sistem proteksinya. Penyulang Junrejo sendiri memiliki kapasitas transformator 30 MVA, dimana mensuplai 23 transformator distribusi 20 kV dengan konfigurasi *semi-loop* yang berbatasan dengan penyulang Batu, penyulang Dinoyo, dan Penyulang Siti Rejo. Penyulang Junrejo sendiri memiliki 1 buah *recloser* yang berada pada 2,2 kms panjang penyulang.

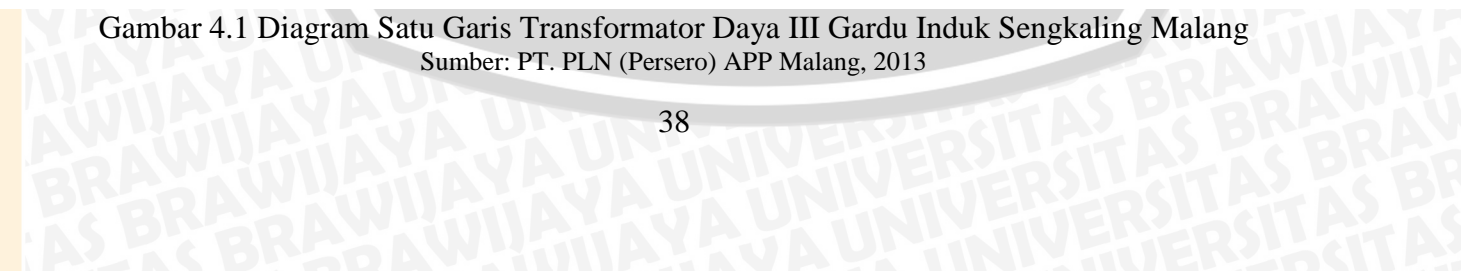
Dengan alasan-alasan yang telah diuraikan di atas maka penulis hendak melakukan analisis koordinasi proteksi pada *recloser*, rele arus lebih pada sisi penyulang dan pada sisi masukan 20 kV dengan menganggap bahwa penyulang Junrejo merupakan penyulang dengan jaringan radial dan hanya menganalisis pada penyulang Junrejo.

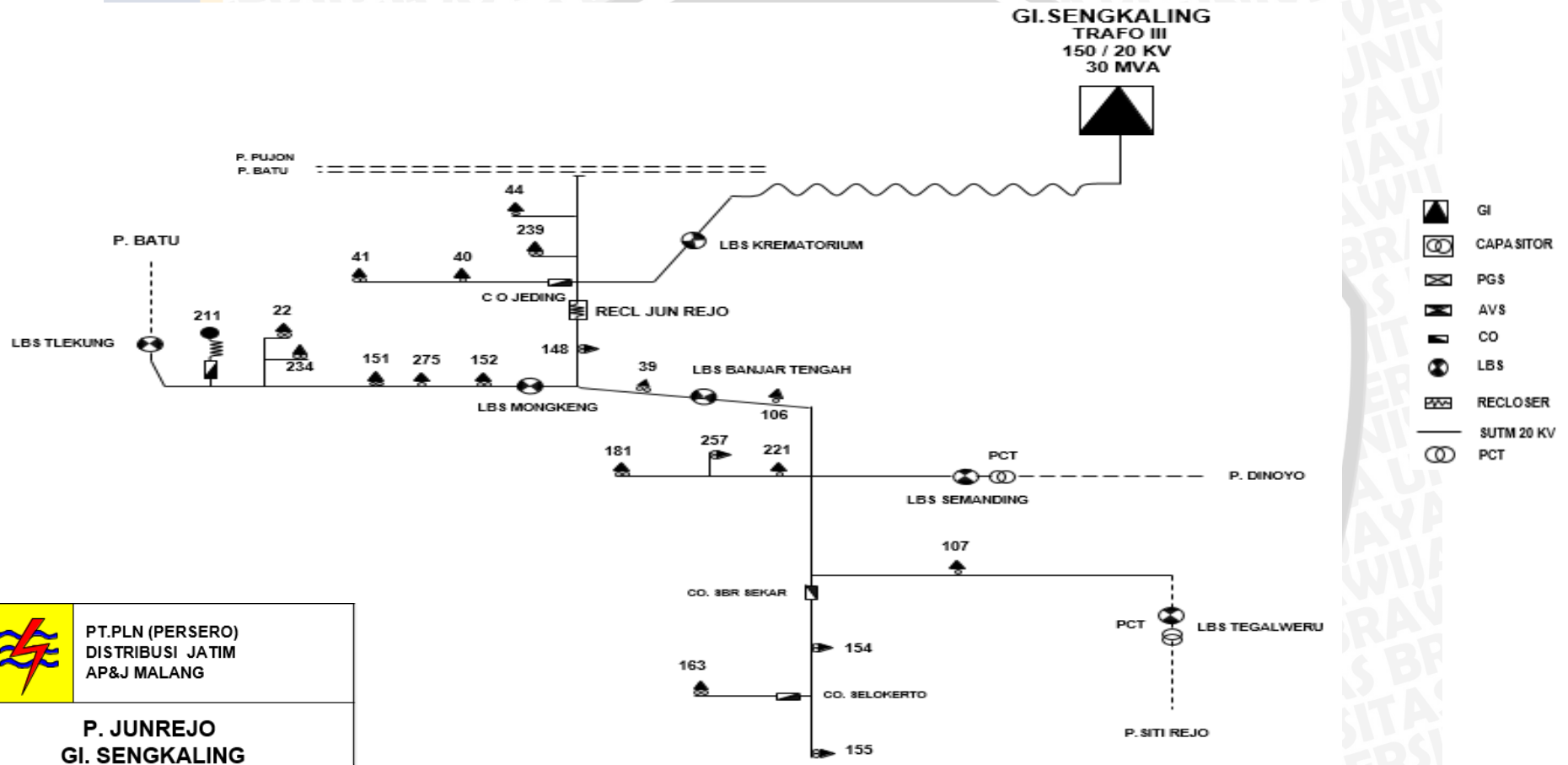
Adapun diagram satu garis transformator III di Gardu Induk Sengkaling ditunjukkan pada gambar 4.1 dan diagram satu garis penyulang Junrejo ditunjukkan pada gambar 4.2.



 PT. PLN (PERSERO) P3B AREA PELAKSANA PEMELIHARAAN MALANG	<b>SINGLE LINE DIAGRAM</b> <b>GI. SENGKALING 2</b>		
	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, 2013





PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JATIM AP&J MALANG		
<b>P. JUNREJO</b> <b>GI. SENGKALING</b>		
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 Trafo	YNyn0 ( d1 )

Sumber : PT. PLN ( Persero ) APP Malang

Tabel 4.2 Data Rele Arus Lebih Sisi masukan (*incoming*) 20 kV

Merk	GEC
Tipe	MCGG 82
Nomer Serie	793468 D
Setelan Arus ( I> )	1000 A
<i>Time Dial</i> >	0,175 detik
Ratio CT	2000/5
Karakteristik	<i>Standart Inverse</i>
Arus Nominal Rele ( In )	5 A

Sumber : PT. PLN ( Persero ) APP Malang

Tabel 4.3 Data Rele Arus Lebih Sisi Keluaran (*Outgoing*) 20 kV

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

Sumber : PT. PLN ( Persero ) APJ Malang

Tabel 4.4 Data Penutup Balik Otomatis atau *Recloser*

Type	Entec – EVRC2A
Setelan Arus ( $I >$ )	250 A
<i>Time Dial</i> >	0,05 detik
Ratio CT	1000/1
Karakteristik	<i>Standart Inverse</i>

Sumber : PT. PLN ( Persero ) APJ Malang

#### 4.2 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

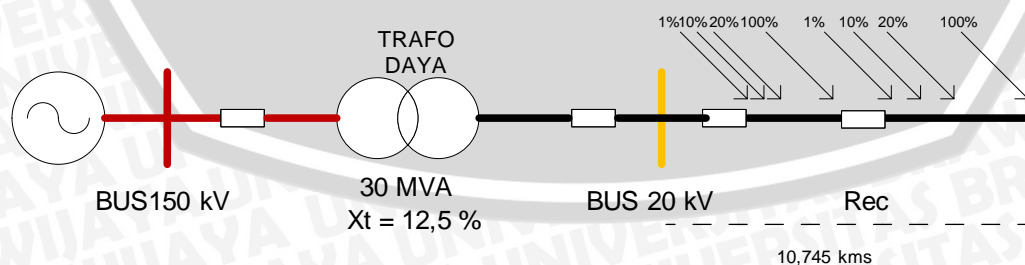
Analisis gangguan hubung singkat yang akan dilakukan yaitu:

1. Gangguan hubung singkat 3 fasa
2. Gangguan hubung singkat 2 fasa

Pada penyulang Junrejo terdapat satu buah Penutup Balik Otomatis atau *Recloser*, sehingga dalam melakukan perhitungan arus hubung singkat akan dibagi dua daerah, yaitu saluran dari Gardu Induk hingga *Recloser* Junrejo dan saluran dari *Recloser* Junrejo hingga akhir penyulang Junrejo.

Perhitungan gangguan hubung singkat dihitung berdasarkan panjang penyulang, yang diasumsikan terjadi pada:

1. Untuk setelan rele arus lebih (*Over Current Relay*) diambil arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada titik gangguan 1% di depan GI dan 1% di depan *Recloser*.
2. Untuk setelan moment diambil arus gangguan hubung singkat 3 fasa 40%-60% di depan GI dan 40%-60% di depan *Recloser*.



Gambar 4.3 Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo dengan Berbagai Titik Gangguan

Sumber : penulis

#### 4.2.1 Menghitung Impedansi Sumber

Untuk mendapatkan besar arus hubung singkat pada jaringan, tahap yang pertama yaitu menghitung impedansi sumber. Dimana, dapat dihitung dengan memasukkan data dari data Transformator Tenaga III Gardu Induk Sengkaling, yaitu tegangan sisi primer trafo tenaga 150 kV dan data hubung singkat di bus primer (150 kV) di Gardu Induk Sengkaling adalah sebesar 2300,53 MVA kedalam persamaan (2.6).

Maka impedansi dasar ( $X_s$ ) adalah:

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{150^2}{2300,53} = 9,7803 \Omega$$

Untuk mengetahui nilai impedansi di sisi sekunder (yaitu di bus 20 kV) harus dikonversi dulu ke sisi sekunder, menggunakan persamaan (2.7) seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.7).

Maka impedansi disisi 20 kV adalah:

$$\begin{aligned} X_s (\text{sisi } 20 \text{ kV}) &= \frac{20^2}{150^2} \times X_s (\text{sisi } 150 \text{ kV}) \\ &= \frac{20^2}{150^2} \times 9,7803 \\ &= 0,1739 \Omega \end{aligned}$$

#### 4.2.2 Menghitung Reaktansi Transformator

Besarnya reaktansi transformator tenaga III di gardu Induk Sengkaling adalah 12,5 %, agar dapat mengetahui besarnya reaktansi urutan positif, reaktansi urutan negatif dan reaktansi urutan nol dalam ohm, maka perlu dihitung dulu besar ohm pada 100 % nya. Yaitu kedalam persamaan rumus (2.8).

Besar nilai ohm pada 100 % yaitu:

$$Z_B = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{20^2}{30} = 13,3333\Omega$$

Nilai reaktansi trafo tenaga dengan menggunakan, yaitu:

1. Reaktansi urutan positif dan negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ ) dengan menggunakan persamaan 2.9.

$$X_{t1} = \text{reaktansi trafo (\%)} \times Z_B$$

$$X_{t1} = 12,5 \% \times 13,3333 = 1,6667 \Omega$$

$$X_{t1} = X_{t2} = 1,6667 \Omega$$

Hasil perhitungan impedansi sumber, reaktansi urutan positif dan reaktansi urutan negatif ditunjukkan pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Hasil perhitungan impedansi sumber, reaktansi urutan positif, reaktansi urutan negatif, dan reaktansi urutan nol sistem 20 kV penyulang Junrejo

No.	Impedansi Sumber ( $X_S$ sisi 20 kV)	Reaktansi urutan positif ( $X_{T1}$ )	Reaktansi urutan negatif ( $X_{T2}$ )
1	0,1739 ohm	1,6667 ohm	1,6667 ohm

Sumber : Hasil perhitungan

### 4.2.3 Menghitung Impedansi Penyulang

Penyulang Junrejo 20 kV memiliki total panjang saluran 23,085 km dan saluran terpanjang yaitu 10,745 km yang menggunakan jenis penghantar A3C 150 mm<sup>2</sup> baik dari GI hingga *Recloser* dan dari *Recloser* ke ujung penyulang. Panjang saluran dari GI hingga *Recloser* yaitu 1,916 km, sedangkan dari *Recloser* hingga ke ujung penyulang yaitu 8,829 km.

Besar nilai impedansi urutan positif ( $Z_1$ ) dan urutan negatif ( $Z_2$ ) penyulang mulai dari GI hingga *Recloser* menggunakan persamaan (2.13) ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Impedansi penyulang mulai dari GI hingga *Recloser* dengan panjang 2,2km.

	Data ohm/km		1,916 km	
	R	jX	R (ohm)	jX (ohm)
$Z_1=Z_2$	0,2162	0,3305	0,4142	0,6332

Sumber : Hasil perhitungan

Besar nilai impedansi urutan positif ( $Z_1$ ) dan urutan negatif ( $Z_2$ ) penyulang mulai dari *Recloser* hingga ujung penyulang menggunakan persamaan (2.13) ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Impedansi penyulang mulai dari GI hingga *Recloser* dengan panjang 8,829 km.

	Data ohm/km		20,885 km	
	R	jX	R (ohm)	jX (ohm)
$Z_1=Z_2$	0,2162	0,3305	1,9088	2,9179

Sumber : Hasil perhitungan

#### 4.2.4 Menghitung Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan Urutan negatif

Dengan memanfaatkan hasil impedansi penyulang pada Tabel 4.5, 4.6, dan 4.7 kedalam persamaan (2.15) didapat hasil impedansi ekuivalen ( $Z_{1eki}$  dan  $Z_{2eki}$ ) pada beberapa lokasi gangguan hubung singkat di penyulang Gardu Induk Sengkaling.

1. Perhitungan  $Z_{1eki}$  dan  $Z_{2eki}$  sepanjang Gardu Induk hingga *Recloser*.

Perhitungan besarnya nilai impedansi ekuivalen urutan positif ( $Z_{1eki}$ ), urutan negatif ( $Z_{2eki}$ ) menggunakan persamaan (2.15):

$$Z_{1eki} = Z_{2eki} = (n\% \times R_{1jar}) + j (X_S + X_{T1} + (n\% \times X_{1jar}))$$

$$\begin{aligned} Z_{1eki} \ 1\% &= (1\% \times 0,4142) + j (0,1739 + 1,6667 + (1\% \times 0,6332)) \\ &= 0,0041 + j \ 1,8469 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk perhitungan impedansi ekuivalen ( $Z_{1eki}$  dan  $Z_{2eki}$ ) dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4.8 Hasil perhitungan impedansi ekuivalen ( $Z_{1eki}$  dan  $Z_{2eki}$ ) menurut lokasi terjadinya gangguan mulai dari GI hingga *Recloser* dengan panjang 1,916 km.

No.	Lokasi (% Panjang)	Impedansi Ekuivalen	
		$Z_{1eki}$	$Z_{2eki}$
1	1 %	0,0041 + j 1,8469	0,0041 + j 1,8469
2	10 %	0,0414 + j 1,9039	0,0414 + j 1,9039
3	20 %	0,0828 + j 1,9672	0,0828 + j 1,9672
4	30 %	0,1243 + j 2,0305	0,1243 + j 2,0305
5	40 %	0,1657 + j 2,0939	0,1657 + j 2,0939
6	50 %	0,2071 + j 2,1572	0,2071 + j 2,1572
7	60 %	0,2485 + j 2,2205	0,2485 + j 2,2205
8	70 %	0,2899 + j 2,2839	0,2899 + j 2,2839
9	80 %	0,3314 + j 2,3472	0,3314 + j 2,3472
10	90 %	0,3728 + j 2,4105	0,3728 + j 2,4105
11	100 %	0,4142 + j 2,4738	0,4142 + j 2,4738

Sumber : Hasil perhitungan

2. Perhitungan  $Z_{1eki}$  dan  $Z_{2eki}$  sepanjang *Recloser* hingga ke ujung penyulang.

Perhitungan besarnya nilai impedansi ekuivalen urutan positif ( $Z_{1eki}$ ), urutan negatif ( $Z_{2eki}$ ):



$$\begin{aligned}
 Z_{1\text{eki}} = Z_{2\text{eki}} &= R_{1\text{jar}} + j (X_{\text{SC}} + X_{\text{T}} + (X_{1\text{jar}}) \\
 &= R_{1\text{jar GI-Rec}} + (n\% \times R_{1\text{jar Rec-akhir}}) + jX_{\text{SC}} + X_{\text{T}} + X_{1\text{jar GI-Rec}} \\
 &\quad + \% (n\% \times X_{1\text{jar Rec-akhir}}) \\
 Z_{1\text{eki}} 1\% &= 0,4142 + (1\% \times 1,9088) + j (0,1739+1,6667+ 0,6332+ \\
 &\quad (1\% \times 2,9179)) \\
 &= 0,4333 +j 2,5030
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk perhitungan impedansi ekuivalen ( $Z_{1\text{eki}}$  dan  $Z_{2\text{eki}}$ ) dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4.9 Hasil perhitungan impedansi ekuivalen( $Z_{1\text{eki}}$  dan  $Z_{2\text{eki}}$ ) menurut lokasi terjadinya gangguan mulai dari *Recloser* hingga ujung penyulang Junrejo dengan panjang 8,829 km.

No.	Lokasi (% Panjang)	Impedansi Ekuivalen	
		$Z_{1\text{eki}}$	$Z_{2\text{eki}}$
1	1 %	0,4333 + j 2,5030	0,4333 + j 2,5030
2	10 %	0,6051 + j 2,7656	0,6051 + j 2,7656
3	20 %	0,7960 + j 3,0574	0,7960 + j 3,0574
4	30 %	0,9869 + j 3,3492	0,9869 + j 3,3492
5	40 %	1,1778 + j 3,6410	1,1778 + j 3,6410
6	50 %	1,3686 + j 3,9328	1,3686 + j 3,9328
7	60 %	1,5595 + j 4,2246	1,5595 + j 4,2246
8	70 %	1,7504 + j 4,5164	1,7504 + j 4,5164
9	80 %	1,9413 + j 4,8082	1,9413 + j 4,8082
10	90 %	2,1322 + j 5,1000	2,1322 + j 5,1000
11	100 %	2,3231 + j 5,3918	2,3231 + j 5,3918

Sumber : Hasil perhitungan

#### 4.2.5 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling

Setelah mendapatkan nilai dari impedansi ekuivalen sesuai lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung. Hanya saja impedansi ekuivalen yang dimaksud adalah yang tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya, dimana gangguan hubung singkat tersebut bias gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa menggunakan persamaan (2.4) dan (2.5) adalah sebagai berikut:

#### 4.2.5.1 Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dengan menggunakan Tabel 4.4, kedalam persamaan (2.4) sehingga didapat hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa.

Sehingga arus gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung sebagai berikut:

1. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa sepanjang Gardu Induk hingga *Recloser*.

$$\begin{aligned}
 I_{3\text{fasa}} &= \frac{V}{Z_{1\text{eki}}} \\
 &= \frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{Z_{1\text{eki}}} \\
 &= \frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{0,0041 + j 1,8469} \\
 &= \frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{\sqrt{0,0041^2 + 1,8469^2}} \\
 &= 6251,976 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada titik lokasi gangguan penyulang 20 kV Transformator Daya IV Gardu Induk Sengkaling yang lain seperti ditunjukkan pada tabel 4.10 berikut ini:

Tabel 4.10 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa sepanjang Gardu Induk hingga *Recloser*

No.	(% Panjang) Penyulang Junrejo	Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa (A)
1	1 %	6.251,976
2	10 %	6.063,411
3	20 %	5.864,427
4	30 %	5.675,960
5	40 %	5.497,420
6	50 %	5.328,225
7	60 %	5.167,812
8	70 %	5.015,638
9	80 %	4.871,190
10	90 %	4.733,982
11	100 %	4.603,555

Sumber : Hasil perhitungan

2. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa sepanjang *Recloser* hingga ujung Penyulang

$$\begin{aligned}
 I_{3\text{fasa}} &= \frac{V}{Z_{1\text{eki}}} \\
 &= \frac{20.000}{\sqrt{3}} \\
 &= \frac{20.000}{\sqrt{3}} \\
 &= \frac{0,4333 + j 2,5030}{\sqrt{3}} \\
 &= \frac{20.000}{\sqrt{0,4333^2 + 2,5030^2}} \\
 &= 4467,770 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada titik lokasi gangguan penyulang 20 kV Transformator Daya IV Gardu Induk Sengkaling yang lain seperti ditunjukkan pada tabel 4.11 berikut ini:

Tabel 4.11 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa sepanjang Gardu Induk hingga *Recloser*

No.	(% Panjang) Penyulang Junrejo	Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa (A)
1	1 %	4.467,770
2	10 %	4.057,349
3	20 %	3.668,417
4	30 %	3.338,968
5	40 %	3.058,412
6	50 %	2.817,827
7	60 %	2.609,972
8	70 %	2.429,053
9	80 %	2.270,448
10	90 %	2.130,465
11	100 %	2.006,140

Sumber : Hasil perhitungan

#### 4.2.5.2 Arus Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dengan menggunakan Tabel 4.4, kedalam persamaan (2.5) sehingga didapat hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat dua fasa.

Sehingga arus gangguan hubung singkat 2 fasa dapat dihitung sebagai berikut:

1. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa sepanjang Gardu Induk hingga *Recloser*.

$$\begin{aligned}
 I_{2\text{fasa}} &= \frac{V}{Z_{1\text{eki}} + Z_{2\text{eki}}} \\
 &= \frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{2 \times Z_{1\text{eki}}} \\
 &= \frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{2 \times (0,0041 + j 1,8469)} \\
 &= \frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(2 \times 0,0041)^2 + (2 \times 1,8469)^2}} \\
 &= 3125,998 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat dua fasa pada titik lokasi gangguan penyulang 20 kV Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling yang lain seperti ditunjukkan pada tabel 4.12 berikut ini:

Tabel 4.12 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa sepanjang Gardu Induk hingga *Recloser*

No.	(% Panjang) Penyulang Junrejo	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa (A)
1	1 %	3.125,988
2	10 %	3.031,706
3	20 %	2.932,213
4	30 %	2.837,980
5	40 %	2.748,710
6	50 %	2.664,113
7	60 %	2.583,906
8	70 %	2.507,819
9	80 %	2.435,595
10	90 %	2.366,991
11	100 %	2.301,778

Sumber : Hasil perhitungan

2. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa sepanjang *Recloser* hingga ujung Penyulang

$$\begin{aligned}
 I_{3\text{fasa}} &= \frac{V}{Z_{1\text{eki}} + Z_{2\text{eki}}} \\
 &= \frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{2 \times Z_{1\text{eki}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{2x(0,4333 + j 2,5030)} \\
 &= \frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(2x0,4333)^2 + (2x 2,5030)^2}} \\
 &= 2233,885 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat dua fasa pada titik lokasi gangguan penyulang 20 kV Transformator Daya IV Gardu Induk Sengkaling yang lain seperti ditunjukkan pada tabel 4.13 berikut ini:

Tabel 4.13 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa sepanjang Gardu Induk hingga *Recloser*

No.	(% Panjang) Penyulang Junrejo	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa (A)
1	1 %	2.233,885
2	10 %	2.028,675
3	20 %	1.834,209
4	30 %	1.669,484
5	40 %	1.529,206
6	50 %	1.408,913
7	60 %	1.304,986
8	70 %	1.214,526
9	80 %	1.135,224
10	90 %	1.065,232
11	100 %	1.003,070

Sumber : Hasil perhitungan

Dari perhitungan arus gangguan 3 fasa dan 2 fasa yang ditunjukkan pada tabel 4.12 dan 4.13 dapat dibuat tabel perhitungan arus gangguan hubung singkat yang ditunjukkan pada tabel 4.14.

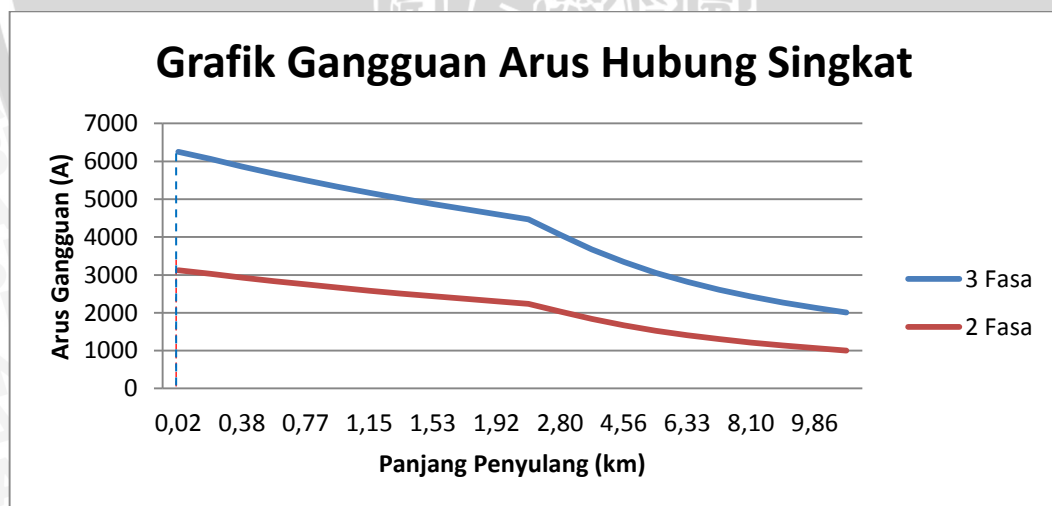
Tabel 4.14 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa

	Panjang peyulang (% panjang)	Jarak (km)	Arus Hubung Singkat (A)	
			3 Fasa	2 Fasa
GI - <i>Recloser</i>	1 %	0,0192	6.251,976	3.125,988
	10 %	0,1916	6.063,411	3.031,706
	20 %	0,3832	5.864,427	2.932,213
	30 %	0,5748	5.675,960	2.837,980
	40 %	0,7664	5.497,420	2.748,710
	50 %	0,9580	5.328,225	2.664,113

	Panjang peyulang (% panjang)	Jarak (km)	Arus Hubung Singkat (A)		
			3 Fasa	2 Fasa	
	60 %	1,1496	5.167,812	2.583,906	
	70 %	1,3412	5.015,638	2.507,819	
	80 %	1,5328	4.871,190	2.435,595	
	90 %	1,7244	4.733,982	2.366,991	
	100 %	1,916	4.603,555	2.301,778	
	Recloser – Ujung Penyulang	1 %	2,0043	4.467,770	2.233,885
		10 %	2,7989	4.057,349	2.028,675
		20 %	3,6818	3.668,417	1.834,209
		30 %	4,5647	3.338,968	1.669,484
		40 %	5,4476	3.058,412	1.529,206
50 %		6,3305	2.817,827	1.408,913	
60 %		7,2134	2.609,972	1.304,986	
70 %		8,0963	2.429,053	1.214,526	
80 %		8,9792	2.270,448	1.135,224	
90 %		9,8621	2.130,465	1.065,232	
100 %	10,745	2.006,140	1.003,070		

Sumber : Hasil perhitungan

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.14 dapat dibuat grafik gangguan arus hubung singkat baik gangguan arus hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa yang ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Gangguan Arus Hubung Singkat

Sumber : Hasil perhitungan

#### 4.2.6 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Dari tabel 4.14 dan gambar 4.4 di atas dapat dilihat bahwa besarnya gangguan arus hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya dan sebaliknya. Selain itu dapat dilihat bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar pada penyulang Junrejo adalah gangguan arus hubung singkat 3 fasa sebesar 6251,976 A dan besarnya gangguan arus hubung singkat terkecil yaitu pada saat gangguan arus hubung singkat 2 fasa sebesar 1003,07 A.

#### 4.3 Perhitungan Setelan *Recloser* dan Rele Arus Lebih

Pada perhitungan setelan *Recloser* dan rele arus lebih baik di sisi penyulang maupun masukan 20 kV dimulai dari *Recloser* yang merupakan proteksi utaman selanjutnya ke rele arus lebih sisi penyulang atau *outgoing feeder* dan rele arus lebih sisi masukan atau *incoming feeder*. Perhitungan setelan sebagai berikut:

##### 4.3.1 Penyetelan Arus dan TMS di *Recloser*

Perhitungan penyetelan rele arus lebih dilakukan dengan melakukan perhitungan terhadap penyetelan arus dan penyetelan TMS.

##### 1. Nilai setelan arus di *Recloser*

Untuk setelan rele yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum. Untuk rele *inverse* biasanya diset sebesar 1,05 sampai dengan  $1,1 \times I_{\max}$ , sedangkan untuk rele *definite* diset sebesar 1,2 sampai dengan  $1,3 \times I_{\max}$ . *Recloser* yang digunakan adalah dengan karakteristik normal (*standart*) *inverse*.

Setelan rele arus lebih dihitung dengan menggunakan persamaan (2.22) dan (2.23) yaitu sebagai berikut:

Setelan Arus pada *Recloser*

- Arus Primer

$$I_s = 1,05 \times I_n$$

$$I_s = 1,05 \times 93,56 \text{ A}$$

$$= 98,24 \text{ A}$$

Nilai setelan ini merupakan nilai primer, untuk memperoleh nilai setelan sekunder yang akan diatur pada *recloser*, maka harus dihitung dengan

menggunakan data rasio transformator arus yang terpasang di penyulang tersebut, yaitu:

- Arus Sekunder

$$I_p = I_s \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I_p = 98,24 \times \frac{1}{1000/1}$$

$$= 0,0982 \text{ A}$$

## 2. Nilai setelan TMS (*Time Multiplier Setting*) di *Recloser*

Dengan menggunakan persamaan (2.25), diperoleh nilai TMS di *Recloser* sebagai berikut:

$$TMS = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_F}{I_S} \right)^\alpha - 1 \right]}{\beta}$$

Dimana :

$$t = 0,3 \text{ detik}$$

$$I_F = \text{arus gangguan} = 4467,77 \text{ A}$$

$$I_S = 98,24 \text{ A}$$

$$\alpha = 0,02$$

$$\beta = 0,14$$

$$TMS = \frac{0,3 \times \left[ \left( \frac{4467,77}{98,24} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,17 \text{ (tanpa satuan)}$$

### 4.3.2 Penyetelan Arus dan TMS di Sisi Penyulang

Perhitungan penyetelan rele arus lebih dilakukan dengan melakukan perhitungan terhadap penyetelan arus dan penyetelan TMS. Pada rele arus lebih di sisi penyulang menggunakan karakteristik rele campuran, yaitu antara rele *standart invers* dan rele *instant*.

#### 1. Nilai setelan arus di sisi penyulang

- a. Menggunakan karakteristik *standart inverse*

Untuk setelan rele yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum. Untuk rele *inverse* biasanya diset sebesar 1,05 sampai dengan  $1,1 \times I_{\text{maks}}$ .



Setelan rele arus lebih dihitung dengan menggunakan persamaan (2.22) dan (2.23) yaitu sebagai berikut:

Setelan Arus rele arus lebih Sisi Keluaran 20 kV

- Arus Primer

$$I_s = 1,05 \times I_{maks}$$

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

Nilai setelan ini merupakan nilai primer, untuk memperoleh nilai setelan sekunder yang akan diatur pada rele arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan data rasio transformator arus yang terpasang di penyulang tersebut, yaitu:

- Arus Sekunder

$$I_p = I_s \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$\begin{aligned} I_p &= 106,05 \times \frac{1}{400/5} \\ &= 1,3256 \text{ A} \end{aligned}$$

- b. Nilai setelan arus di sisi penyulang menggunakan karakteristik *instant*

Penyetelan arus instan sisi penyulang tergantung dari 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 (2.20) sehingga dapat dihitung sebagai berikut :

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

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan arus nominal transformator daya diatas, dapat dihitung arus instan pada sisi penyulang dengan menggunakan persamaan (2.19) sebagai berikut :

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

- Penyetelan Arus Instan Pada Bagian Sekunder

Dengan menggunakan persamaan (2.17) dapat dihitung sebagai berikut:

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

- Penyetelan Arus Instan Pada Bagian Primer

Dengan menggunakan persamaan (2.21) dapat dihitung sebagai berikut:

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

Penyetelan waktu: 40 milidetik.

## 2. Nilai setelan waktu di sisi penyulang

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya penyetelan TMS rele arus lebih sisi penyulang yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa yang terjadi di busbar 20 kV Gardu Induk Sengkaling. Arus gangguan hubung singkat ini diambil sebagai titik koordinasi antara rele arus lebih sisi penyulang dengan *recloser*. Waktu kerja *recloser* yang ditetapkan 0,3 detik dan waktu tunda antara *recloser* dan rele di sisi penyulang ( $\Delta t$ ) sebesar 0,4 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 menggunakan persamaan (2.25), diperoleh nilai TMS di sisi penyulang sebagai berikut:

$$TMS = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_F}{I_S} \right)^\alpha - 1 \right]}{\beta}$$

Dimana :

$$t = (t_{diREC} + \Delta t) = (0,3+0,4) \text{ detik} = 0,7 \text{ detik}$$

$$I_F = \text{ arus gangguan} = 4467,77 \text{ A}$$

$$I_S = 106,5 \text{ A}$$

$$\alpha = 0,02$$

$$\beta = 0,1$$

Maka :

$$TMS = \frac{0,7 \times \left[ \left( \frac{4467,77}{106,5} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,3879 \text{ (tanpa satuan)}$$

Sedangkan arus gangguan hubung singkat yang dipilih untuk menentukan waktu kerja pada gangguan tiga fasa yang terjadi di penyulang yaitu dimulai dari lokasi 90% panjang penyulang dari penempatan *recloser*, karena lokasi tersebut diluar daerah instan rele arus lebih sisi penyulang, sehingga bekerja sesuai dengan setelan *invers*.

Waktu kerja rele dapat dihitung dengan menggunakan persamaan standar invers (2.24), sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left[ \left( \frac{I_{Fault}}{I_{Set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

Dimana:

$$TMS = 0,3879$$

$$I_{Fault} = 2006,14 \text{ A}$$

$$I_{SET} = 106,05 \text{ A}$$

$$t = \frac{0,14 \times 0,3879}{\left[ \left( \frac{2006,14}{106,05} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$= 0,8967 \text{ detik.}$$

### 4.3.3 Penyetelan Arus dan TMS di Sisi Masukan 20 kV

Perhitungan penyetelan rele arus lebih dilakukan dengan melakukan perhitungan terhadap penyetelan arus dan penyetelan TMS.

#### 1. Nilai setelan arus di Sisi Masukan 20 kV

Untuk setelan rele yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum. Untuk rele *inverse* biasanya diset sebesar 1,05 sampai dengan  $1,1 \times I_{\max}$ , sedangkan untuk rele *definite* diset sebesar 1,2 sampai dengan  $1,3 \times I_{\max}$ . Rele arus lebih yang digunakan adalah dengan karakteristik normal (*standart*) *inverse*.

Setelan rele arus lebih dihitung dengan menggunakan persamaan (2.22) dan (2.23) yaitu sebagai berikut:

Setelan Arus rele arus lebih Sisi Masukan 20 kV

- Arus Primer

$$I_s = 1,05 \times I_n$$

$$\begin{aligned} I_s &= 1,05 \times 400 \text{ A} \\ &= 420 \text{ A} \end{aligned}$$

Nilai setelan ini merupakan nilai primer, untuk memperoleh nilai setelan sekunder yang akan diatus pada rele arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan data rasio transformator arus yang terpasang di penyulang tersebut, yaitu:

- Arus Sekunder

$$I_p = I_s \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$\begin{aligned} I_p &= 420 \times \frac{1}{2000/5} \\ &= 1,05 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 2. Nilai setelan TMS (*Time Multiplier Setting*) di Sisi Masukan 20 kV

Dengan menggunakan persamaan (2.25), diperoleh nilai TMS di *Recloser* sebagai berikut:

$$TMS = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_F}{I_S} \right)^\alpha - 1 \right]}{\beta}$$

Dimana :

$$t = (t_{di \text{ out } g} + \Delta t) = (0,7 + 0,4) \text{ detik} = 1,1 \text{ detik}$$

$I_F$  = Arus gangguan di 1 % di depan  $GI = 6251,976A$

$I_S = 420A$

$\alpha = 0,02$

$\beta = 0,14$

$$TMS = \frac{1,1 \times \left[ \left( \frac{6251,976}{420} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$TMS = 0,436$  (tanpa satuan)

Waktu kerja rele dapat dihitung dengan menggunakan persamaan standar invers (2.24), sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left[ \left( \frac{I_{Fault}}{I_{Set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

Dimana:

$TMS = 0,436$

$I_{Fault}$  = Arus gangguan di 1 % di depan *Recloser*  
 $= 6251,976A$

$I_{SET} = 106,05 A$

$$t = \frac{0,14 \times 0,436}{\left[ \left( \frac{6251,976}{420} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$= 1,0999$  detik.

Dari hasil perhitungan di atas, besar pengaturan rele arus lebih dan *Recloser* ditunjukkan pada tabel 4.15.

Tabel 4.15 Tabel perhitungan pengaturan rele arus lebih dan *recloser*

Penyetelan	<i>Recloser</i>	Rele Arus Lebih	
		Penyulang atau <i>Outgoing</i>	Masukan atau <i>incoming 20 kV</i>
$I_s$ (A)	98,24	$I > : 106,05$ $I >> : 2084$	420
TMS	0,17	0,3879	0,436

Sumber : Hasil perhitungan

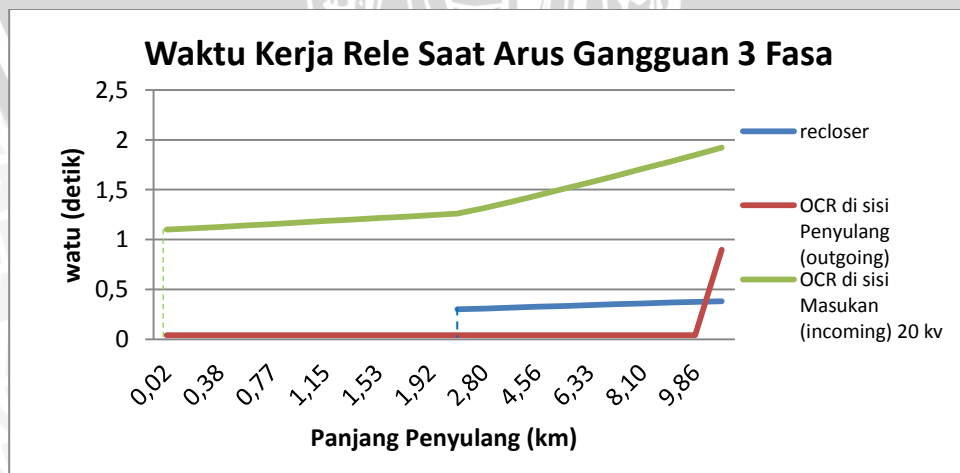
Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan pemeriksaan waktu kerja rele arus lebih pada setiap titik gangguan dapat dilihat pada tabel 4.16 untuk gangguan 3 fasa dan tabel 4.17 untuk gangguan 2 fasa.

Tabel 4.16 Waktu kerja rele pada saat gangguan hubung singkat 3 fasa

	Panjang		Waktu Kerja Rele (t)		
	%	KM	Recloser	Penyulang	Masukan
GI - Recloser	1 %	0,0192	-	0,04	1,1
	10 %	0,1916	-	0,04	1,1129
	20 %	0,3832	-	0,04	1,1273
	30 %	0,5748	-	0,04	1,1419
	40 %	0,7664	-	0,04	1,1564
	50 %	0,9580	-	0,04	1,1710
	60 %	1,1496	-	0,04	1,1856
	70 %	1,3412	-	0,04	1,2003
	80 %	1,5328	-	0,04	1,2150
	90 %	1,7244	-	0,04	1,2297
	100 %	1,9160	-	0,04	1,2444
Recloser – Ujung Penyulang	1 %	2,0043	0,3	0,04	1,2605
	10 %	2,7989	0,3080	0,04	1,3153
	20 %	3,6818	0,3169	0,04	1,3779
	30 %	4,5647	0,3257	0,04	1,4418
	40 %	5,4476	0,3343	0,04	1,5069
	50 %	6,3305	0,3427	0,04	1,5730
	60 %	7,2134	0,3510	0,04	1,6403
	70 %	8,0963	0,3591	0,04	1,7086
	80 %	8,9792	0,3671	0,04	1,7782
	90 %	9,8621	0,3750	0,04	1,8491
	100 %	10,745	0,3827	0,8966	1,9214

Sumber : Hasil perhitungan

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.16 dapat dibuat grafik waktu kerja rele saat gangguan 3 fasa yang ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Waktu Kerja Rele Saat Gangguan Arus Hubung Singkat 3 Fasa

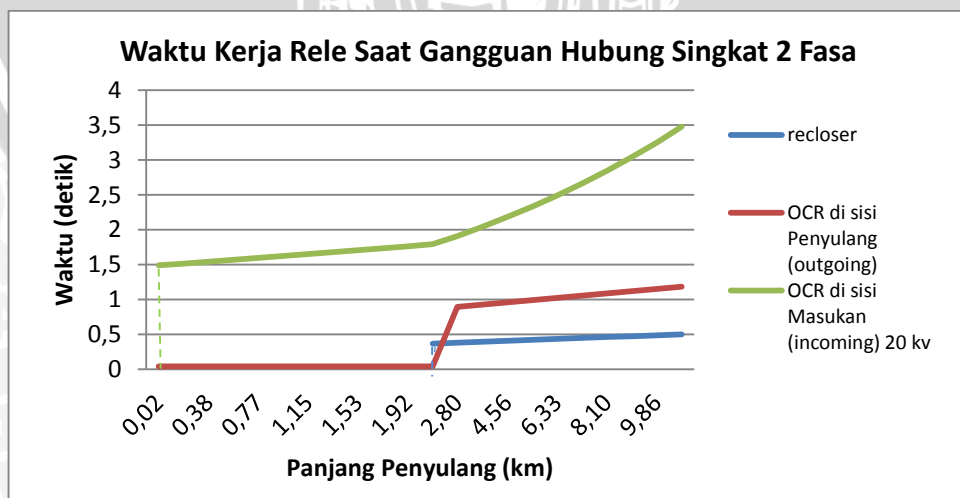
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.17 Waktu kerja rele pada saat gangguan hubung singkat 2 fasa

	Panjang		Waktu Kerja Rele (t)		
	%	KM	Recloser	Penyulang	Masukan
GI - Recloser	1 %	0,0192	-	0,04	1,4901
	10 %	0,1916	-	0,04	1,5137
	20 %	0,3832	-	0,04	1,5402
	30 %	0,5748	-	0,04	1,5670
	40 %	0,7664	-	0,04	1,5942
	50 %	0,9580	-	0,04	1,6217
	60 %	1,1496	-	0,04	1,6495
	70 %	1,3412	-	0,04	1,6776
	80 %	1,5328	-	0,04	1,7060
	90 %	1,7244	-	0,04	1,7347
Recloser – Ujung Penyulang	1 %	2,0043	0,3691	0,04	1,7958
	10 %	2,7989	0,3812	0,8931	1,9075
	20 %	3,6818	0,3947	0,9256	2,0400
	30 %	4,5647	0,4082	0,9582	2,1811
	40 %	5,4476	0,4217	0,9905	2,3313
	50 %	6,3305	0,4350	1,0228	2,4912
	60 %	7,2134	0,4482	1,0548	2,6616
	70 %	8,0963	0,4614	1,0867	2,8438
	80 %	8,9792	0,4744	1,1184	3,0389
	90 %	9,8621	0,4874	1,1500	3,2488
	100 %	10,745	0,5003	1,1815	3,4753

Sumber : Hasil perhitungan

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.17 dapat dibuat grafik waktu kerja rele saat gangguan 2 fasa yang ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Waktu Kerja Rele Saat Gangguan Arus Hubung Singkat 2 Fasa

Sumber : Hasil perhitungan

#### 4.3.4 Analisis Penyetelan *Recloser* dengan Rele Arus Lebih

Dari Tabel 4.13 dan gambar grafik 4.5 untuk waktu kerja pengaman saat terjadi gangguan arus hubung singkat 3 fasa dapat dilihat bahwa waktu kerja antara *recloser* dengan rele arus lebih di sisi penyulang terjadi kesalahan koordinasi atau ketidak sesuaian koordinasi. Dimana, rele pada sisi penyulang sudah bekerja dengan karakteristik rele *instant* ( $t = 40$  milidetik) pada daerah kerja *recloser* yang memiliki waktu kerja 0,3 detik. Hal ini dapat mengakibatkan rele arus lebih di sisi penyulang yang merupakan pengaman cadangan bekerja terlebih dahulu dibandingkan *recloser* yang merupakan pengaman utama.

Pada grafik 4.6 yang merupakan waktu kerja saat terjadi gangguan arus hubung singkat 2 fasa juga terjadi kesalahan koordinasi, dimana rele arus lebih sisi penyulang bekerja terlebih dahulu dibandingkan *recloser* yang merupakan pengaman utama.

Untuk mendapatkan koordinasi yang sesuai antara *recloser*, rele arus lebih di sisi penyulang dan di sisi masukan maka harus dilakukan penyetelan ulang terhadap peralatan pengaman. Penyetelan ulang akan dilakukan pada pengaman rele arus lebih di sisi penyulang dengan merubah penyetelah rele yang semula menggunakan dua karakteristik yaitu karakteristik *instant* dan *invers* menjadi menggunakan satu karakteristik yaitu karakteristik *invers*.

#### 4.4 Penyetelan Ulang Setelan Rele Arus Lebih di Sisi Penyulang

Penyetelan ulang terhadap setelan rele arus lebih di sisi penyulang yaitu merubah penyetelan rele dengan menggunakan karakteristik *invers* saja.

##### 4.4.1 Penyetelan Arus dan TMS Baru di Sisi Penyulang

Perhitungan penyetelan rele arus lebih dilakukan dengan melakukan perhitungan terhadap penyetelan arus dan penyetelan TMS. Pada rele arus lebih di sisi penyulang yang semula menggunakan karakteristik rele campuran, yaitu antara rele *standart invers* dan rele *instant* dirubah hanya menggunakan karakteristik rele *invers*.



## 1. Nilai setelan arus di sisi penyulang

### a. Menggunakan karakteristik *standart inverse*

Untuk setelan rele yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum. Untuk rele *inverse* biasanya diset sebesar 1,05 sampai dengan  $1,1 \times I_{maks}$ .

Setelan rele arus lebih dihitung dengan menggunakan persamaan (2.22) dan (2.23) yaitu sebagai berikut:

Setelan Arus rele arus lebih Sisi Keluaran 20 kV

#### • Arus Primer

$$I_s = 1,05 \times I_{maks}$$

$$I_s = 1,05 \times 101 \text{ A}$$

$$= 106,05 \text{ A}$$

Nilai setelan ini merupakan nilai primer, untuk memperoleh nilai setelan sekunder yang akan diatus pada rele arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan data rasio transformator arus yang terpasang di penyulang tersebut, yaitu:

#### • Arus Sekunder

$$I_p = I_s \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I_p = 106,05 \times \frac{1}{400/5}$$

$$= 1,3256 \text{ A}$$

## 2. Nilai setelan waktu di sisi penyulang

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya penyetelan TMS rele arus lebih sisi penyulang yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa yang terjadi di busbar 20 kV Gardu Induk Sengkaling. Arus gangguan hubung singkat ini diambil sebagai titik koordinasi antara rele arus lebih sisi penyulang dengan *recloser*. Waktu kerja *recloser* yang ditetapkan 0,3 detik dan waktu tunda antara *recloser* dan rele di sisi penyulang ( $\Delta t$ ) sebesar 0,4 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 menggunakan persamaan (2.25), diperoleh nilai TMS di sisi penyulang sebagai berikut:

$$TMS = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_F}{I_S} \right)^\alpha - 1 \right]}{\beta}$$

Dimana :

$$t = (t_{diREC} + \Delta t) = (0,3+0,4) \text{ detik} = 0,7 \text{ detik}$$

$$I_F = \text{ arus gangguan} = 4467,77 \text{ A}$$

$$I_S = 106,5 \text{ A}$$

$$\alpha = 0,02$$

$$\beta = 0,1$$

Maka :

$$TMS = \frac{0,7 \times \left[ \left( \frac{4467,77}{106,5} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,3879 \text{ (tanpa satuan)}$$

Penyetelan waktu kerja rele arus lebih diterapkan pada lokasi kerja dari rele arus lebih sisi penyulang, yaitu dimulai dari 1% di depan GI. Waktu kerja rele dapat dihitung dengan menggunakan persamaan standar invers (2.24), sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left[ \left( \frac{I_{Fault}}{I_{Set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

Dimana:

$$TMS = 0,3879$$

$$I_{Fault} = 6251,976 \text{ A}$$

$$I_{SET} = 106,05 \text{ A}$$

$$t = \frac{0,14 \times 0,3879}{\left[ \left( \frac{6251,976}{106,05} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$= 0,6399 \text{ detik.}$$

Tabel 4.18 Tabel perhitungan baru pengaturan rele arus lebih dan *recloser*

Penyetelan	<i>Recloser</i>	Rele Arus Lebih	
		Penyulang atau <i>outgoing</i>	Masukan atau <i>incoming 20 kV</i>
Is (A)	98,24	$I > : 106,05$	420
TMS	0,17	0,3879	0,436

Sumber : Hasil perhitungan

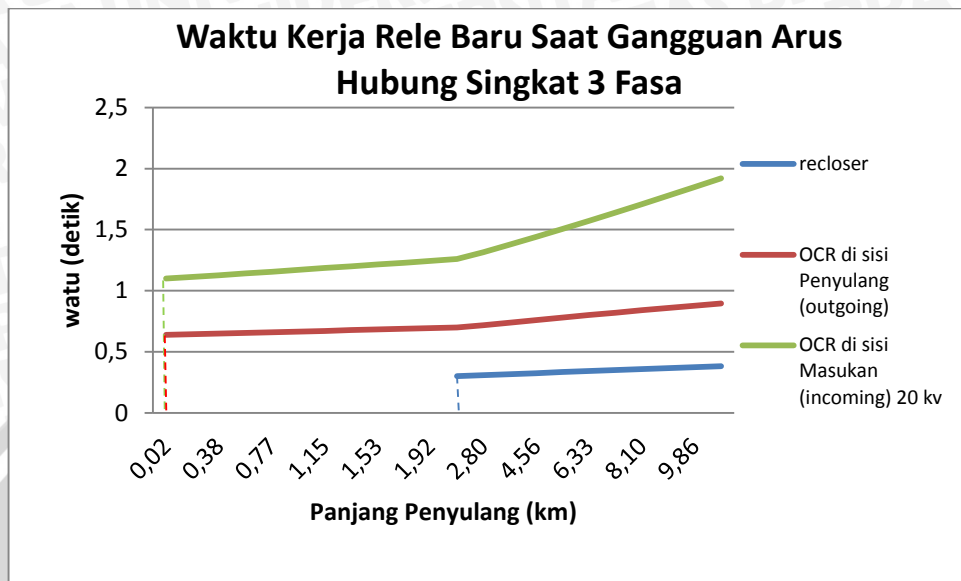
Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan pemeriksaan waktu kerja rele arus lebih pada setiap titik gangguan dapat dilihat pada tabel 4.19 untuk gangguan 3 fasa dan tabel 4.20 untuk gangguan 2 fasa.

Tabel 4.19 Waktu kerja rele baru pada saat gangguan hubung singkat 3 fasa

	Panjang		Waktu Kerja Rele (t)		
	%	KM	<i>recloser</i>	penyulang	masukan
GI - <i>Recloser</i>	1 %	0,0192	-	0,6392	1,1
	10 %	0,1916	-	0,6443	1,1129
	20 %	0,3832	-	0,6498	1,1273
	30 %	0,5748	-	0,6554	1,1419
	40 %	0,7664	-	0,6609	1,1564
	50 %	0,9580	-	0,6664	1,1710
	60 %	1,1496	-	0,6718	1,1856
	70 %	1,3412	-	0,6772	1,2003
	80 %	1,5328	-	0,6826	1,2150
	90 %	1,7244	-	0,6880	1,2297
<i>Recloser</i> – Ujung Penyulang	1 %	2,0043	0,3	0,6990	1,2605
	10 %	2,7989	0,3080	0,7182	1,3153
	20 %	3,6818	0,3169	0,7394	1,3779
	30 %	4,5647	0,3257	0,7603	1,4418
	40 %	5,4476	0,3343	0,7808	1,5069
	50 %	6,3305	0,3427	0,8010	1,5730
	60 %	7,2134	0,3510	0,8208	1,6403
	70 %	8,0963	0,3591	0,8402	1,7086
	80 %	8,9792	0,3671	0,8593	1,7782
	90 %	9,8621	0,3750	0,8781	1,8491
100 %	10,745	0,3827	0,8966	1,9214	

Sumber : Hasil perhitungan

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.19 dapat dibuat grafik waktu kerja rele baru saat gangguan 3 fasa yang ditunjukkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Waktu Kerja Rele Baru Saat Gangguan Arus Hubung Singkat 3 Fasa

Sumber : Hasil perhitungan

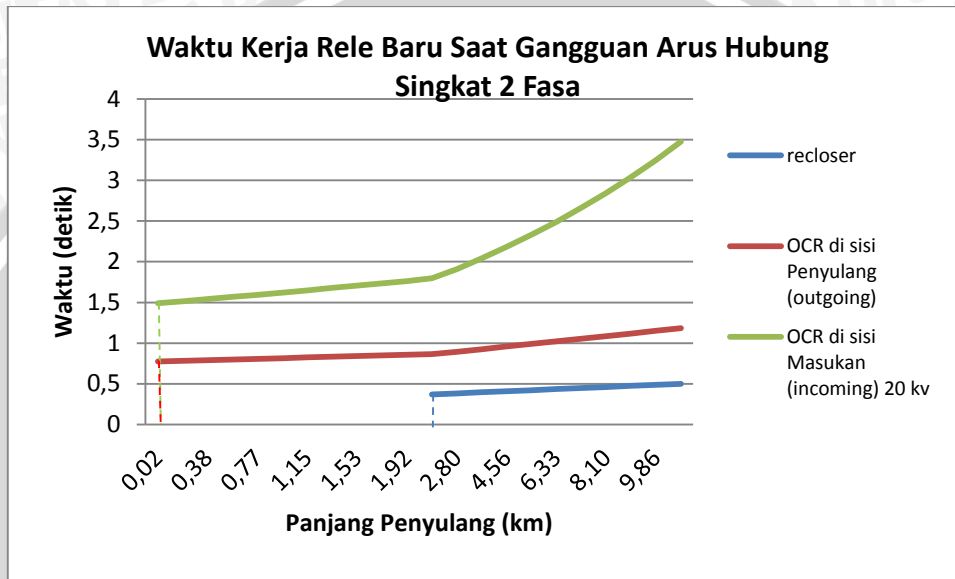
Tabel 4.20 Waktu kerja rele baru pada saat gangguan hubung singkat 2 fasa

	Panjang		Waktu Kerja Rele (t)		
	%	KM	recloser	penyulang	masukan
GI - Recloser	1 %	0,0192	-	0,7756	1,4901
	10 %	0,1916	-	0,7829	1,5137
	20 %	0,3832	-	0,7911	1,5402
	30 %	0,5748	-	0,7992	1,5670
	40 %	0,7664	-	0,8073	1,5942
	50 %	0,9580	-	0,8154	1,6217
	60 %	1,1496	-	0,8234	1,6495
	70 %	1,3412	-	0,8315	1,6776
	80 %	1,5328	-	0,8395	1,7060
	90 %	1,7244	-	0,8474	1,7347
Recloser – Ujung Penyulang	100 %	1,9160	-	0,8554	1,7637
	1 %	2,0043	0,3691	0,8640	1,7958
	10 %	2,7989	0,3812	0,8931	1,9075
	20 %	3,6818	0,3947	0,9256	2,0400
	30 %	4,5647	0,4082	0,9582	2,1811
	40 %	5,4476	0,4217	0,9905	2,3313
	50 %	6,3305	0,4350	1,0228	2,4912
	60 %	7,2134	0,4482	1,0548	2,6616
70 %	8,0963	0,4614	1,0867	2,8438	

	Panjang		Waktu Kerja Rele (t)		
	%	KM	<i>recloser</i>	penyulang	masukan
	80 %	8,9792	0,4744	1,1184	3,0389
	90 %	9,8621	0,4874	1,1500	3,2488
	100 %	10,7450	0,5003	1,1815	3,4753

Sumber : Hasil perhitungan

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.20 dapat dibuat grafik waktu kerja rele baru saat gangguan 2 fasa yang ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Waktu Kerja Rele Baru Saat Gangguan Arus Hubung Singkat 2 Fasa

Sumber : Hasil perhitungan

#### 4.4.2 Analisis Penyetelan Baru *Recloser* dengan Rele Arus Lebih

Dari tabel 4.19 dan 4.20 dan gambar grafik 4.7 dan 4.8 yang merupakan hasil perhitungan waktu kerja *recloser*, rele arus lebih sisi penyulang dan sisi masukan terlihat bahwa dengan merubah pengaturan rele arus lebih sisi masukan yang awalnya menggunakan dua karakteristik rele yaitu rele *instant* dan *invers* menjadi rele *invers* telah memperbaiki koordinasi waktu kerja menjadi ideal.

*Recloser* sebagai pengaman utama dengan waktu kerja awal 0,3 detik dapat mengisolasi gangguan sebelum rele arus lebih pada sisi penyulang dengan waktu tunda 0,4 detik. Begitupula dengan koordinasi antara rele arus lebih sisi penyulang dengan sisi masukan dimana rele arus lebih pada sisi masukan bekerja terlebih dahulu daripada sisi penyulang yang memiliki waktu tunda 0,4 detik. Hal ini sesuai dengan ketetapan waktu kerja antar pengaman yang ditetapkan PLN dimana setiap pengaman memiliki waktu tunda sebesar 0,4-0,5 detik.

#### 4.5 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Keadaan di Lapangan

Dari hasil perhitungan penyetelan rele arus lebih dan *recloser* pada tabel 4.18 dapat dilakukan perbandingan antara penyetelan terpasang dan penyetelan sesuai dengan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 4.21.

Tabel 4.21 Perbandingan Penyetelan Rele Arus Lebih dan *Recloser* yang diterapkan di lapangan dengan penyetelan hasil perhitungan.

Pengaman	Penyetelan yang diterapkan di Lapangan	Penyetelan Hasil Perhitungan
Rele Arus Lebih Sisi Masukan 20 kV CT : 2000/5	I>: 1000 A TMS: 0,2 (SI)	I>: 420 A TMS : 0,436 (SI)
Rele Arus Lebih Sisi Penyulang CT : 400/5	I > : 320 A TMS: 0,05 (SI)	I>: 106,05A TMS : 0,3879 (SI)
	I>>: 2000A t: instan	
<i>Recloser</i> CT : 1000/1	I > : 250 A TMS : 0,05	I > : 98,24 A TMS : 0,17 (SI)

Sumber: Penulis

Dari tabel 4.21 terlihat perbedaan setelan arus antara setelan yang diterapkan di lapangan dengan 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 jenis rele arus lebih yang digunakan, begitupun sebaliknya penyetelan arus hasil perhitungan pada sisi penyulang dan pada *recloser* lebih kecil dari yang di terapkan di lapangan, hal ini dikarenakan penyetelan arus yang di terapkan 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 dan pada *recloser* sehingga tampak dari segi penyetelan arus jauh berbeda.

Dari perbedaan perhitungan arus gangguan hubung singkat dan penyetelan arus antara hasil perhitungan dan setelan di lapangan mengakibatkan penyetelan TMS yang ditetapkan pada *recloser*, rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 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 yang terjadi di busbar 20 kV sedangkan hasil perhitungan menggunakan arus gangguan hubung singkat tiga fasa yang terjadi di busbar 20 kV. Untuk awal penentuan waktu kerja rele arus lebih yang diinginkan untuk beroperasi, pada penyetelan *recloser* hasil perhitungan ditetapkan 0.3 detik, hal ini diambil agar rele tidak sampai beroperasi lagi akibat adanya arus naik (*inrush current*) dari trafo-trafo distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi. Sedangkan pada rele arus lebih ditambahkan dengan penambahan waktu tunda (*time delay*) 0,4 detik pada sisi penyulang dan penambahan waktu tunda sebesar 0,4 detik lagi pada sisi masukan. Penambahan waktu ini dikarenakan agar pengaman utama dapat bekerja terlebih dahulu mengisolasi gangguan baru apabila pengaman utama gagal melakukan pengisolasian, dengan waktu tunda yg diberikan pengaman cadangan dapat melakukan pengisolasian.

Dari tabel 4.21 dapat diketahui pula perbandingan koordinasi waktu kerja antara *recloser*, rele arus lebih sisi penyulang dan sisi masukan 20 kV. Hasil perhitungan waktu kerja ditunjukkan pada tabel 4.22 untuk waktu kerja dilapangan saat gangguan hubung singkat 3 fasa, dan 4.23 untuk gangguan hubung singkat 2 fasa.

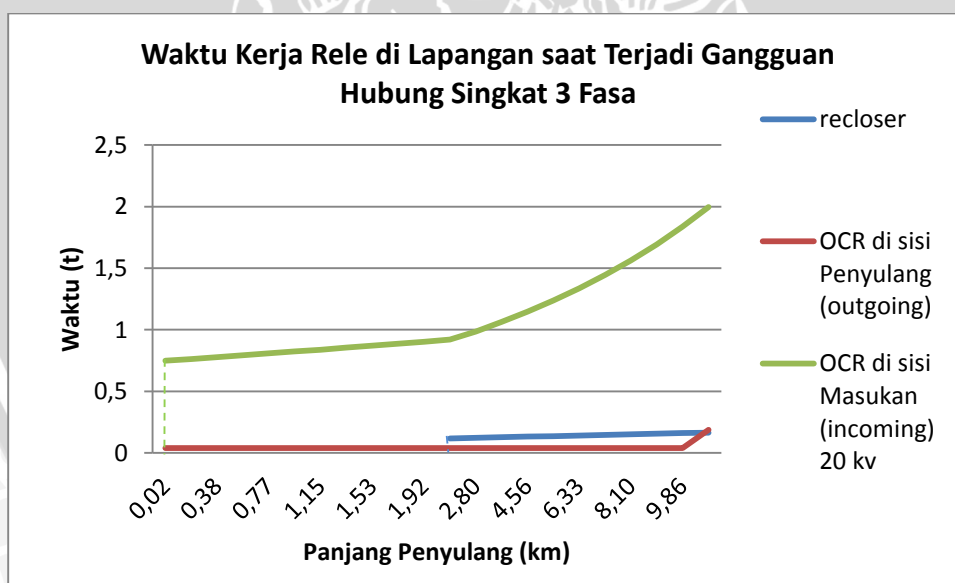
Tabel 4.22 Waktu Kerja Rele Arus Lebih dengan *Recloser* di Lapangan pada saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

	Panjang		Waktu Kerja Rele (t)		
	(KM)	(%)	<i>recloser</i>	penyulang	masukan
GI - <i>Recloser</i>	1 %	0,0192	-	<i>instant</i>	0,7499
	10 %	0,1916	-	<i>instant</i>	0,7628
	20 %	0,3832	-	<i>instant</i>	0,7775
	30 %	0,5748	-	<i>instant</i>	0,7924
	40 %	0,7664	-	<i>instant</i>	0,8075
	50 %	0,958	-	<i>instant</i>	0,8228

	60 %	1,1496	-	<i>instant</i>	0,8384
	70 %	1,3412	-	<i>instant</i>	0,8542
	80 %	1,5328	-	<i>instant</i>	0,8702
	90 %	1,7244	-	<i>instant</i>	0,8865
	100 %	1,916	-	<i>instant</i>	0,9030
<i>Recloser</i> – Ujung Penyulang	1 %	2,0043	0,1179	<i>instant</i>	0,9213
	10 %	2,7989	0,1221	<i>instant</i>	0,9856
	20 %	3,6818	0,1268	<i>instant</i>	1,0631
	30 %	4,5647	0,1315	<i>instant</i>	1,1472
	40 %	5,4476	0,1362	<i>instant</i>	1,2384
	50 %	6,3305	0,1410	<i>instant</i>	1,3374
	60 %	7,2134	0,1457	<i>instant</i>	1,4453
	70 %	8,0963	0,1504	<i>instant</i>	1,5635
	80 %	8,9792	0,1551	<i>instant</i>	1,6934
	90 %	9,8621	0,1598	<i>instant</i>	1,8370
	100 %	10,745	0,1645	0,1871	1,9969

Sumber : Hasil perhitungan

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.22 dapat dibuat grafik waktu kerja rele saat gangguan 3 fasa di lapangan yang ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Waktu Kerja Rele saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Lapangan

Sumber : Hasil perhitungan

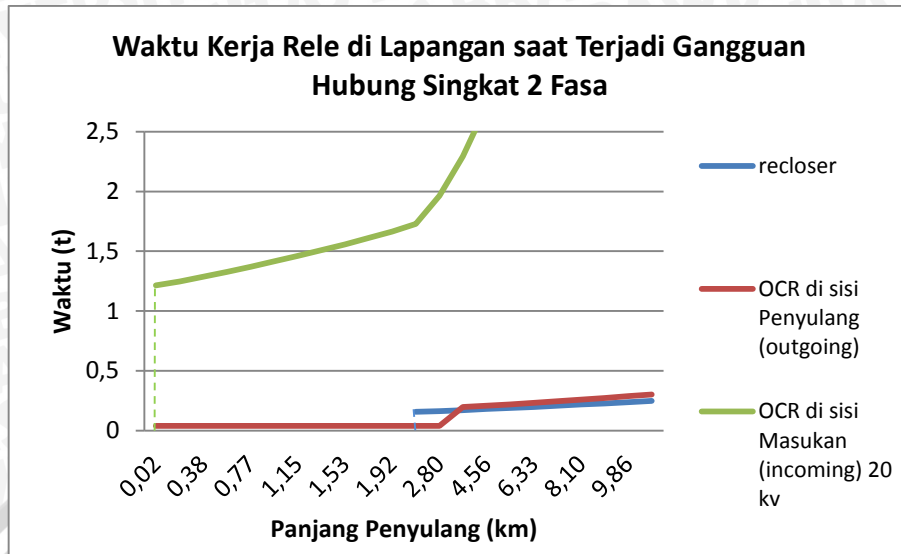


Tabel 4.23 Waktu Kerja Rele Arus Lebih dengan *Recloser* di Lapangan pada saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

	Panjang		Waktu Kerja Rele (t)		
	(KM)	(%)	<i>recloser</i>	penyulang	masukan
GI - <i>Recloser</i>	1 %	0,0192	-	<i>instant</i>	1,2143
	10 %	0,1916	-	<i>instant</i>	1,2483
	20 %	0,3832	-	<i>instant</i>	1,2874
	30 %	0,5748	-	<i>instant</i>	1,3282
	40 %	0,7664	-	<i>instant</i>	1,3706
	50 %	0,958	-	<i>instant</i>	1,4148
	60 %	1,1496	-	<i>instant</i>	1,4608
	70 %	1,3412	-	<i>instant</i>	1,5087
	80 %	1,5328	-	<i>instant</i>	1,5587
	90 %	1,7244	-	<i>instant</i>	1,6108
	100 %	1,916	-	<i>instant</i>	1,6653
<i>Recloser</i> – Ujung Penyulang	1 %	2,0043	0,1563	<i>instant</i>	1,7278
	10 %	2,7989	0,1636	<i>instant</i>	1,9651
	20 %	3,6818	0,1721	0,1969	2,2939
	30 %	4,5647	0,1808	0,2083	2,7176
	40 %	5,4476	0,1897	0,2202	3,2820
	50 %	6,3305	0,1989	0,2326	4,0698
	60 %	7,2134	0,2083	0,2455	5,2453
	70 %	8,0963	0,2179	0,2589	7,1893
	80 %	8,9792	0,2278	0,2729	11,0244
	90 %	9,8621	0,2379	0,2875	22,1403
	100 %	10,745	0,2484	0,3028	456,7454

Sumber : Hasil perhitungan

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.23 dibuat grafik waktu kerja rele saat gangguan 2 fasa di lapangan yang ditunjukkan gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Waktu Kerja Rele saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa di Lapangan

Sumber : Hasil perhitungan

Berdasarkan grafik pada gambar 4.9 dan 4.10 untuk waktu kerja *recloser*, rele arus lebih baik di di sisi penyulang maupun di sisi masukan yang diterapkan di lapangan terlihat bahwa terjadi kesalahan koordinasi antara *recloser* dan rele arus lebih di sisi penyulang. Waktu tunda yang diterapkan dilapangan juga tidak sesuai dengan standar yang telah di tetapkan.

Dari perhitungan waktu kerja dilapangan, maka dapat dilakukan perbandingan antara waktu kerja rele arus lebih dengan *recloser* yang ditunjukkan pada tabel 4.24 pada saat gangguan hubung singkat 3 fasa dan 4.25 pada saat gangguan hubung singkat 2 fasa.

Tabel 4.24 Perbandingan Waktu Kerja Rele Arus Lebih dan *Recloser* pada saat Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

	Panjang		Waktu Kerja Rele (t)					
			Hasil Perhitungan			Keadaan Dilapangan		
	%	KM	<i>recloser</i>	Rele Arus Lebih		<i>recloser</i>	Rele Arus Lebih	
			Penyulang	masukan		penyulang	masukan	
GI – <i>Recloser</i>	1	0,0192	-	0,6392	1,1	-	<i>instant</i>	0,7499
	10	0,1916	-	0,6443	1,1129	-	<i>instant</i>	0,7628
	20	0,3832	-	0,6498	1,1273	-	<i>instant</i>	0,7775
	30	0,5748	-	0,6554	1,1419	-	<i>instant</i>	0,7924

	Panjang		Waktu Kerja Rele (t)					
			Hasil Perhitungan			Keadaan Dilapangan		
	%	KM	<i>recloser</i>	Rele Arus Lebih		<i>recloser</i>	Rele Arus Lebih	
			Penyulang	masukan		penyulang	masukan	
	40	0,7664	-	0,6609	1,1564	-	<i>instant</i>	0,8075
	50	0,958	-	0,6664	1,1710	-	<i>instant</i>	0,8228
	60	1,1496	-	0,6718	1,1856	-	<i>instant</i>	0,8384
	70	1,3412	-	0,6772	1,2003	-	<i>instant</i>	0,8542
	80	1,5328	-	0,6826	1,2150	-	<i>instant</i>	0,8702
	90	1,7244	-	0,6880	1,2297	-	<i>instant</i>	0,8865
	100	1,916	-	0,6932	1,2444	-	<i>instant</i>	0,9030
Recloser – Ujung Penyulang	1	2,0043	0,3	0,6990	1,2605	0,1179	<i>instant</i>	0,9213
	10	2,7989	0,3080	0,7182	1,3153	0,1221	<i>instant</i>	0,9856
	20	3,6818	0,3169	0,7394	1,3779	0,1268	<i>instant</i>	1,0631
	30	4,5647	0,3257	0,7603	1,4418	0,1315	<i>instant</i>	1,1472
	40	5,4476	0,3343	0,7808	1,5069	0,1362	<i>instant</i>	1,2384
	50	6,3305	0,3427	0,8010	1,5730	0,1410	<i>instant</i>	1,3374
	60	7,2134	0,3510	0,8208	1,6403	0,1457	<i>instant</i>	1,4453
	70	8,0963	0,3591	0,8402	1,7086	0,1504	<i>instant</i>	1,5635
	80	8,9792	0,3671	0,8593	1,7782	0,1551	<i>instant</i>	1,6934
	90	9,8621	0,3750	0,8781	1,8491	0,1598	<i>instant</i>	1,8370
100	10,745	0,3827	0,8966	1,9214	0,1645	0,1871	1,9969	

Sumber : Hasil perhitungan

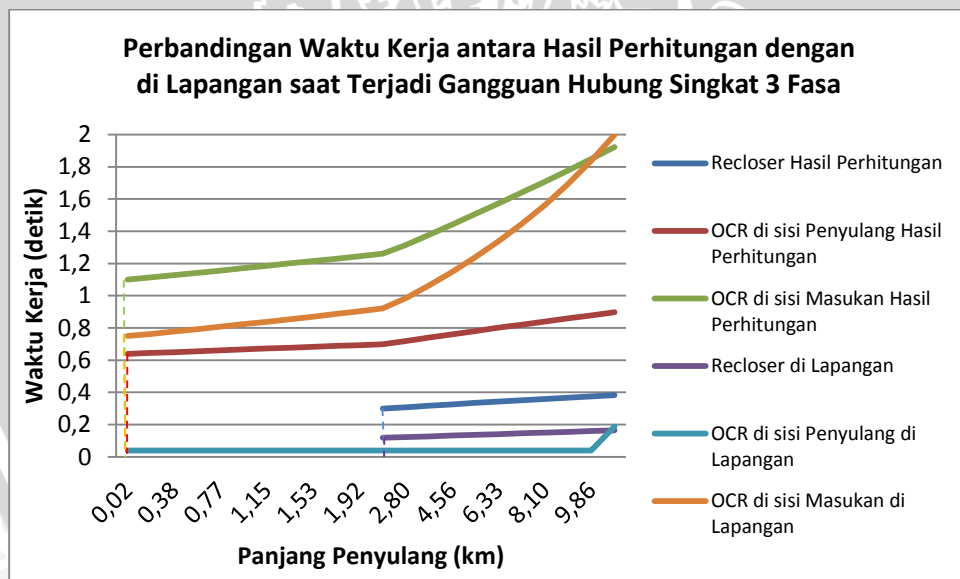
Tabel 4.25 Perbandingan Waktu Kerja Rele Arus Lebih dan *Recloser* pada saat Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

	Panjang		Waktu Kerja Rele (t)					
			Hasil Perhitungan			Keadaan Dilapangan		
	%	KMS	<i>recloser</i>	Rele Arus Lebih		<i>recloser</i>	Rele Arus Lebih	
			penyulang	masukan		penyulang	masukan	
GI – Recloser	1	0,0192	-	0,7756	1,4901	-	<i>instant</i>	1,2143
	10	0,1916	-	0,7829	1,5137	-	<i>instant</i>	1,2483
	20	0,3832	-	0,7911	1,5402	-	<i>instant</i>	1,2874
	30	0,5748	-	0,7992	1,5670	-	<i>instant</i>	1,3282
	40	0,7664	-	0,8073	1,5942	-	<i>instant</i>	1,3706
	50	0,958	-	0,8154	1,6217	-	<i>instant</i>	1,4148
	60	1,1496	-	0,8234	1,6495	-	<i>instant</i>	1,4608
	70	1,3412	-	0,8315	1,6776	-	<i>instant</i>	1,5087
	80	1,5328	-	0,8395	1,7060	-	<i>instant</i>	1,5587
	90	1,7244	-	0,8474	1,7347	-	<i>instant</i>	1,6108
	100	1,916	-	0,8554	1,7637	-	<i>instant</i>	1,6653
Recloser – Ujung	1	2,0043	0,3691	0,8640	1,7958	0,1563	<i>instant</i>	1,7278
	10	2,7989	0,3812	0,8931	1,9075	0,1636	<i>instant</i>	1,9651

Panjang	Waktu Kerja Rele (t)							
	%      KMS		Hasil Perhitungan			Keadaan Dilapangan		
			<i>recloser</i>	Rele Arus Lebih		<i>recloser</i>	Rele Arus Lebih	
penyulang	masukan	penyulang		masukan				
Penyulang	20	3,6818	0,3947	0,9256	2,0400	0,1721	0,1969	2,2939
	30	4,5647	0,4082	0,9582	2,1811	0,1808	0,2083	2,7176
	40	5,4476	0,4217	0,9905	2,3313	0,1897	0,2202	3,2820
	50	6,3305	0,4350	1,0228	2,4912	0,1989	0,2326	4,0698
	60	7,2134	0,4482	1,0548	2,6616	0,2083	0,2455	5,2453
	70	8,0963	0,4614	1,0867	2,8438	0,2179	0,2589	7,1893
	80	8,9792	0,4744	1,1184	3,0389	0,2278	0,2729	11,0244
	90	9,8621	0,4874	1,1500	3,2488	0,2379	0,2875	22,1403
	100	10,745	0,5003	1,1815	3,4753	0,2484	0,3028	456,7454

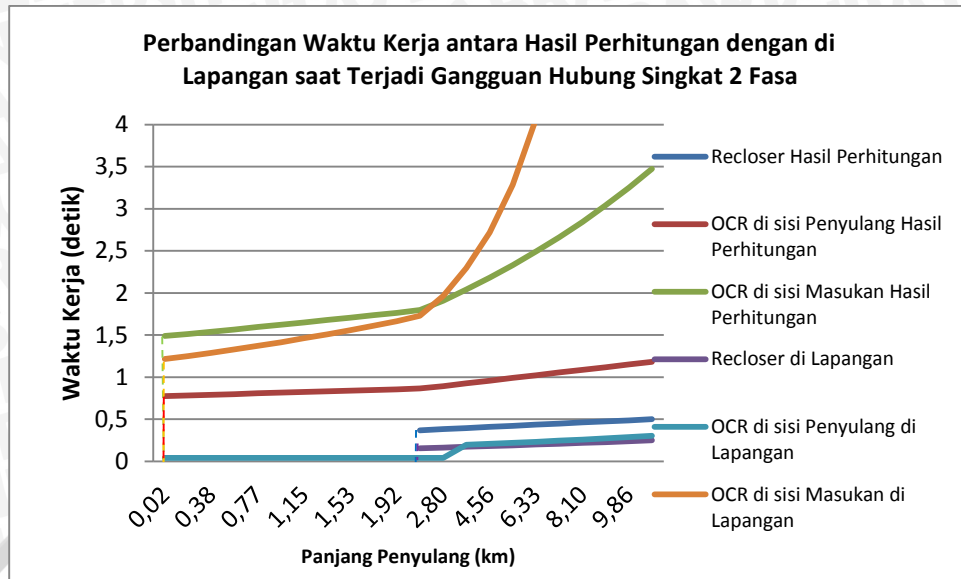
Sumber : Hasil perhitungan

Dari tabel 4.24 dan 4.25 dapat digambarkan grafik koordinasi waktu kerja antara *recloser*, rele arus lebih sisi penyulang dan masukan 20 kV yang ditunjukkan pada gambar 4.11 dan 4.12 dibawah ini.



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Waktu Kerja Saat Terjadi Gangguan Arus Hubung Sungkat 3 Fasa

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Waktu Kerja Saat Terjadi Gangguan Arus Hubung Sungkat 2 Fasa

Sumber : Hasil perhitungan

Berdasarkan gambar grafik 4.11 dan 4.12 di atas terlihat perbedaan antara waktu kerja di lapangan dengan waktu kerja hasil perhitungan. Untuk koordinasi waktu kerja antara *recloser*, rele arus lebih sisi penyulang dan masukan 20 kV yang di terapkan di lapangan tidak sesuai dengan ketentuan PLN, sedangkan hasil perhitungan telah memenuhi ketentuan PLN yaitu selisih waktu kerja antara *recloser* sebagai pengaman utama, rele arus lebih sisi penyulang dan rele arus lebih sisi masukan 20 kV sebagai pengaman cadangan adalah 0,4-0,5 detik.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis koordinasi antara *recloser*, rele arus lebih pada penyulang dan masukan (*incoming*) 20 kV Gardu Induk Sengkaling yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya arus gangguan hubung singkat bergantung pada jarak titik gangguan dari sumber hingga ke ujung jaringan. Untuk arus gangguan hubung singkat tiga fasa terbesar adalah 6.251,976 A dan yang terkecil adalah 2.006,14, sedangkan untuk arus gangguan hubung singkat dua fasa terbesar adalah 3.125,988 A dan yang terkecil adalah 1.003,07 A. Arus gangguan hubung singkat dua fasa nilainya lebih kecil dari arus gangguan hubung singkat tiga fasa ( $I_{hs2\phi} < I_{hs3\phi}$ ).
2. Penyetelan *recloser* dan rele arus lebih pada sisi penyulang dan masukan 20 kV yang didapat dari hasil perhitungan adalah sebagai berikut, untuk penyetelan pada *recloser* penyetelan arus pada bagian primer: 98,24 A dengan TMS 0,17. Sedangkan untuk rele arus lebih sisi penyulang, penyetelan arus pada bagian primer: 106,05 A dengan TMS sebesar 0,3879. Dan penyetelan rele arus lebih sisi masukan 20 kV, penyetelan arus pada bagian primer: 420 A dengan TMS sebesar 0,436.
3. Koordinasi pengaman antara *recloser*, rele arus lebih sisi penyulang dan masukan 20 kV belum sesuai dengan koordinasi yang seharusnya. Maka, dilakukan perubahan pengaturan pengaman yaitu rele arus lebih. Perubahan dilakukan dengan merubah rele yang digunakan, yang semula menggunakan rele campuran (*instant* dan *invers*) dirubah menggunakan rele karakteristik *invers*. Pengaturan ulang rele arus lebih di sisi penyulang ini berhasil memperbaiki koordinasi antara *recloser*, rele arus lebih pada sisi keluaran dan sisi masukan 20 kV dengan waktu tunda antar pengaman sebesar 0,4 detik.

## 5.2 Saran

Dari hasil analisis koordinasi antara *recloser*, rele arus lebih pada penyulang dan masukan (*incoming*) 20 kV Gardu Induk Sengkaling yang telah dilakukan maka dapat diambil saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan perubahan pengaturan rele arus lebih di sisi penyulang agar mendapatkan koordinasi yang baik.
2. Untuk mendapatkan pengamanan yang lebih baik untuk mengatasi terjadi arus gangguan hubung singkat maka sebaiknya analisis dilakukan pula terhadap seluruh pengaman pada jaringan distribusi 20 kV, diantaranya *Fuse Cut Out (FCO)*, *Sectionanalyzer (SSO)*, *Load Break Switch (LBS)*, dan pengaman lainnya.

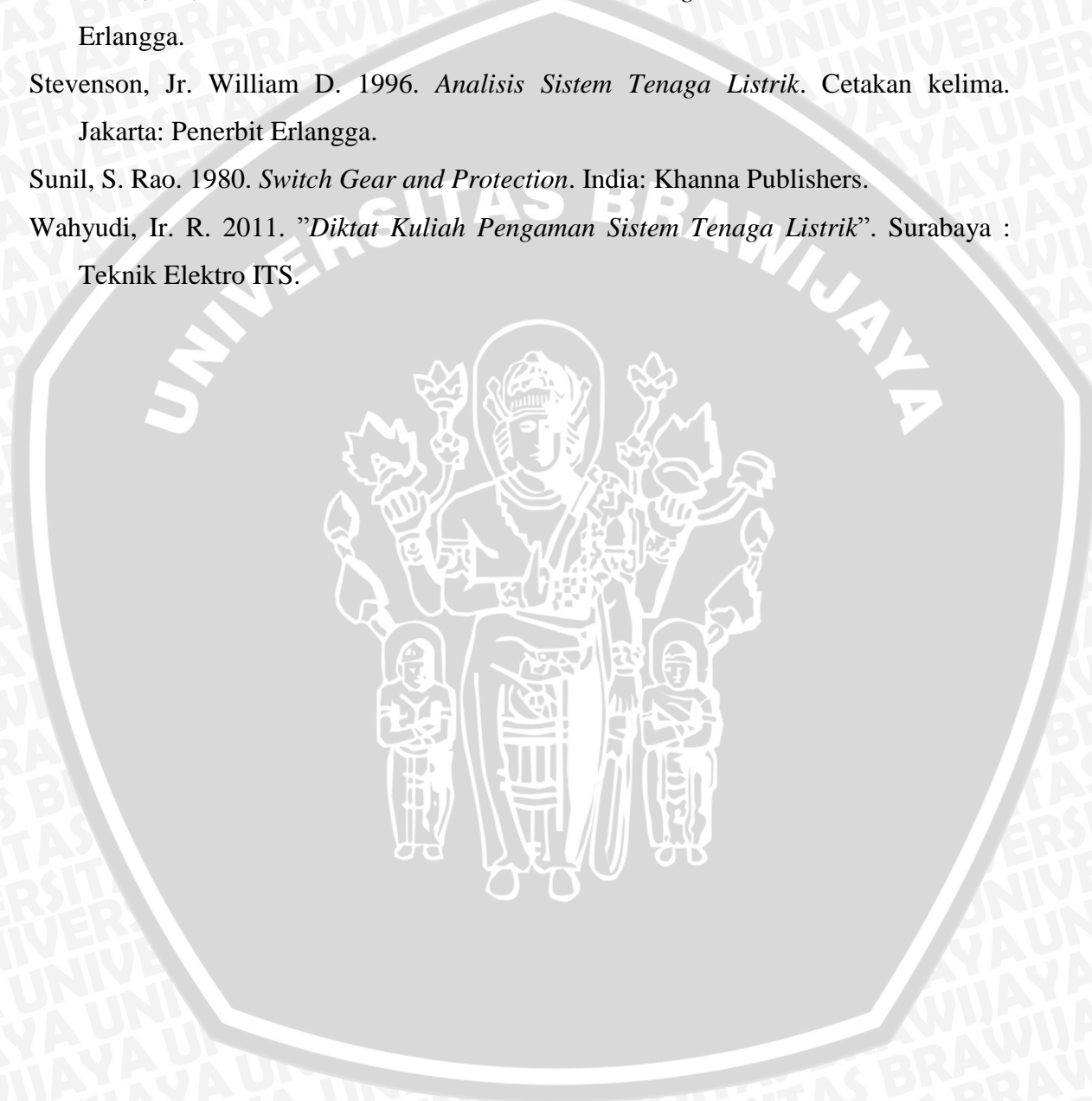


## DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2002. *Network Protection & Automation Guide Alsthom*.
- Dhiptaadmaja, Ketutsura, 2012. Studi Koordinasi Rele Arus Lebih, Recloser, Dan Fuse Cutout Pada Transformator 1 Gardu Induk Gianyar PT. PLN AJ Bali Timur. Tugas Akhir. ITS, Surabaya.
- Gonen, Tauran. 1988. *Reliability Electric Power Distribution System Engineering*. McGraw-Hill, United States of America.
- Hewitson, L.G., dkk. 2004. *Practical Power System Protection*. USA: Elsevier Ltd.
- Horowitz, Stanley H. dan Phadke, Arum G. 2008. *Power System Relaying 3<sup>rd</sup> Edition*. England: John Wiley and Sons.
- Hutauruk, Tumpak S. 1991. *Pentanahan Titik Netral Sistem Tenaga dan Pentanahan Peralatan*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- IEEE Standart 242-1986. *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System*.
- IEC 60255-3.
- Kadarisman, Pribadi dan Sarimun N., Wahyudi, 2010. Proteksi Sistem Distribusi Tegangan Menengah. PT.PLN (Persero), Jakarta.
- Kadir, Abdul. 2006. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. UI-Press, Jakarta.
- NFPA 70E. 2003. *Electrical Safety Requirements for Employee Workplace 2003 Edition*.
- Pabla, AS. 1981. *Electric Power Distribution Systems*. Tata McGraw-Hill. New Delhi.
- Penangsang, Ontoseno. 2006. *Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Jilid 2*. Teknik Elektro ITS, Surabaya.
- P.M Anderson, *Power System Protection*, McGraw-Hill, 1998. British BS 142-1966 Standart.
- PT. PLN (Persero) PUSDIKLAT. 2004. *Kursus Pengaman Sistem Distribusi*. Jakarta: PT. PLN.
- Saksomo, Setiyo. Tanpa Tahun. *Diktat Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- 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.
- Silaban, Abraham. 2009. *Studi Tentang Penggunaan Recloser Pada System Jaringan Distribusi 20kV*. Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Soekarto, J.Tanpa Tahun. *Kursus Relay Proteksi*. Semarang: PT. PLN (Persero) UDIKLAT.
- 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.
- Sunil, S. Rao. 1980. *Switch Gear and Protection*. India: Khanna Publishers.
- Wahyudi, Ir. R. 2011. "Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik". Surabaya : Teknik Elektro ITS.



# LAMPIRAN

## DATA SEKUNDER



## Lampiran I.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*

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

### 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	OKM		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	OKM		0 KM	

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

## Lanjutan Lampiran I.1

## 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, 2014

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.

## Lampiran I.2

Arus Hubung Singkat GI/GITET P3B Jawa Bali Semester Dua, Tahun 2012 Untuk  
Perhitungan Sistem Proteksi

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

Sumber: APJ Malang, 2012

### Lampiran I.3

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

Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Jari <sup>2</sup> 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 I.4

### Daftar Trafo

#### GI. SENGKALING

Nomor Trafo	Merk	Type	Daya MVA	Teg (kV)		Arus (A)		Vektor Group	Sistem Pendingin	Impedansi (%)		
				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

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

#### Lanjutan Tabel Diatas

Sumber: APP Malang, 2010

Lampiran I.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 (MVA)				Tertinggi			Rata-2			
			150 (kV)	20 (kV)					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	Junrejo	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	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, 2014



## Lampiran I.6

## Data Gardu Junrejo

No	GARDU	ALAMAT	DAYA TRAFO	TANGGAL	BEBAN R	BEBAN S	BEBAN T	BEBAN N	TEG R-N	TEG S-N	TEG T-N	DAYA PENGK (KVA)	DAYA PENG %
1	22	Ds. Jeding Goret	160	03/04/2014	233	200	185	126	214	217	215	133.037	83.148125
2	39	Ds. Junrejo	160	29/04/2014	140	94	107	97	226	231	227	77.643	48.526875
3	40	Ds. Jeding	100	17/07/2013	67	39	63	58	218	224	222	37.328	<b>37.328</b>
4	41	Ds.Jeding Kulon	160	26/12/2013	128	145	166	98	234	236	233	102.85	64.28125
5	44	Ds. Rejoso	160	22/07/2013	153	78	130	102	210	216	212	76.538	47.83625
6	106	Dk. Banjartengah	150	20/08/2013	187	183	180	104	213	216	213	117.699	78.466
7	107	Ds. Sempu	75	01/08/2013	97	46	65	73	226	232	225	47.219	62.95866667
8	148	Ds. Junrejo	160	10/07/2013	156	95	149	106	228	223	229	90.874	56.79625
9	151	Balai Desa Tlekung	160	20/08/2013	78	105	124	72	229	225	224	69.263	43.289375
10	152	Ds. Tlekung	160	17/07/2013	159	155	182	86	221	223	225	110.654	69.15875
11	154	Ds. Gadingkulon	160	27/12/2013	117	126	130	90	218	232	228	84.378	52.73625
12	155	Ds. Princi	160	27/12/2013	75	58	93	70	227	234	229	51.894	32.43375
13	163	Ds. Selokerto	100	21/08/2013	108	121	101	79	226	227	230	75.105	75.105
14	181	Ds. Precet	100	23/07/2013	57	62	75	41	217	218	221	42.46	42.46
15	211	RS Baptis	400										
16	221	Ds. Sumbersekar	150	23/07/2013	161	154	126	82	217	220	216	96.033	64.022
17	234	PR. Wastu Asri	160	28/07/2013	46	24	34	35	231	236	232	24.178	15.11125
18	239	Grand. Mandiri Land	50	22/07/2013	7	10	4	9	238	238	242	5.014	10.028
19	257	PR. Dau Recident	100	23/07/2013	15	6	4	11	226	229	225	5.664	5.664
20	275	Ds. Tlekung	100	06/08/2013	48	66	42	42	228	228	231	35.694	35.694
21	291	Jl. Ry. Junrejo	100	24/03/2014	34	43	42	22	219	220	223	26.272	26.272
22	296	JL.RY.TLEKUNG	100										
23	299	PR.DAU INSIDE	160										

Sumber: APP Malang

Lampiran I.7

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 (Ampere)		IMP  (%)	OCR Sekunder (S51)				
				P	S	P	S		CT S	SETELAN HASIL SCANING		SETELAN PENERAPAN	
								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, 2010

Lampiran I.8

Sumber: APJ Malang, 2014

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	Io>>	to>>	
										(A)	(det)	(A)	(det)				(A)	(det)	(volt)				
3	150	20	30	<b>MERLIN GERIN</b>		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	<b>GOLD STAR</b>		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							

## Lampiran I.9

## Kawat Penghantar

Kode dan Nama Penyulang		Panjang Total Saluran TM		AAAC									
		(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	0
Karang Ploso	KRPLS	40079	40.079	0	0	0	0.02	34.781	0	5.278	0	0	0
Pujon	PUJON	60260	60.26	0	13.836	3.071	0	32.323	9.712	1.318	0	0	0
Wastra Indah	WSTIN	20074	20.074	0	5.557	0	3.438	5.814	4.244	1.021	0	0	0

Sumber: APJ Malang, 2014

## Lampiran I.10

## 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 BAMBUR 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 BAMBUR 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 I.10

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
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 JL. 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, 2013

## Lampiran I.11

### 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

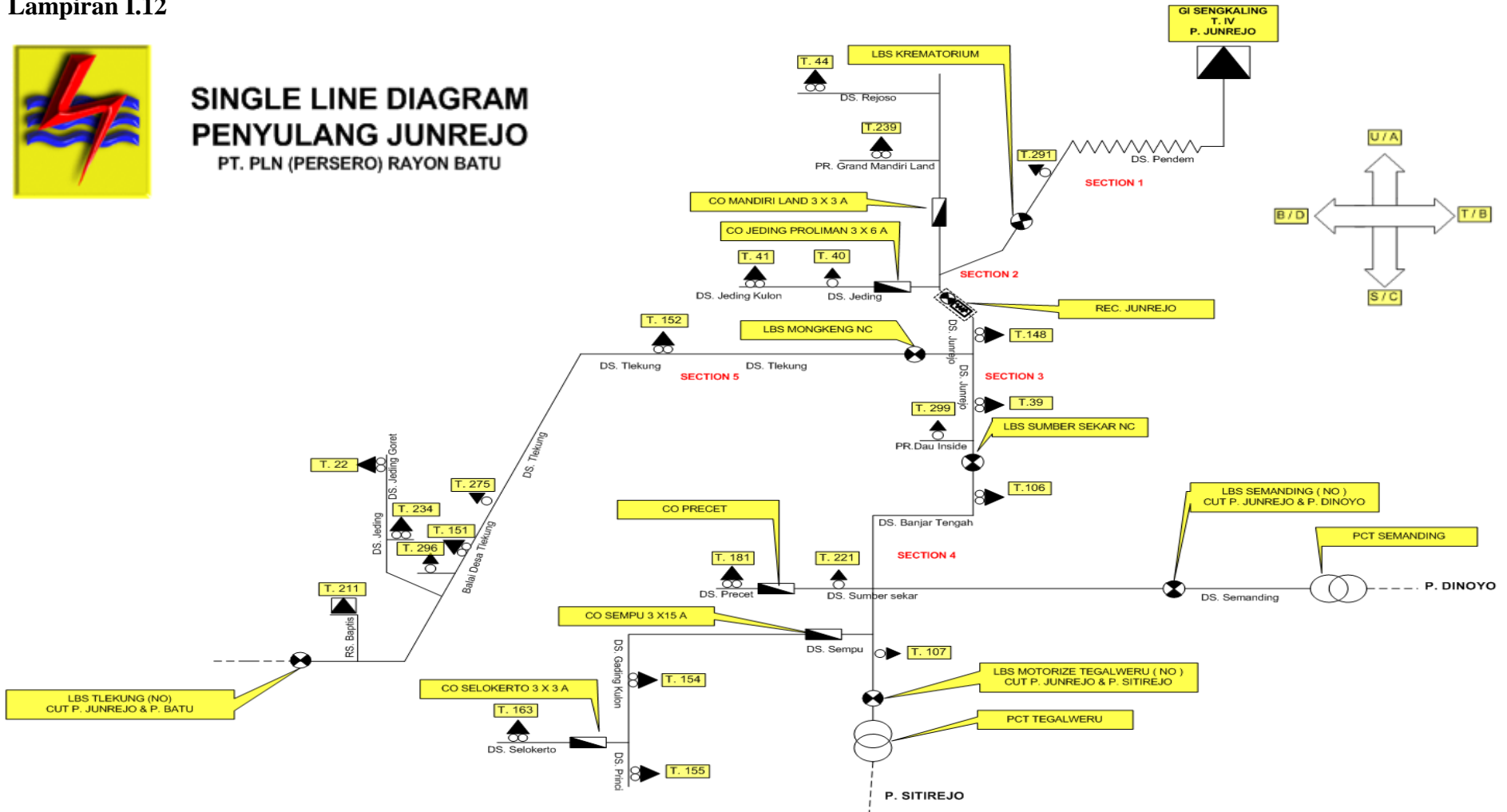
Sumber: APJ Malang, 2013



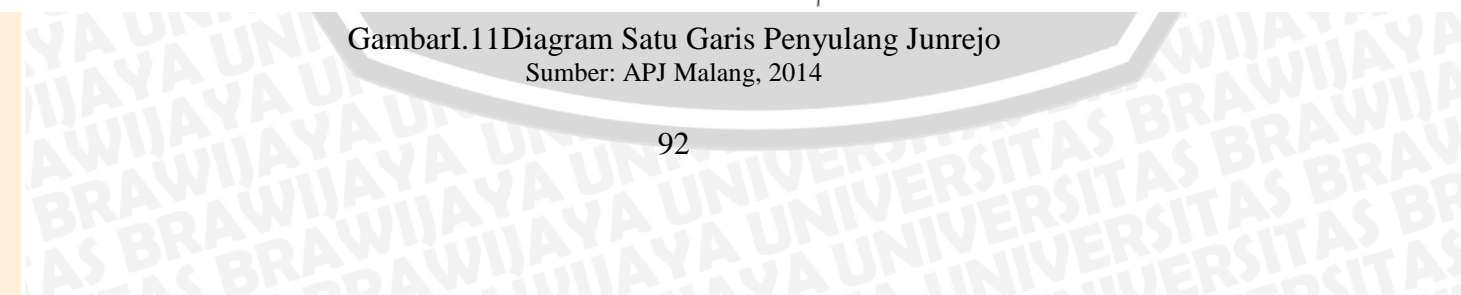
Lampiran I.12



**SINGLE LINE DIAGRAM  
PENYULANG JUNREJO**  
PT. PLN (PERSERO) RAYON BATU

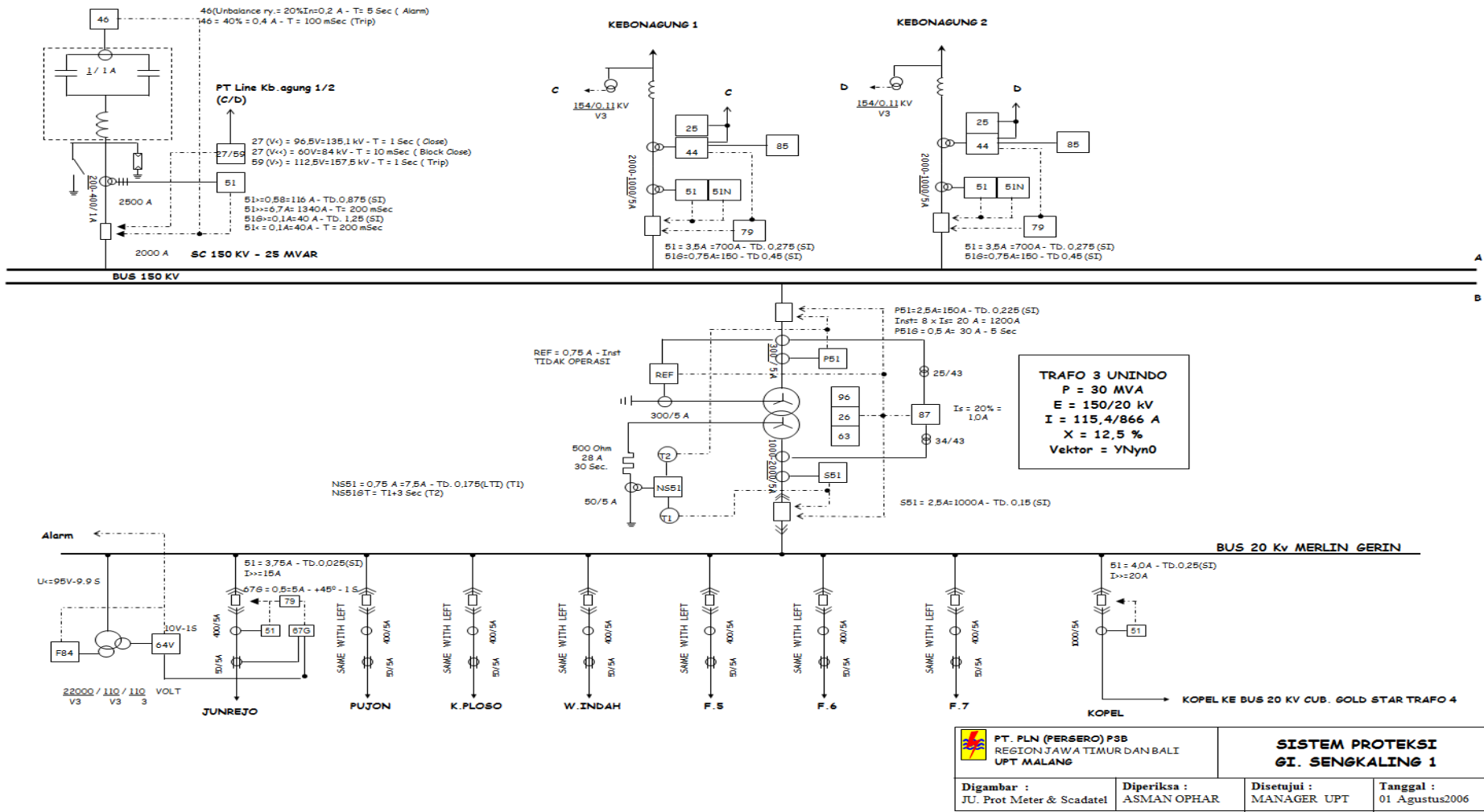


GambarI.11Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo  
Sumber: APJ Malang, 2014









Lampiran I.14

Gambar II.13 Diagram Satu Garis Koordinasi Proteksi Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang  
 Sumber: APP Malang, 2006