



**ANALISA EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI RELAY
OCR DAN GFR PADA PENYULANG YB-02
PT PLN ULP NATAL DENGAN
SIMULASI ETAP**

**Disusun dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Teknik
Universitas Pembangunan Panca Budi**

SKRIPSI

OLEH :

NAMA : FARIZ ADITYA PUTRA

NPM : 1924210079

PRODI : TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCABUDI

MEDAN

2021

**ANALISA EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI RELAY OCR DAN GFR
PADA PENYULANG YB-02 PT PLN ULP NATAL
DENGAN SIMULASI ETAP**

**Disusun dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Teknik
Universitas Pembangunan Panca Budi**

SKRIPSI

OLEH :


NAMA : FARIZ ADITYA PUTRA

NPM : 1924210079

PRODI : TEKNIK ELEKTRO

Diketahui dan Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing I


Zuraidah Thare, ST., MT

Dosen Pembimbing II


Siti Anisah, ST., MT

Diketahui dan Disahkan Oleh :

Dekan Fakultas Teknik



Hamdani, ST., MT

Ketua Program Studi


Siti Anisah, ST., MT

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Medan, 18 Februari 2021



FARIZ ADITYA PUTRA

NPM. 1924210079

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademika Universitas Pembangunan Panca Budi, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fariz Aditya Putra
NPM : 1924210079
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Sains dan Teknologi
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Panca Budi **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non exclusive Royalty-fee Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

ANALISA EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI RELAY OCR DAN GFR PADA PENYULANG YB-02 PT PLN ULP NATAL DENGAN SIMULASI ETAP

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pembangunan Panca Budi berhak menyimpan mengalih media / alih formatkan. Mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasi skripsi saya tetap mencatumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 18 Februari 2021



FARIZ ADITYA PUTRA

NPM. 1924210079



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

Jl. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30106057 Fax. (061) 4514808

MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : FARIZ ADITYA PUTRA
NPM : 1924210079
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang Pendidikan : Strata Satu
Dosen Pembimbing : Hj Zuraidah Tharo, ST., MT
Judul Skripsi : ANALISA EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI RELAY OCR DAN GFR PADA PENYULANG YB-02 PT PLN ULP NATAL DENGAN SIMULASI ETAP

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
29 Mei 2020	ACC seminar Proposal	Disetujui	
30 Mei 2020	lanjutkan ke seminar proposal	Revisi	
02 Juni 2020	ACC Seminar Proposal	Disetujui	
30 Juni 2020	tambahkan sedikit teori tentang kordinasi rele pada bab II dan lanjutkan ke bab III	Revisi	
21 Juli 2020	setiap proses di dalam flowchart isi dengan rumusan apa yang akan dihitung	Revisi	
21 Juli 2020	buat flowchart untuk proses simulasi etap	Revisi	
21 Juli 2020	Setelah diperbaiki semua, langsung lanjutkan ke bab 4	Revisi	
28 September 2020	Setelah diperbaiki penulisan, ACC seminar hasil	Disetujui	
13 Oktober 2020	ACC seminar hasil	Disetujui	
18 Desember 2020	perbaiki tulisan yang salah pada nama rektor, perhatikan kata-kata yg masih kurang spasi, flowchart penelitian masih belum sempurna perbaiki kembali	Revisi	
14 Januari 2021	Perbaiki flowchart pada bab 3	Revisi	
14 Januari 2021	tujuan penelitian belum terjawab pada kesimpulan	Revisi	
14 Januari 2021	setiap label hasil perhitungan, buat terlebih dahulu contoh perhitungannya	Revisi	
11 Februari 2021	ACC SIDANG MEJA HIJAU	Disetujui	
30 Maret 2021	Perbaiki Format cover	Revisi	
06 April 2021	ACC Jilid	Disetujui	

Medan, 19 April 2021
Dosen Pembimbing.



Hj Zuraidah Tharo, ST., MT



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
Jl. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30106057 Fax. (061) 4514808
MEDAN - INDONESIA
Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : FARIZ ADITYA PUTRA
NPM : 1924210079
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang Pendidikan : Strata Satu
Dosen Pembimbing : Siti Anisah, ST., MT
Judul Skripsi : ANALISA EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI RELAY OCR DAN GFR PADA PENYULANG YB-02 PT PLN ULP NATAL DENGAN SIMULASI ETAP

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
28 Mei 2020	lengkapi kover dan daftar isi nya	Revisi	
29 Mei 2020	silakan lanjutkan untuk seminar proposal	Revisi	
30 Juni 2020	perbaiki penulisan alenia, ukuran spasi, kembali lihat panduan tugas akhir ya	Revisi	
07 Juli 2020	perhatikan penulisan bahasa asing ya , sesuaikan dengan format cek kembali panduannya, kalo sudah diperbaiki lanjutkan ke bab 3 ya	Revisi	
21 Juli 2020	kenapa gambar flowchart dihalaman 3 cuma separoh	Revisi	
21 Juli 2020	penulisan huruf pada tabel 3.1 belum sesuai dengan panduan silakan direvisi sesuai dengan panduan	Revisi	
21 Juli 2020	untuk bimbingan selanjutnya saya mau semua file disatukan mulai dari bab 1 sampai selanjutnya	Revisi	
29 Juli 2020	Daftar isi dibuat 1 spasi, di bab 2 bagian 2.1 kenapa ada garis diatas Gambar, Bahasa asing dibuat cetak miring, diperbaiki dan lanjutkan bab 4	Revisi	
25 September 2020	kenapa penulisan masih sangat sangat berserak, baca kembali panduan penulisan nya	Revisi	
05 Oktober 2020	Lanjutkan dan lengkapi kesimpulan saran dan daftar pustaka, di pdfkan jadi satu mulai dari judul sampai Daftar pustaka direupload kembali ya	Revisi	
13 Oktober 2020	Acc Seminar Hasil	Disetujui	
18 Desember 2020	perbaiki sesuai panduan	Revisi	
30 Desember 2020	perbaiki sesuai dengan panduan	Revisi	
14 Januari 2021	kamu cek kembali apa yang saya tandai dalam file yang saya upload, yang kamu kirim belum kamu perbaiki	Revisi	
15 Februari 2021	ACC sidang Meja hijau, segera ajukan permohonan sidangnya CC ke email admin	Disetujui	
01 April 2021	Acc Jilid Ix	Disetujui	

Medan, 19 April 2021
Dosen Pembimbing,



Siti Anisah, ST., MT



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI

Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Medan Fax. 061-8458077 PO.BOX : 1099 MEDAN

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI PETERNAKAN	(TERAKREDITASI)

PERMOHONAN JUDUL TESIS / SKRIPSI / TUGAS AKHIR*

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap	: FARIZ ADITYA PUTRA
Tempat/Tgl. Lahir	: SALATIGA / 20 September 1996
Nomor Pokok Mahasiswa	: 1924210079
Program Studi	: Teknik Elektro
Konsentrasi	: Teknik Energi Listrik
Jumlah Kredit yang telah dicapai	: 141 SKS, IPK 3.74
Nomor Hp	: 081263754603
Dengan ini mengajukan judul sesuai bidang ilmu sebagai berikut	:

No.	Judul
1.	ANALISA EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI RELAY OCR DAN GFR PADA PENYULANG YB-02 PT PLN ULP NATAL DENGAN SIMULASI ETAP

Catatan Disetujui Oleh Dosen Jika Ada Perubahan Judul

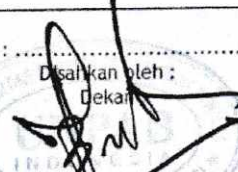
*Coret Yang Tidak Perlu

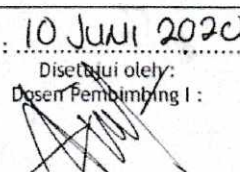

 (Cahyo Pramono, S.E., M.M.)

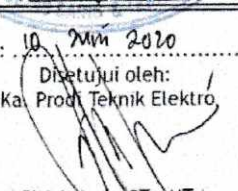
Medan, 19 Februari 2021

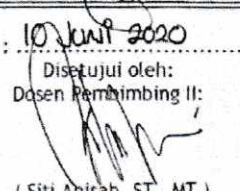
Pemohon,


 (Fariz Aditya Putra)

Tanggal :
 Disetujui oleh:
 Dekan

 (Hamdani, ST., MT.)

Tanggal : 10 Juni 2020
 Disetujui oleh:
 Dosen Pembimbing I :

 (Hj Zuraidah Tharo, ST., MT.)

Tanggal : 10 Juni 2020
 Disetujui oleh:
 Ka. Prodi Teknik Elektro

 (Siti Anisah, ST., MT.)

Tanggal : 10 Juni 2020
 Disetujui oleh:
 Dosen Pembimbing II:

 (Siti Anisah, ST., MT.)

SURAT KETERANGAN PLAGIAT CHECKER

Dengan ini saya Ka.LPMU UNPAB menerangkan bahwa surat ini adalah bukti pengesahan dari LPMU sebagai pengesah proses plagiat checker Tugas Akhir/ Skripsi/Tesis selama masa pandemi *Covid-19* sesuai dengan edaran rektor Nomor : 7594/13/R/2020 Tentang Pemberitahuan Perpanjangan PBM Online.

Demikian disampaikan.

NB: Segala penyalahgunaan/pelanggaran atas surat ini akan di proses sesuai ketentuan yang berlaku UNPAB.



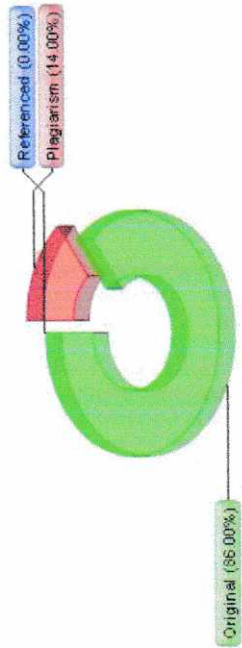
Yusni Muhandani Ritonga, BA., MSc

No. Dokumen : PM-UJMA-06-02	Revisi : 00	Tgl Eff : 23 Jan 2019
-----------------------------	-------------	-----------------------

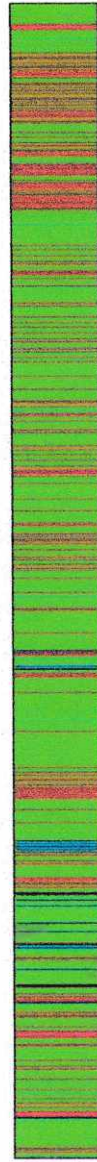
Plagiarism Detector v. 1460 - Originality Report 17-Feb-21 09:01:09

Analyzed document: FARIZADITYA PUTRA_1924210079_TEKNIK ELEKTRO.docx Licensed to: Universitas Pembangunan Panca Budi_License03
Comparison Preset: Rewrite. Detected language: Indonesian

Relation chart:



Distribution graph:



Top sources of plagiarism:

Rank	Source	Words
1	http://reprints.ums.ac.id/643751/1/askah%20Publikasi%200400140034.pdf	32
2	https://bagiBagiilmuteknik.blogspot.com/2012/11/analisis-gangguan-hubungan-singkat-...	15
3	https://ikhtolis27.wordpress.com/2013/11/12/analisis-gangguan-hubungan-singkat/	10

Processed resources details:

36 - Ok / 10 - Failed

[Show other Sources.]

Important notes:

Permohonan Meja Hijau

Medan, 18 Februari 2021
 Kepada Yth : Bapak/Ibu Dekan
 Fakultas SAINS & TEKNOLOGI
 UNPAB Medan
 Di -
 Tempat

Yang hormat, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : FARIZ ADITYA PUTRA
 Tempat/Tgl. Lahir : SALATIGA / 20 September 1996
 Nama Orang Tua : ANDIK ARIF ASYAFII,SH,MM
 N.I.P. M : 1924210079
 Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
 Program Studi : Teknik Elektro
 No. HP : 081263754603
 Alamat : JL SUMBAWA V NO 76 RT 8 RW 09 ,Kelurahan Gedang
 Anak,Kecamatan Ungaran Timur

Sangat bermohon kepada Bapak/Ibu untuk dapat diterima mengikuti Ujian Meja Hijau dengan judul **ANALISA EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI RELAY OCR DAN GFR PADA PENYULANG YB-02 PT PLN ULP NATAL DENGAN SIMULASI ETAP**, Selanjutnya saya menyatakan :

- Melampirkan KKM yang telah disahkan oleh Ka. Prodi dan Dekan
- Tidak akan menuntut ujian perbaikan nilai mata kuliah untuk perbaikan indek prestasi (IP), dan mohon diterbitkan ijazahnya setelah lulus ujian meja hijau.
- Telah tercap keterangan bebas pustaka
- Terselip surat keterangan bebas laboratorium
- Terselip pas photo untuk ijazah ukuran 4x6 = 5 lembar dan 3x4 = 5 lembar Hitam Putih
- Terselip foto copy STTB SLTA dilegalisir 1 (satu) lembar dan bagi mahasiswa yang lanjutan D3 ke S1 lampirkan ijazah dan transkripnya sebanyak 1 lembar.
- Terselip pelunasan kwintasi pembayaran uang kuliah berjalan dan wisuda sebanyak 1 lembar
- Skripsi sudah dijilid lux 2 exemplar (1 untuk perpustakaan, 1 untuk mahasiswa) dan jilid kertas jeruk 5 exemplar untuk penguji (bentuk dan warna penjiilidan diserahkan berdasarkan ketentuan fakultas yang berlaku) dan lembar persetujuan sudah di tandatangani dosen pembimbing, prodi dan dekan
- Soft Copy Skripsi disimpan di CD sebanyak 2 disc (Sesuai dengan Judul Skripsinya)
- Terselip surat keterangan BKKOL (pada saat pengambilan ijazah)
- Setelah menyelesaikan persyaratan point-point diatas berkas di masukan kedalam MAP
- Bersedia melunaskan biaya-biaya uang dibebankan untuk memproses pelaksanaan ujian dimaksud, dengan perincian sbb :

1. [102] Ujian Meja Hijau	: Rp.	0
2. [170] Administrasi Wisuda	: Rp.	1,500,000
3. [202] Bebas Pustaka	: Rp.	100,000
4. [221] Bebas LAB	: Rp.	5,000
Total Biaya	: Rp.	1,605,000

Ukuran Toga :



Diketahui/Disetujui oleh :

Hormat saya



Hamdani, ST., MT.
 Dekan Fakultas SAINS & TEKNOLOGI



FARIZ ADITYA PUTRA
 1924210079

Catatan :

- 1. Surat permohonan ini sah dan berlaku bila ;



KARTU BEBAS PRAKTIKUM
Nomor. 08/BL/LTPE/2021

Yang bertanda tangan dibawah ini Ka. Laboratorium Elektro dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : FARIZ ADITYA PUTRA
NPM : 1924210079
Tingkat/Semester : Akhir
Jurusan : SAINS & TEKNOLOGI
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Yang bersangkutan telah menyelesaikan urusan administrasi di Laboratorium Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 16 Februari 2021
Ka. Laboratorium

[Approve By System]
D T O
Hamdani, S.T., M.T.



Dokumen : FM-LEKTO-06-01

Revisi : 01

Tgl. Efektif : 04 Juni 2015



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
Jl. Jend. Gatot Subroto KM. 4,5 Medan Sunggal, Kota Medan Kode Pos 20122

SURAT BEBAS PUSTAKA
NOMOR: 3620/PERP/BP/2021

Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi menerangkan bahwa berdasarkan data pengguna perpustakaan bernama saudara/i:

Nama : FARIZ ADITYA PUTRA
NIM : 1924210079
Tingkat Semester : Akhir
Mufas : SAINS & TEKNOLOGI
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

atas namanya sejak tanggal 10 Februari 2021, dinyatakan tidak memiliki tanggungan dan atau pinjaman buku yang tidak lagi terdaftar sebagai anggota Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 10 Februari 2021
Diketahui oleh,
Kepala Perpustakaan,



Sugiarjo, S.Sos., S.Pd.I

**ANALISA EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI RELAY OCR
DAN GFR PADA PENYULANG YB-02 PT PLN ULP NATAL
DENGAN SIMULASI ETAP**

Fariz Aditya Putra*

Hj.Zuraidah Tharo, ST, MT**

Siti Anisah, ST, MT**

Universitas Pembangunan Panca Budi

ABSTRAK

Dengan semakin bertambahnya jumlah pelanggan PT. PLN (Persero) ULP Natal, gangguan pada sistem distribusi akan mengakibatkan semakin luas pemadaman. Untuk menghindari hal tersebut, sistem proteksi di saluran distribusi (khususnya di penyulang YB-02) perlu dilakukan evaluasi untuk memastikan koordinasinya berjalan dengan benar. Sistem proteksi tersebut adalah PMT *Outgoing*, *Recloser* L-01 dan *Recloser* L-02. Metode yang digunakan dalam studi ini merupakan metode observasi, studi pustaka, wawancara dan bimbingan. Dari studi ini, didapatkan bahwa kondisi koordinasi antara PMT *Outgoing*, *Recloser* L-01 dan *Recloser* L-02 sudah benar dan dapat ditingkatkan kemampuannya dengan hasil perhitungan setting relay OCR dan GFR. Koordinasi antara PMT *Outgoing*, *Recloser* L-01 dan *Recloser* L-02 dinyatakan tepat dimana masing – masing peralatan proteksi di operasikan dengan *Relay* OCR dan GFR sesuai dengan zona kerjanya masing – masing dalam mengamankan gangguan hubung singkat di penyulang YB-02.

Kata Kunci : *Proteksi Distribusi, Koordinasi dan setting Proteksi, OCR, GFR, Recloser , PMT*

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : farizaditya20@gmail.com

** Dosen Program Studi Teknik Eleksro

***ANALYSIS EVALUATION OF PROTECTION RELAY OCR AND
GFR COORDINATION IN PT PLN ULP NATAL FEEDER YB-02
WITH ETAP SIMULATION***

Fariz Aditya Putra *

Hj.Zuraidah Tharo, ST, MT **

Siti Anisah, ST, MT **

University of Pembangunan Panca Budi

ABSTRACT

With the increasing number of customers of PT. PLN (Persero) ULP Natal, disruption to the distribution system will result in more widespread blackouts. To avoid this, the protection system in the distribution channel (especially in the YB-02 feeder) needs to be evaluated to ensure proper coordination. The protection systems are outgoing PMT, Recloser L-01 and Recloser L-02. The method used in this study is a method of observation, literature study, interviews and guidance. From this study, it was found that the coordination conditions between PMT Outgoing, Recloser L-01 and Recloser L-02 were correct and their capabilities could be improved by calculating the OCR and GFR relay settings. The coordination between PMT Outgoing, Recloser L-01 and Recloser L-02 is stated precisely where each protection device is operated with the OCR and GFR Relays according to their respective work zones in securing short circuit faults in the YB-02 feeder.

Keywords: *Distribution Protection, Coordination and Protection settings, OCR, GFR, Recloser, PMT*

* *Student of Electrical Engineering : farizaditya20@gmail.com*

** *Lecturer of Electrical Engineering Study Program*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, dengan segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Laporan Skripsi yang berjudul “**ANALISA EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI RELAY OCR DAN GFR PADA PENYULANG YB-02 PT PLN ULP NATAL DENGAN SIMULASI ETAP**” tepat pada waktunya. Laporan Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr.H. Muhammad Isa Indrawan, SE, MM selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi.
2. Bapak Hamdani, ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Panca Budi.
3. Ibu Siti Anisah, ST, MT selaku Ketua Program Studi Fakultas Teknik Elektro Universitas Pembangunan Pancabudi dan selaku Dosen Pembimbing II.
4. Ibu Hj.Zuraidah Tharo, ST, MT selaku Dosen pembimbing I Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi.
5. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen serta staff pegawai Fakultas Sains dan Teknologi khususnya Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi.
6. Orang Tua penulis yang senantiasa mendukung dan memberikan Do'a bagi penulis hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
7. Teman – teman kelas Reg II LA J-S yang kurang lebih 2 tahun bersama dalam proses pembelajaran di Universitas Pembangunan Panca Budi.
8. Pihak-pihak lain yang telah memberi bantuan baik riil maupun materil.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Besar harapan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis, khususnya pembaca.

Medan, Februari 2021

FARIZ ADITYA PUTRA

NPM. 1924210079

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALISASI.....	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Metode Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	8
2.2.1 Macam – Macam Konfigurasi Jaringan Distribusi.....	10
2.2.2 Pola Sistem Distribusi di Indonesia.....	16
2.3 Gangguan Pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah.....	18
2.3.1 Gangguan Hubung Singkat.....	19
2.3.2 Gangguan Beban Lebih.....	21
2.3.3 Gangguan Ketidakstabilan.....	21
2.3.4 Gangguan Temporer.....	21
2.3.5 Gangguan Permanen.....	21
2.4 Teori Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	22
2.4.1 Komponen Simetri.....	22
2.4.2 Operator a.....	24
2.5 Rangkaian Impedansi Urutan Sistem Tenaga Listrik.....	28
2.5.1 Rangkaian Impedansi Sumber.....	28
2.5.2 Rangkaian Impedansi Transformator.....	29

2.5.3 Rangkaian Impedansi Saluran	31
2.5.4 Impedansi Total Jaringan.....	32
2.6 Analisis Gangguan Hubung Singkat Sistem Tenaga Listrik	33
2.6.1 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	33
2.6.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah.....	36
2.6.3 Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa	38
2.6.4 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	41
2.7 Sistem Besaran Per Satuan Unit	43
2.8 Perhitungan Arus Dasar (I_b) dan Impedansi Dasar (Z_b).....	43
2.9 Mengubah Nilai Besaran Persatuan Pu	43
2.10 Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik	44
2.10.1 Fungsi Sistem Proteksi	45
2.10.2 Syarat Sistem Proteksi	45
2.11 Peralatan Pengaman Jaringan Tegangan Menengah	47
2.11.1 Pemutus Tenaga Outgoing 20 kV	47
2.11.2 Recloser.....	48
2.11.3 Fuse Cut Out	49
2.12 Rele Pengaman	51
2.12.1 Rele Arus Lebih	51
2.12.2 Rele Gangguan Tanah.....	56
2.12.3 Rele Penutup Balik.....	56

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu.....	59
3.2 Metode Penelitian	59
3.3 Diagram Alur.....	60
3.3.1 Diagram Alur Penelitian.....	61
3.3.2 Diagram Alur Simulasi Software ETAP	62
3.4 Deskripsi Data	63
3.4.1 <i>Single Line Diagram Feeder</i> YB-02 ULP Natal	63
3.4.2 Transformator Daya	64
3.4.3 PMT <i>Outgoing</i> Penyulang YB-02	65
3.4.4 Panjang Jaringan.....	65
3.4.5 Permodelan ETAP	66
3.4.6 Pengoperasian Software ETAP	67

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Single Line Diagram Jaringan	71
4.2 Perhitungan Besaran Dasar.....	71

4.3 Perhitungan Impedansi Jaringan.....	72
4.3.1 Impedansi Sumber	72
4.3.2 Impedansi Transformator	72
4.3.3 Impedansi Saluran	74
4.3.4 Impedansi Total	76
4.4 Perhitungan Arus Hubung Singkat	81
4.4.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat Tiga Fasa	81
4.4.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat Antar Fasa.....	82
4.4.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah...	83
4.5 Arus Gangguan Hubung Singkat Penyulang YB-02	84
4.6 <i>Setting</i> OCR dan GFR (Eksisting).....	86
4.6.1 <i>Setting</i> OCR (Eksisting)	86
4.6.2 <i>Setting</i> GFR (Eksisting).....	93
4.7 Evaluasi Koordinasi PMT <i>Outgoing</i> dan <i>Recloser</i> (Eksisting). 102	
4.7.1 Koordinasi OCR (PMT <i>Outgoing</i> , <i>Recloser</i> L-01, dan <i>Recloser</i> L-02)	103
4.7.2 Koordinasi GFR (PMT <i>Outgoing</i> , <i>Recloser</i> L-01, dan <i>Recloser</i> L-02)	104
4.8 <i>Setting</i> OCR dan GFR (Perhitungan)	104
4.8.1 <i>Setting</i> OCR (Perhitungan).....	105
4.8.2 <i>Setting</i> GFR (Perhitungan)	113
4.9 Evaluasi Koordinasi PMT <i>Outgoing</i> dan <i>Recloser</i> (Perhitungan)	122
4.9.1 Koordinasi OCR (PMT <i>Outgoing</i> , <i>Recloser</i> L-01, dan <i>Recloser</i> L-02).....	122
4.9.2 Koordinasi GFR (PMT <i>Outgoing</i> , <i>Recloser</i> L-01, dan <i>Recloser</i> L-02).....	123
4.10 Analisa dan Simulasi Software ETAP	124
4.10.1 <i>Setting</i> Komponen Pada Penyulang YB-02.....	127
4.10.2 <i>Setting</i> Untuk Circuit Breaker	133
4.10.3 <i>Setting</i> Untuk <i>Current Transformer</i>	134
4.10.4 <i>Setting</i> Untuk GFR dan OCR	135
4.10.5 <i>Setting</i> Untuk <i>Recloser</i>	141
4.10.6 Simulasi Hubung Singkat Tiap – Tiap Lokasi.....	147
4.10.6.1 Simulasi Hubung Singkat Pada Lokasi 1	147
4.10.6.2 Simulasi Hubung Singkat Pada Lokasi 2	149
4.10.6.3 Simulasi Hubung Singkat Pada Lokasi 3	152
4.10.7 Koordinasi Pengaman Pada Penyulang YB-02	155
4.10.8 Koordinasi Relai OCR dan GFR dengan	

Grafik <i>Starview</i>	160
4.10.8.1 Koordinasi Relai OCR dengan Grafik <i>Starview</i>	160
4.10.8.2 Koordinasi Relai GFR dengan Grafik <i>Starview</i>	168
4.11 Evaluasi Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Data Eksisting.....	173
4.12 Evaluasi Perbandingan Hasil Koordinasi <i>Setting</i> OCR Perhitungan Dengan Data Eksisting.....	174
4.13 Evaluasi Perbandingan Hasil Koordinasi <i>Setting</i> GFR Perhitungan Dengan Data Eksisting.....	175
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	177
5.2 Saran.....	178
DAFTAR PUSTAKA	179

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem Tenaga Listrik.....	7
Gambar 2.2	Sistem Distribusi Primer.....	9
Gambar 2.3	Sistem Distribusi Sekunder.....	10
Gambar 2.4	Konfigurasi Jaringan Radial	11
Gambar 2.5	Konfigurasi Jaringan Pararel	12
Gambar 2.6	Konfigurasi Jaringan Tertutup/ <i>Loop</i>	13
Gambar 2.7	Konfigurasi Jaringan <i>Spindle</i>	14
Gambar 2.8	Konfigurasi Jaringan <i>Cluster</i>	15
Gambar 2.9	Konfigurasi Jaringan <i>Grid</i>	16
Gambar 2.10	Sistem Pentanahan Netral Melalui Tahanan Tinggi	17
Gambar 2.11	Sistem Pentanahan Netral Secara Langsung pada Jaringan	17
Gambar 2.12	Skema Sistem Pentanahan Netral Melalui Tahanan Rendah...	18
Gambar 2.13	a.Urutan Fasor Asli b. Komponen Urutan Positif.....	23
Gambar 2.14	a.Urutan Fasor Asli b.Komponen Urutan Negatif	23
Gambar 2.15	Komponen Urutan 0	24
Gambar 2.16	Penggunaan Operator a dalam komponen Urutan (+) dan (-) .	26
Gambar 2.17	Diagram Rangkaian Reaktansi Trafo Urutan (+) dan (-).....	31
Gambar 2.18	Diagram Rangkaian Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	34
Gambar 2.19	Jaringan Urutan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	35
Gambar 2.20	Diagram Rangkaian Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah	36
Gambar 2.21	Jaringan Urutan Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah	37
Gambar 2.22	Diagram Rangkaian Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa.....	38
Gambar 2.23	Jaringan Urutan Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa	40
Gambar 2.24	Diagram Rangkaian Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	41
Gambar 2.25	Jaringan Urutan Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	42
Gambar 2.26	Pelebur jenis pembatas arus (kiri) dan Pelebur Jenis Letupan	50
Gambar 2.27	Rangkaian Rele pada PMT (OCR dan GFR).....	52
Gambar 2.28	Karakteristik Kurva Instantenous	53
Gambar 2.29	Karakteristik Kurva Definite	54
Gambar 2.30	Karakteristik Kurva <i>Inverse</i>	54
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian.....	60
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> Simulasi pada ETAP	62
Gambar 3.3	<i>Single Line Diagram Feeder</i> YB-02	63
Gambar 3.4	Logo ETAP	67
Gambar 3.5	Proses <i>Loading</i> ETAP	67
Gambar 3.6	Membuat <i>Project</i> baru	67

Gambar 3.7	Area Kerja ETAP 12.6.0.....	68
Gambar 3.8	Memilih <i>Standard</i>	68
Gambar 3.9	<i>Power Grid</i>	69
Gambar 3.10	<i>Lumped Load</i>	69
Gambar 3.11	<i>Cable</i>	70
Gambar 4.1	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang YB-02 PLN ULP Natal	71
Gambar 4.2	Impedansi Urutan Positif dan Negatif Saluran Utama	76
Gambar 4.3	Diagram Impedansi Urutan Nol Saluran Utama.....	77
Gambar 4.4	Diagram Impedansi Urutan Positif dan Negatif Saluran Utama Hingga Saluran Percabangan.....	77
Gambar 4.5	Diagram Impedansi Urutan Nol Saluran Utama hingga Saluran Percabangan	78
Gambar 4.6	Kurva Koordinasi OCR PMT <i>Outgoing, Recloser L-01 dan Recloser L-02 (Eksisting)</i>	103
Gambar 4.7	Kurva Koordinasi OCR PMT <i>Outgoing, Recloser L-01 dan Recloser L-02 (Eksisting)</i>	104
Gambar 4.8	Kurva Koordinasi OCR PMT <i>Outgoing, Recloser L-01 dan Recloser L-02 (Perhitungan)</i>	122
Gambar 4.9	Kurva Koordinasi GFR PMT <i>Outgoing, Recloser L-01 dan Recloser L-02 (Perhitungan)</i>	123
Gambar 4.10	Deskripsi Penyulang YB-02	124
Gambar 4.11	Daerah 1 Penyulang YB-02	125
Gambar 4.12	Daerah 2 Penyulang YB-02	126
Gambar 4.13	Daerah 3 Penyulang YB-02	127
Gambar 4.14	<i>Setting Rating kV Power Grid</i>	128
Gambar 4.15	<i>Setting Daya Hubung Singkat Power Grid</i>	129
Gambar 4.16	<i>Setting kV Transformator Daya 60 MVA</i>	130
Gambar 4.17	<i>Setting Impedansi Transformator Step Down 60 MVA</i>	131
Gambar 4.18	<i>Setting Jarak Pada Penghantar</i>	132
Gambar 4.19	<i>Setting Kawat Penghantar 240 mm²</i>	133
Gambar 4.20	<i>Setting Circuit Breaker Sisi Outgoing</i>	134
Gambar 4.21	<i>Setting Current Transformer sisi PMT Outgoing</i>	135
Gambar 4.22	<i>Setting Arus Pick Up Pada OCR Untuk Mengerjakan PMT Outgoing</i>	136
Gambar 4.23	<i>Setting Arus Pick Up GFR Untuk Mengerjakan PMT Outgoing</i>	137
Gambar 4.24	<i>Setting Arus Pick Up OCR Mengerjakan Recloser L-01</i>	138
Gambar 4.25	<i>Setting Arus Pick Up GFR Mengerjakan Recloser L-01</i>	139
Gambar 4.26	<i>Setting Arus Pick Up OCR Mengerjakan Recloser L-02</i>	140

Gambar 4.27	<i>Setting Arus Pick Up</i> GFR Mengerjakan <i>Recloser</i> L-02.....	141
Gambar 4.28	<i>Setting Rating Recloser</i>	142
Gambar 4.29	<i>Setting OCR</i> Pada <i>Recloser</i> L-01	143
Gambar 4.30	<i>Setting GFR</i> Pada <i>Recloser</i> L-01	144
Gambar 4.31	<i>Setting OCR</i> Pada <i>Recloser</i> L-01	145
Gambar 4.32	<i>Setting GFR</i> Pada <i>Recloser</i> L-01	146
Gambar 4.33	Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 1	147
Gambar 4.34	Simulasi Hubung Singkat Antar Fasa Pada Lokasi 1	148
Gambar 4.35	Simulasi Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah Lokasi 1	149
Gambar 4.36	Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 2	150
Gambar 4.37	Simulasi Hubung Singkat Antar Fasa Pada Lokasi 2	151
Gambar 4.38	Simulasi Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Lokasi 2	152
Gambar 4.39	Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 3	153
Gambar 4.40	Simulasi Hubung Singkat Antar Fasa Pada Lokasi 3	154
Gambar 4.41	Simulasi Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Lokasi 3	154
Gambar 4.42	Simulasi Koordinasi Peralatan Proteksi Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 1	156
Gambar 4.43	Laporan Analisa Hubung Singkat Pada Etap Jika Terjadi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 1	156
Gambar 4.44	Simulasi Koordinasi Peralatan Proteksi Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 2	157
Gambar 4.45	Laporan Analisa Hubung Singkat Pada Etap Jika Terjadi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 2	158
Gambar 4.46	Simulasi Koordinasi Peralatan Proteksi Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 3	159
Gambar 4.47	Laporan Analisa Hubung Singkat Pada Etap Jika Terjadi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 3	159
Gambar 4.48	Grafik <i>Starview</i> Koordinasi Relai OCR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Pada Lokasi 1	161
Gambar 4.49	Grafik <i>Starview</i> Koordinasi Relai OCR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Lokasi 1	162
Gambar 4.50	Grafik <i>Starview</i> Koordinasi Relai OCR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Pada Lokasi 2	163
Gambar 4.51	Grafik <i>Starview</i> Koordinasi Relai OCR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Lokasi 2	164
Gambar 4.52	Grafik <i>Starview</i> Koordinasi Relai OCR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Pada Lokasi 3	166
Gambar 4.53	Grafik <i>Starview</i> Koordinasi Relai OCR Dalam Mengamankan	

	Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Lokasi 3.....	167
Gambar 4.54	Grafik <i>Starview</i> Koordinasi Relai OCR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah Lokasi 1	169
Gambar 4.55	Grafik <i>Starview</i> Koordinasi Relai OCR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah Lokasi 2	170
Gambar 4.56	Grafik <i>Starview</i> Koordinasi Relai OCR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah Lokasi 3	172
Gambar 4.57	Kurva Perbandingan Koordinasi <i>Setting</i> Proteksi OCR Hasil Perhitungan dengan Data <i>Existing</i>	174
Gambar 4.58	Kurva Perbandingan Koordinasi <i>Setting</i> Proteksi GFR Hasil Perhitungan dengan Data <i>Existing</i>	175

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Fungsi Operator a	25
Tabel 2.2	Impedansi Penghantar AAAC	31
Tabel 2.3	Nilai Konstanta α dan β	56
Tabel 3.1	Data <i>Name Plate</i> Trafo pada GI Panyabungan	64
Tabel 4.1	Impedansi Saluran Urutan Positif, Negatif dan Nol.....	74
Tabel 4.2	Impedansi Cabang Urutan Positif, Negatif dan Nol.....	75
Tabel 4.3	Impedansi Total Jaringan Saluran Utama (Ω)`	78
Tabel 4.4	Impedansi Total Jaringan Saluran Percabangan.....	79
Tabel 4.5	Impedansi Total Jaringan Saluran Utama (PU).....	79
Tabel 4.6	Impedansi Total Jaringan Saluran Percabangan.....	81
Tabel 4.7	Arus Hubung Singkat Saluran.....	84
Tabel 4.8	Setting OCR dan GFR (Existing).....	86
Tabel 4.9	<i>Inverse Time</i> Saluran Utama Penyulang YB-02 <i>relay OCR</i> pada PMT dan <i>Recloser</i> Perhitungan (Hubung Singkat Antarfasa)	92
Tabel 4.10	<i>Inverse Time</i> GFR Saluran Utama penyulang YB-02 pada PMT dan <i>Recloser</i> (Eksisting)	101
Tabel 4.11	<i>Inverse Time</i> Saluran Utama Penyulang YB-02 <i>relay OCR</i> pada	111
Tabel 4.12	<i>Inverse Time</i> Saluran Utama Penyulang YB-02 <i>relay OCR</i> pada	121
Tabel 4.13	Perbandingan <i>Setting</i> Hasil Perhitungan dengan Data <i>Existing</i> .	173

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat vital di era modern seperti sekarang. Dalam hal ini, PT. PLN (Persero) selaku perusahaan yang berwenang dalam penyediaan energi listrik perlu menyediakan energi listrik yang terjamin. Penyediaan energi listrik tersebut dilakukan oleh suatu sistem tenaga listrik yang meliputi sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Untuk menjamin kontinuitas pelayanan energi listrik diperlukan suatu tingkat keandalan yang tinggi pada setiap unsur sistem tenaga listrik tersebut.

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan, sehingga gangguan pada sistem distribusi akan berdampak langsung pada pelanggan. Gangguan dalam sistem tenaga listrik dapat menyebabkan peralatan menjadi rusak sehingga mengganggu pelayanan pada konsumen atau pelanggan. Karenanya perlu dilakukan upaya-upaya untuk mengamankan sistem tenaga listrik agar keandalan dalam penyediaan tenaga listrik berjalan dengan baik. Untuk itu perlu dirancang suatu sistem pengamanan pada sistem distribusi.

Pada tahun 2020 Gardu Induk Panyabungan beroperasi untuk mensuplai PLN ULP Natal yang sebelumnya mendapatkan suplai dari Gardu Induk Panyabungan. Dengan adanya perubahan suplai tersebut PLN ULP Natal melakukan perubahan

konfigurasi jaringan guna menjaga kehandalan sistem distribusi dalam menyalurkan daya listrik ke masyarakat.

Perubahan konfigurasi jaringan penyulang tersebut salah satu hal yang paling penting untuk diperhatikan yakni Koordinasi antar peralatan pengaman dalam system pengaman distribusi. Koordinasi antar peralatan pengaman dalam sistem pengaman distribusi sangatlah penting untuk menentukan keandalan dari suatu penyulang untuk mengamankan peralatan sistem distribusi dan/atau melokalisir gangguan. Untuk menentukan suatu *setting* ataupun koordinasi peralatan pengaman terhadap gangguan perlu diketahui besarnya arus hubung singkat pada jaringan distribusi. Dengan semakin bertambahnya jumlah pelanggan setiap tahunnya tentu akan mempengaruhi besarnya pelanggan yang mengalami pemadaman akibat gangguan. Oleh karenanya, diperlukan suatu tindakan untuk menjaga *setting* dan koordinasi pengaman agar tetap terjaga keandalannya.

Latar belakang tersebut di atas maka Tugas Akhir ini mengambil judul **“ANALISA EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI RELAY OCR DAN GFR PADA PENYULANG YB-02 PT PLN ULP NATAL DENGAN SIMULASI ETAP”**.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas penulis dapat merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Berapa besar hubung singkat tiga fasa, anta fasa dan satu fasa ke tanah pada jaringan penyulang YB-02 pada PLN ULP Natal.

2. Bagaimana evaluasi koordinasi *setting* proteksi untuk relay OCR dan GFR pada peralatan proteksi di penyulang YB-02 dalam mengamankan gangguan hubung singkat pada PLN ULP Natal.

1.3 Pembatasan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas menjadi jelas dan tidak banyak menyimpang dari topik yang akan dibahas, maka hal yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

- a. Penjelasan tentang peralatan pengaman pada Penyulang YB-02 PLN ULP Natal.
- b. Koordinasi dan *setting* peralatan pengaman yang tepat pada penyulang YB-02 PLN ULP Natal.
- c. Simulasi hubung singkat tiga fasa, antar fasa, dua fasa ke tanah, dan satu fasa ke tanah.
- d. Software yang digunakan adalah ETAP 12.6.0 karena mempunyai banyak fitur pendukung untuk berbagai macam keadaan simulasi.

1.4 Tujuan

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk :

- a. Menganalisa besarnya arus hubung singkat tiga fasa, antar fasa, dua fasa ke tanah, dan satu fasa ke tanah pada penyulang YB-02 PLN ULP NATAL.
- b. Memahami koordinasi *setting* peralatan pengaman jaringan tegangan menengah antara OCR dan GFR pada penyulang YB-02 PLN ULP NATAL.

1.5 Manfaat

Adanya analisa evaluasi koordinasi proteksi OCR dan GFR pada jaringan tegangan menengah penyulang YB-02, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menjadi acuan dan referensi untuk dilakukannya *setting* ulang pada relay pengaman supaya dapat mengamankan gangguan hubung singkat.
2. Dengan *setting relay* yang sesuai pada OCR dan GFR dapat meningkatkan kehandalan system penyulang YB-02 dalam melokalisir gangguan hubung singkat yang terjadi.

1.6 Metode penelitian

Metode yang digunakan pada penyusunan tugas akhir ini adalah:

a. Studi Pustaka

Dalam metode studi pustaka, penulis mencari artikel, sumber, maupun literatur lainnya untuk memperoleh informasi serta data yang berkaitan dengan topologi jaringan, peralatan pengaman dan data koordinasi setting proteksi OCR dan GFR, pustaka yang digunakan merupakan pustaka milik pribadi dan milik perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi. SPLN (Standar Perusahaan Listrik Negara) tentang Jaringan Distribusi, Tugas akhir yang disusun oleh Anita Rosadi, Bagus Warseno, dan Dedi Firmanto dengan judul “**RANCANG BANGUN SIMULATOR KERJA RECLOSER DAN SECTIONALIZER PADA PENYULANG SRL-4 GARDU INDUK SRONDOL BERBASIS PLC DAN SCADA**”

b. Metode Observasi

Melakukan pengamatan secara langsung ke lapangan mengenai keadaan suatu jaringan dari penyulang YB-02. Peralatan proteksi diamati *setting* koordinasinya.

- 1) Data tentang penyebab gangguan yang terjadi pada penyulang YB-02
- 2) Data beban per-section untuk penyulang YB-02
- 3) Data tentang setting dan spesifikasi OCR dan GFR yang ada di penyulang YB-02
- 4) Data aset pada penyulang YB-02

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran dalam penulisan ini, secara singkat dapat diuraikan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dalam pembuatan Tugas Akhir, manfaat pembuatan tugas akhir, metode penyusunan laporan Tugas Akhir, dan sistematika penulisan laporan Tugas Akhir.

BAB II LANDASAN TEORI

Berisikan penjelasan secara mendasar dan sistematis tentang gambaran sistem distribusi secara umum yang digunakan PT. PLN (Persero), macam macam gangguan hubung singkat dan peralatan proteksi yang digunakan pada Jaringan Tegangan Menengah serta penggunaan software ETAP.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi tentang tempat dan waktu, metode penelitian dan diagram alir untuk mengetahui alur penelitian pada tugas akhir ini.

BAB IV PEMBAHASAN

Berisi hasil hubung singkat pada penyulang YB-02 PLN ULP Natal, perhitungan setting OCR dan GFR pada kondisi *existing*, perhitungan kondisi saat penelitian, mensimulasikan hasil perhitungan hubung singkat dan setting proteksi menggunakan software ETAP, dan melakukan evaluasi perbandingan hasil *existing* dengan perhitungan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

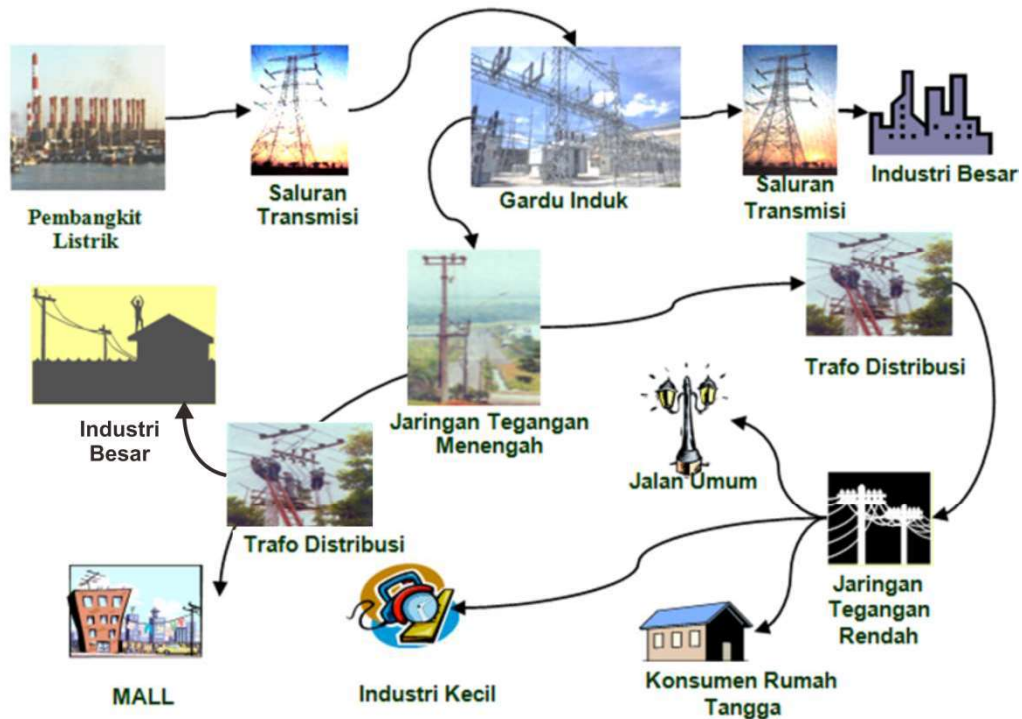
Berisikan tentang kesimpulan dan saran penulis dari pembuatan dan penulisan laporan Tugas Akhir.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu alur penyaluran energi dimana dibangkitkan pada pembangkit listrik yang kemudian di salurkan pada saluran transmisi dan kemudian di salurkan daya ke sistem distribusi untuk dapat mengalir ke setiap konsumen listrik.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembedaan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

Kenyataannya, sering timbul suatu permasalahan teknis dimana sumber tenaga listrik yaitu pembangkitan jauh dari jangkauan pelanggan. Sehingga, penyampaian

tenaga listrik dari tempat dibangkitkannya yang disebut pusat tenaga listrik sampai ketempat pelanggan membutuhkan berbagai penanganan teknis. Oleh karenanya, terdapat unit-unit untuk menyampaikan tenaga listrik tersebut ke pelanggan.

Unit pembangkitan merupakan Pusat Tenaga Listrik di bentuk seperti PLTA, PLTU, PLTD, PLTP, PLTG dan PLTGU kemudian disalurkan melalui unit transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (*step up transformer*) yang ada di unit pembangkitan. Unit Transmisi ini yang menghubungkan antara unit pembangkitan dengan Gardu Induk (GI). Di lingkungan operasional PLN saluran transmisi dibagi menjadi tiga macam nilai tegangan yaitu saluran transmisi yang bertegangan tinggi 70 kV, 150 kV dan 500 kV dimana saluran 150 kV lebih banyak digunakan dari pada saluran 70 kV. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik di Gardu Induk (GI) sebagai pusat beban untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (*step down transformer*) menjadi tegangan 20 kV, 12 kV dan 6 kV pada unit distribusi yang lebih dikenal dengan tegangan distribusi primer. Saat ini, tegangan 20 kV pada saluran distribusi primer lebih dikembangkan oleh PLN.

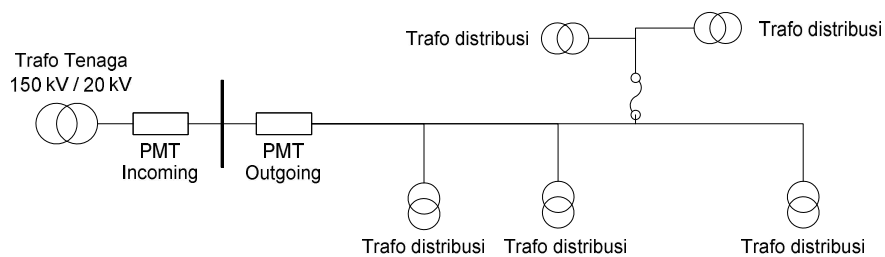
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi tenaga listrik adalah sistem distribusi yang merupakan sistem yang paling dekat dengan pelanggan. sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu bagian dari suatu sistem tenaga listrik yang dimulai dari PMT *incoming* di gardu induk sampai dengan alat penghitung dan pembatas di instalasi konsumen yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk

sebagai pusat-pusat beban ke pelanggan-pelanggan secara langsung atau melalui gardu-gardu distribusi (gardu trafo) dengan mutu yang memadai sesuai standar pelayanan yang berlaku. Dengan demikian sistem distribusi ini menjadi suatu sistem tersendiri karena unit distribusi ini memiliki komponen peralatan yang saling berkaitan dalam operasinya untuk menyalurkan tenaga listrik. Ditinjau dari tegangannya sistem distribusi dibagi menjadi dua macam, yaitu :

a. Distribusi Primer

Distribusi Primer yaitu suatu saluran distribusi dengan tegangan operasi nominal 20 kV. Dikenal juga sebagai Jaringan Tegangan Menengah (JTM). Saluran Distribusi Primer dapat berupa Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) dan Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM). Hal ini bertujuan untuk menyesuaikan dengan tingkat keandalan yang diinginkan untuk kondisi beban serta situasi lingkungan.

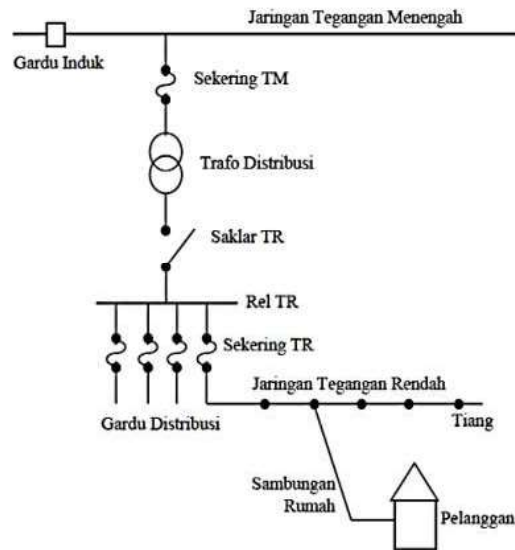


Gambar 2.2 Sistem Distribusi Primer

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembidangan Bidang Operasi Distribusi Distribusi Edisi 1, 2012

b. Distribusi Sekunder

Distribusi Sekunder yaitu suatu saluran distribusi dengan tegangan operasi nominal 380/220 V. Dikenal juga sebagai Jaringan Tegangan Rendah (JTR).



Gambar 2.3 Sistem Distribusi Sekunder

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembedaan Bidang Operasi Distribusi Distribusi Edisi I, 2012

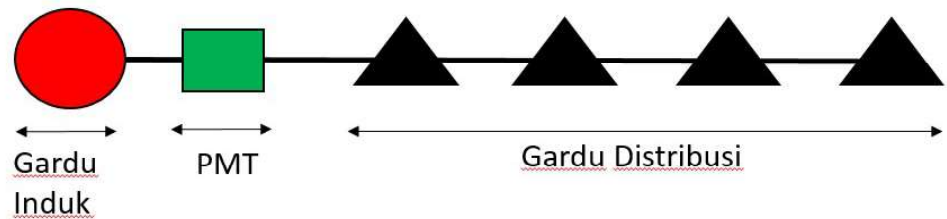
2.2.1 Macam-Macam Konfigurasi Jaringan Distribusi

Pada dasarnya sistem distribusi adalah menyesuaikan dengan jenis dan kepadatan beban. Ada beberapa macam konfigurasi jaringan distribusi primer, yaitu :

a. Jaringan *Radial*

Jaringan distribusi *radial* adalah bila antara titik sumber dan titik bebannya hanya terdapat satu saluran, tidak ada alternatif saluran lainnya. Bentuk Jaringan ini merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan *radial* karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani. Jaringan ini tidak dapat dimanipulasi bila terjadi gangguan, namun akan mudah untuk mencari atau melokalisir

gangguan. Namun, keandalan sistem tidak begitu sempurna bila diperuntukan pada pelanggan yang membutuhkan tingkat keandalan jaringan yang tinggi.

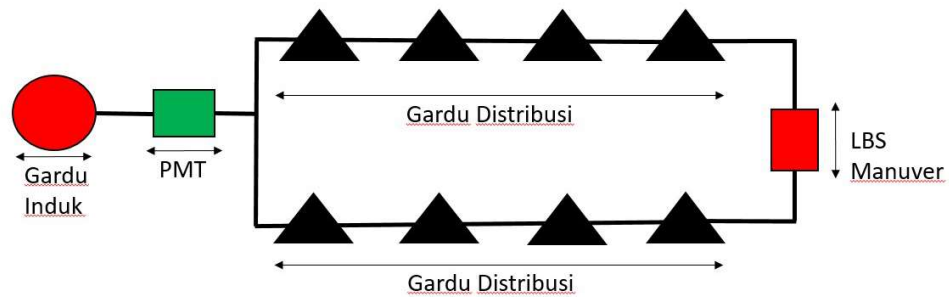


Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Radial

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat "Konsep Dasar Jaringan Distribusi" Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Edisi I, 2012

b. Jaringan Pararel

Jaringan pararel merupakan dua penyulang yang sejalur. Jaringan pararel merupakan konfigurasi yang lebih baik dari jaringan radial dimana ketika terjadi gangguan, maka jaringan dapat dimanipulasi untuk mempertahankan keandalan. Namun, biaya konstruksi jaringan sedikit lebih mahal karena harus dibangun dua penyulang pada jalur yang sama. Bilas diaplikasikan pada SUTM, diperlukan konstruksi khusus atau ruang bebas yang lebih luas. Biasanya dapat dijumpai pada kota kota besar dengan konstruksi *double feeder*.

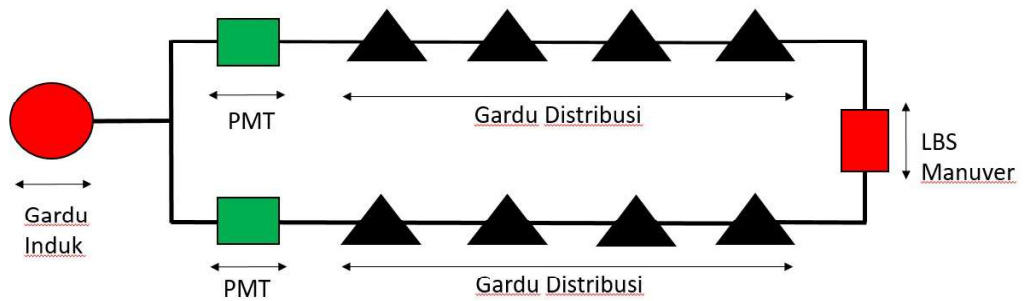


Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Pararel

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat "Konsep Dasar Jaringan Distribusi" Materi Pembidangan Bidang Operasi Distribusi Edisi I, 2012

c. Jaringan tertutup/*loop*

Jaringan distribusi *loop* adalah bila pada titik beban terdapat dua alternatif saluran berasal lebih dari satu sumber. Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan "*loop*". Susunan rangkaian penyulang membentuk *ring*, yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil. Diperlukan penghantar dengan luas penampang yang relatif besar untuk menampung seluruh beban yang terpasang pada sistem ketika terjadi gangguan pada salah satu sisi.

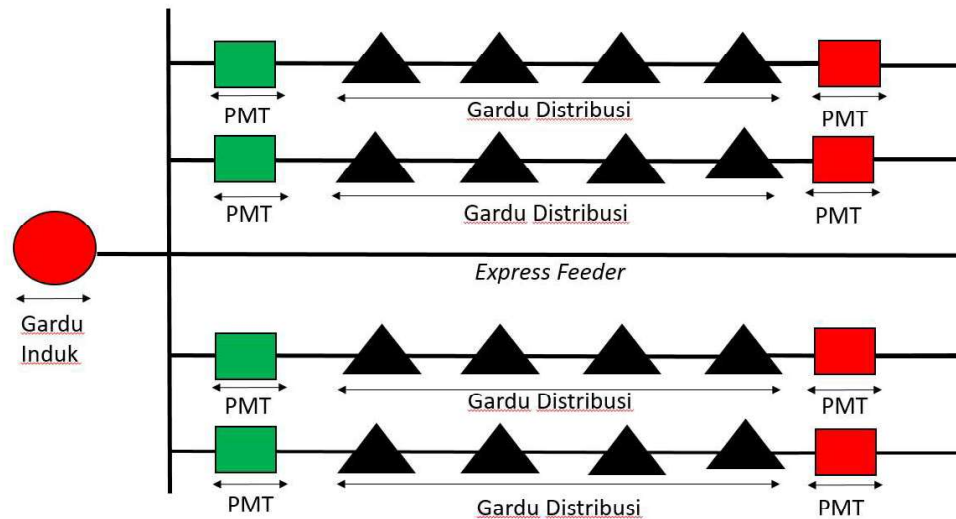


Gambar 2.6 Konfigurasi Jaringan Tertutup/loop

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembidangan Bidang Operasi Distribusi Edisi I, 2012

d. Jaringan *spindle*

Jaringan *spindle* adalah gabungan dari sistem *radial* dan *ring* yang dimodifikasikan sehingga merupakan suatu sistem yang mempunyai keadaan cukup tinggi tapi ekonomis. Sistem ini ditandai dengan adanya susunan beberapa buah kabel yang keluar dari suatu sumber (gardu induk) melalui beberapa buah pusat beban (gardu distribusi) untuk kemudian bertemu kembali pada sebuah gardu refleksi (gardu distribusi). Di samping itu ada sebuah kabel khusus yang tidak dibebani gardu distribusi menggunakan antara gardu induk dengan gardu hubung. Kabel ini disebut “*Express feeder*” yang berfungsi sebagai kabel cadangan jika ada gangguan, lihat gambar 2.7.



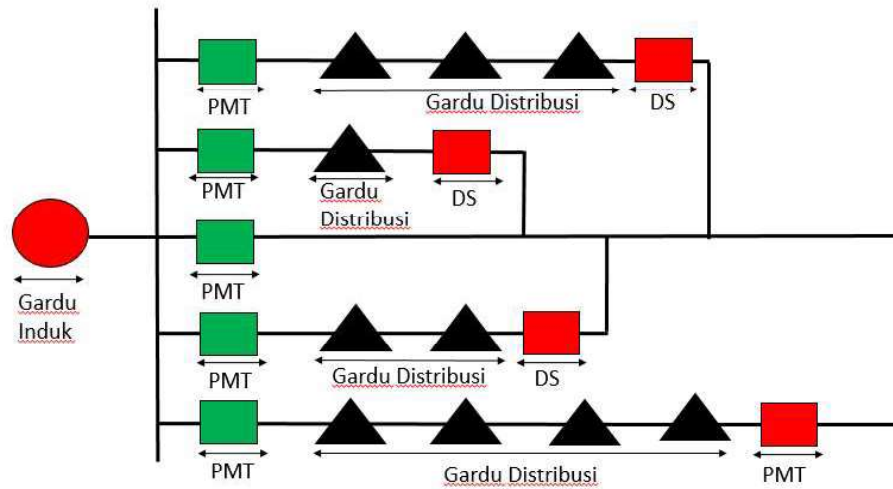
Gambar 2.7 Konfigurasi Jaringan *Spindle*

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembidangan Bidang Operasi Distribusi Distribusi Edisi I, 2012

Sistem ini biasanya menggunakan hantaran kabel tanah dan mempunyai kontinuitas pelayanan yang baik, karena gangguan yang terjadi dapat dilokalisasi dan beban dari kabel yang terganggu dapat dipindahkan ke kabel cadangan (*Express Feeder*) yang selalu *standby*.

e. Jaringan *Cluster*

Jaringan *cluster* merupakan konfigurasi saluran udara tegangan menengah yang sudah bertipikal sistem tertutup, namun beroperasi radial (*radial open loop*). Saluran bagian tengah merupakan penyulang cadangan (*express feeder*) dengan luas penampang penghantarnya besar. Sistem operasinya lebih mudah dibandingkan dengan sistem *spindle* dikarenakan tempat *switching* (Gardu Hubung) tidak dalam satu tempat sehingga proses *switching* bisa dilakukan disepanjang penyulang cadangan (*express feeder*)



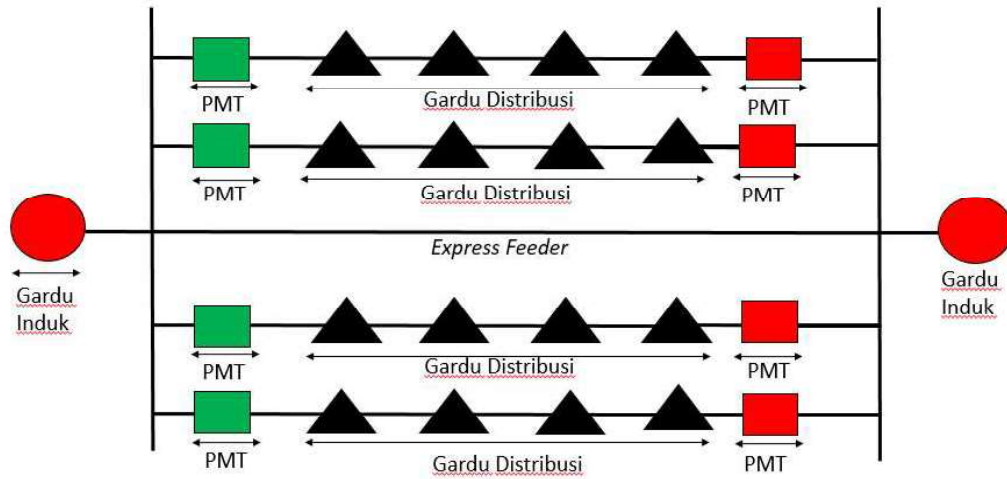
Gambar 2.8 Konfigurasi Jaringan Cluster

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat "Konsep Dasar Jaringan Distribusi" Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Distribusi Edisi I, 2012

f. Jaringan *Grid* (Jala-Jala)

Jaringan *Grid* merupakan suatu sistem yang mempunyai mutu pelayanan dan keandalan yang jauh lebih baik dari sistem-sistem yang telah dibicarakan terdahulu. Setiap gardu distribusi dapat dipasok dari dua sumber atau lebih sehingga kontinuitas pelayanannya lebih terjamin. Mutu tegangannya juga lebih baik karena bebas dipikul oleh beberapa buah penyulang yang paralel.

Namun demikian sistem ini membutuhkan biaya dan peralatan yang jauh lebih mahal dibandingkan dengan kedua sistem yang telah dibicarakan terdahulu. Sistem ini biasanya digunakan pada kota metropolitan yang kepadatan bebannya sangat tinggi.



Gambar 2.9 Konfigurasi Jaringan Grid (Jala-Jala)

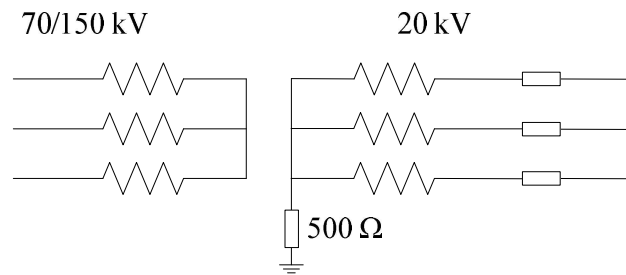
Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembidangan Bidang Operasi Distribusi Edisi I, 2012

2.2.2 Pola Sistem Distribusi di Indonesia

Terdapat tiga macam pola sistem distribusi utama yang dianut oleh PT PLN (persero) di seluruh Indonesia. Untuk koordinasi, investasi, tingkat pelayanan, dan keselamatan dalam rangka pengamanan sistem distribusi, suatu wilayah distribusi hanya diperbolehkan untuk menganut salah satu pola yang cocok untuk lingkungannya sesuai dengan pola yang telah ada, yaitu :

a. Sistem Distribusi Pola 1

Sistem Distribusi Pola 1 yaitu sistem distribusi 20 kV 3 fasa 3 kawat dengan pentanahan netral melalui tahanan tinggi 500 ohm (Gambar 2.10). Konstruksi jaringan pada dasarnya adalah saluran udara yang terdiri dari kawat jenis AAAC 150 mm² untuk saluran utama (*main lines*) dan AAAC 70 mm². Pola sistem ini mulai dikembangkan di Indonesia di PLN distribusi Jawa Timur.

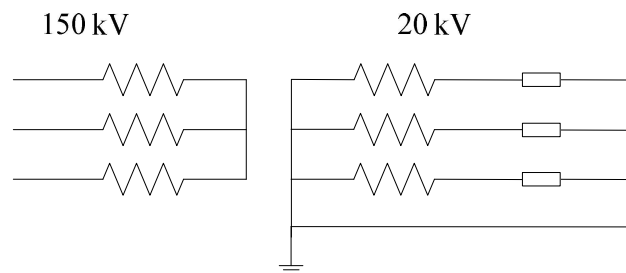


Gambar 2.10 Sistem Pentanahan Netral Melalui Tahanan Tinggi

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Distribusi Edisi 1, 2012

b. Sistem Distribusi Pola 2

Sistem distribusi pola 2 yaitu sistem distribusi 20 kV 3 fasa 4 kawat dengan pentanahan netral secara langsung (Netral ditanahkan sepanjang jaringan dan kawat netral dipakai bersama untuk saluran tegangan rendah dan tegangan menengah) (gambar 2.11). Konstruksi jaringan terdiri dari saluran udara secara umum dan saluran kabel. Penghantar yang digunakan adalah jenis AAAC 240mm² dan 150mm² 3 fasa - 4 kawat untuk saluran utama dan kawat AAAC 100mm² dan 55 mm² 3 fasa - 4 kawat untuk saluran cabang. Pola sistem ini mulai dikembangkan di Indonesia di PLN distribusi Jawa Tengah.

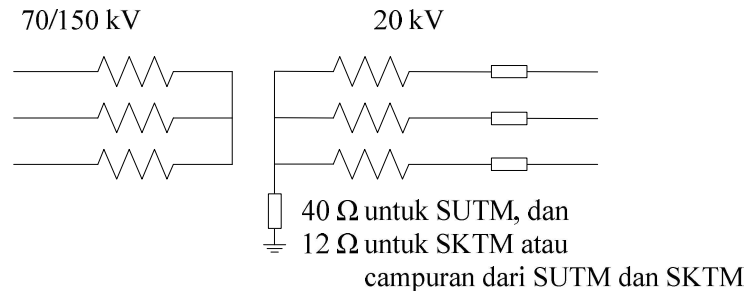


Gambar 2.11 Sistem Pentanahan Netral Secara Langsung Sepanjang Jaringan

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Distribusi Edisi I, 2012

c. Sistem Distribusi Pola 3

Sistem distribusi pola 3 yaitu sistem distribusi 20 kV 3 fasa 3 kawat dengan pentanahan netral melalui tahanan rendah dengan nilai 12 ohm dan 40 ohm untuk sistem SUTM atau sistem campuran (Gambar 2.12). Konstruksi jaringan pada dasarnya adalah saluran udara yang terdiri dari AAAC 150 mm² untuk saluran utama dan AAAC 70 mm² untuk saluran cabang. Pola sistem ini dikembangkan di Indonesia di PLN distribusi Jawa Barat dan DKI Jakarta.



Gambar 2.12 Skema Sistem Pentanahan Netral Melalui Tahanan Rendah

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat "Konsep Dasar Jaringan Distribusi" Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

2.3 Gangguan Pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Gangguan adalah suatu keadaan dimana terjadi ketidaknormalan pada sistem. Gangguan pada jaringan distribusi tegangan menengah ada bermacam-macam sumbernya. Mulai dari gangguan yang bersumber dari luar (pohon, binatang, manusia, angin, petir, bangunan, dan lain-lain) maupun gangguan yang bersumber dari dalam (kerusakan peralatan atau penghantar pada jaringan).

Adapun penyebab terjadinya gangguan berdasar SPLN 52-3 : 1983 pada saluran distribusi sebagai berikut :

- a. Tegangan dan arus abnormal
- b. Pemasangan yang kurang baik
- c. Penuaan
- d. Beban lebih
- e. Angin dan pohon
- f. Petir
- g. Kegagalan atau kerusakan peralatan dan saluran
- h. Manusia
- i. Hujan dan cuaca
- j. Binatang dan benda-benda asing
- k. Bencana Alam

2.3.1 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan karena hubungan secara langsung antar kawat fasa saluran dan atau hubungan langsung fasa ke tanah yang terjadi dalam suatu sistem jaringan tenaga listrik. Besarnya arus gangguan hubung singkat ini ditentukan oleh besar kecilnya kapasitas sumber listrik (generator atau trafo tenaga), impedansi sumber dan impedansi jaringan yang dilalui oleh arus gangguan hubung singkat. Menurut sumber gangguannya, gangguan hubung singkat dibedakan menjadi dua yaitu hubung singkat simetri dan hubung singkat tak simetri.

a. Hubung Singkat Simetri

Hubung singkat simetri merupakan hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat tiga fasa ke tanah.

1) Hubung Singkat tiga fasa ke tanah (L-L-L-G)

Gangguan ini terjadi karena adanya hubung antara ketiga fasa R, S, dan T pada jaringan disertai dengan hubung antara ketiga fasa dengan tanah.

2) Hubung Singkat tiga fasa (L-L-L)

Hubung singkat tiga fasa merupakan gangguan yang terjadi karena adanya hubungan antara ketiga fasa R, S, dan T pada jaringan.

b. Hubung Singkat Tidak Simetri

Hubung singkat tidak simetri merupakan hubung singkat yang terjadi pada salah satu ataupun dua saluran fasa yang terhubung langsung dengan tanah ataupun yang tidak terhubung langsung dengan tanah.

Hubung singkat tidak simetri antara lain :

1) Hubung singkat satu fasa ke tanah (L-G)

Gangguan ini terjadi karena adanya hubung antara salah satu fasa R, S maupun T dengan tanah.

2) Hubung singkat dua fasa/antar fasa (L-L)

Hubung singkat dua fasa terjadi karena adanya hubung antara dua fasa (R dengan S, S dengan T, atau R dengan T) pada jaringan.

3) Hubung singkat dua fasa ke tanah (L-L-G)

Hubung singkat dua fasa ke tanah terjadi karena adanya hubung antara dua fasa (R dengan S, S dengan T, atau R dengan T) pada jaringan serta antara dua fasa tersebut dengan tanah.

2.3.2 Gangguan Beban Lebih

Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, akan tetapi bila dibiarkan terus-menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri oleh arus tersebut. Hal ini disebabkan karena pelayanan kepada pelanggan melebihi kapasitas yang ada sehingga arus yang mengalir melebihi kemampuan hantar arus dari peralatan listrik, dimana pengaman listrik yang terpasang arus pengenalnya melebihi kemampuan hantar arus peralatan listrik.

2.3.3 Gangguan Ketidakstabilan

Gangguan ketidakstabilan sistem dikarenakan lepasnya pembangkit yang menyebabkan turunnya frekuensi tenaga listrik, atau dapat juga karena gangguan pada jaringan listrik yang men-*trip*-kan pengaman pada jaringan sehingga putaran generator melebihi dari putaran yang seharusnya dan terjadi kenaikan frekuensi.

2.3.4 Gangguan Temporer

Gangguan bersifat sementara yang terjadi dalam waktu singkat dan kemudian hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya dengan penutup balik, kemudian sistem kembali dalam keadaan normal.

2.3.5 Gangguan Permanen

Gangguan permanen merupakan gangguan yang terjadi dalam waktu lama dan tidak dapat hilang dengan sendirinya sehingga mengakibatkan pemutusan tetap. Diperlukan tindakan perbaikan terhadap jaringan yang mengalami gangguan, sehingga jaringan kembali dalam keadaan normal.

2.4 Teori Perhitungan Arus Hubung Singkat

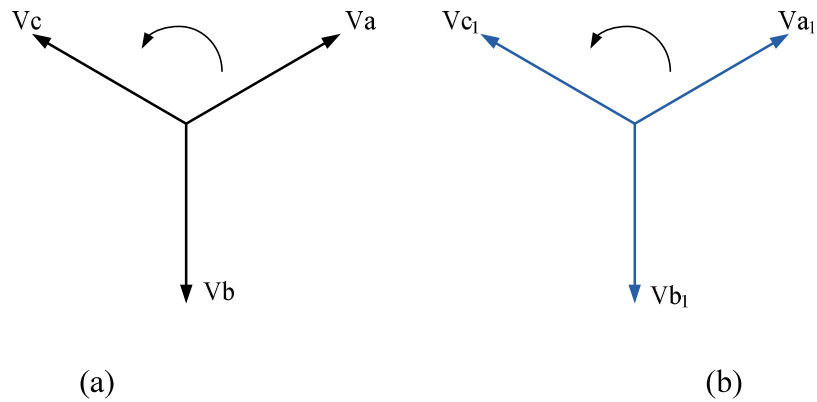
2.4.1 Komponen Simetri

Dalam pembangkitan daya pada sistem tenaga listrik tiga fasa selalu merupakan sistem dengan tegangan yang seimbang. Jika tegangan atau arus seimbang, maka jumlah total resultan vektor-vektornya sama dengan nol.

Gangguan yang tidak seimbang bisa di analisis dengan menggunakan metode komponen simetri yang diperkenalkan oleh C.L. Fortescue. Beliau membuktikan bahwa sebuah sistem tidak seimbang dengan n fasor yang berhubungan bisa diperlakukan menjadi n sistem fasor yang seimbang yang disebut komponen simetri dari fasor awal. Untuk sistem tiga fasa, maka akan ada tiga komponen, yaitu komponen urutan positif, komponen urutan negatif, dan komponen urutan nol.

a. Komponen urutan positif (*positive sequence component*)

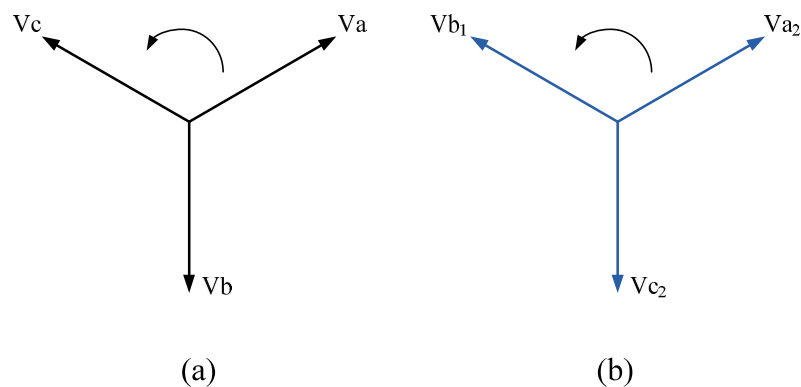
Komponen urutan positif terdiri dari tiga fasor yang sama besar. Terpisah satu dengan yang lain, sudut antarfasornya sebesar 120° . Mempunyai urutan fasa yang sama dengan fasor aslinya, yaitu berlawanan arah dengan arah jarum jam. Agar dapat mengenal komponen urutan positif, dapat dilihat gambar 2.13 (a) yang merupakan urutan fasor asli dan gambar 2.13 (b) yang merupakan komponen urutan positif.



Gambar 2.13 (a) Urutan Fasor Asli dan (b) Komponen Urutan Positif
 Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

b. Komponen urutan negatif (*negative sequence component*)

Komponen urutan negatif terdiri dari tiga fasor yang sama besar. Terpisah atau dengan yang lain dengan sudut antar fasornya 120° . Mempunyai urutan fasa yang berlawanan arah dengan fasor aslinya. Agar dapat mengenal komponen urutan positif, dapat dilihat **gambar 2.14a** yang merupakan urutan fasor asli dan **gambar 2.14b** yang merupakan komponen urutan negatif.

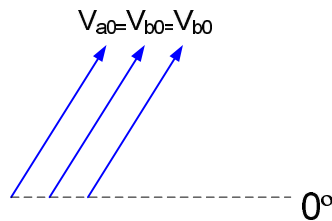


Gambar 2.14 (a) Urutan Fasor Asli dan (b) Komponen Urutan Negatif

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

- c. Komponen urutan nol (*zero sequence component*)

Komponen urutan nol terdiri dari tiga fasor yang sama besar. Antarfaktor tidak terdapat perbedaan sudut (antara satu fasor dengan yang lainnya bergeser 0°). Agar dapat mengenal komponen urutan nol dapat dilihat gambar 2.15 yang merupakan komponen urutan nol.



Gambar 2.15 Komponen Urutan Nol

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat "Konsep Dasar Jaringan Distribusi" Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

2.4.2 Operator "a"

Karena setiap fasor yang tidak seimbang merupakan vektor dari komponen-komponen simetrinya, maka fasor-fasor aslinya dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

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

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

Suatu besaran arus atau tegangan selalu digambarkan dengan suatu garis vektor yang mempunyai sudut pergeseran sama, maka untuk mempermudah dalam perhitungan, dipakai operator "a". Penggunaan komponen simetri pada sistem tiga fasa memerlukan suatu satuan fasor yang akan memutar rotasi dengan fasor

lainnya dengan beda fasanya 120° . Bila digunakan vektor atau fasor dengan operator a , maka:

$$a^0 = 1\angle 0^\circ = 1\angle(0 \times 120^\circ) = 1 + j0$$

$$a^1 = 1\angle 120^\circ = 1\angle(1 \times 120^\circ) = -0,5 + j0,866$$

$$a^2 = 1\angle 240^\circ = 1\angle(2 \times 120^\circ) = -0,5 - j0,866$$

$$a^3 = 1\angle 360^\circ = 1\angle(3 \times 120^\circ) = 1 + j0$$

Selanjutnya pangkat dan fungsi operator dapat dibuat tabel dan gambar setaranya, dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Fungsi Operator “a”

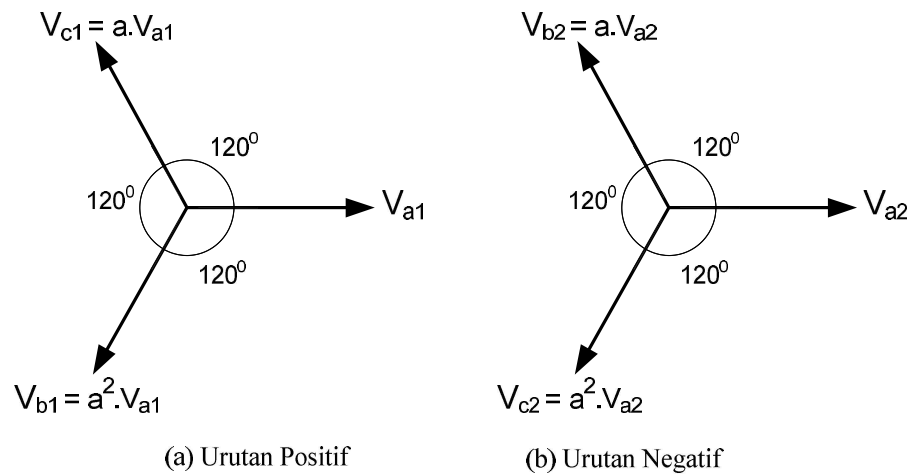
Fungsi	Bentuk Polar	Bentuk Rektangular
A	$1\angle 120^\circ$	$-0,5 + j0,866$
a^2	$1\angle 240^\circ = 1\angle -120^\circ$	$-0,5 - j0,866$
a^3	$1\angle 360^\circ = 1\angle 0^\circ$	$1 + j0$
$a^4 = a$	$1\angle 120^\circ$	$-0,5 + j0,866$
$1 + a + a^2$	$0\angle 0^\circ$	$0 + j0$
$1 + a = -a^2$	$1\angle 60^\circ$	$0,5 + j0,866$

Sumber : Penulis, 2020

Tabel 2.1 Fungsi Operator “a” (lanjutan)

$1 + a^2 = -a$	$1 \angle -60^\circ$	$0,5 - j0,866$
$1 - a$	$\sqrt{3} \angle -30^\circ$	$1,5 - j0,866$
$1 - a^2$	$\sqrt{3} \angle 30^\circ$	$1,5 + j0,866$
$a - 1$	$\sqrt{3} \angle 150^\circ$	$-1,5 + j0,866$
$a^2 - 1$	$\sqrt{3} \angle -150^\circ$	$-1,5 - j0,866$
$a - a^2$	$\sqrt{3} \angle 90^\circ$	$0 + j1,732$
$a^2 - a$	$\sqrt{3} \angle -90^\circ$	$0 - j1,732$

Sumber : Penulis, 2020



Gambar 2.16 Penggunaan operator a dalam komponen urutan positif dan negatif

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

Dengan memasukkan formula operator a ke dalam rumus (2.1), (2.2), dan (2.3), maka diperoleh:

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \quad (2.4)$$

$$V_b = V_{a0} + a^2.V_{a1} + a.V_{a2} \quad (2.5)$$

$$V_c = V_{a0} + a.V_{a1} + a^2.V_{a2} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.4), (2.5), dan (2.6) dapat dituliskan ke dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Bentuk lain dari persamaan (2.7) di atas adalah:

$$V_{abc} = A \cdot V_{012} \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) digunakan untuk mencari tegangan sistem (V_{abc}). Sedangkan untuk mendapatkan tegangan komponen simetrinya (V_{012}), dengan menentukan matriks invers dari persamaan (2.8), yaitu:

$$V_{012} = A^{-1} V_{abc} \quad (2.9)$$

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \quad (2.11)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + a V_b + a^2 V_c) \quad (2.12)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2 V_b + a V_c) \quad (2.13)$$

Untuk mencari arus hubung singkat sistem dapat menggunakan persamaan berikut:

$$I_{abc} = A \cdot I_{012} \quad (2.14)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \quad (2.16)$$

$$I_b = I_{a0} + a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2} \quad (2.17)$$

$$I_c = I_{a0} + a \cdot I_{a1} + a^2 \cdot I_{a2} \quad (2.18)$$

Sedangkan untuk mencari arus komponen simetrinya dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$I_{012} = A^{-1} \cdot I_{abc} \quad (2.19)$$

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \quad (2.21)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3}(I_a + a I_b + a^2 I_c) \quad (2.22)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a I_c) \quad (2.23)$$

2.5 Rangkaian Impedansi Urutan Jaringan Sistem Tenaga Listrik

Rangkaian impedansi urutan jaringan sistem tenaga listrik merupakan salah satu hal yang diperlukan untuk menganalisa gangguan selain arus dan tegangannya. Pembentukan rangkaian impedansi urutan jaringan sistem tenaga listrik dimulai dari sumber, transformator, dan saluran.

2.5.1 Rangkaian Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber di sisi 20 kV, maka harus dihitung terlebih dahulu impedansi sumber di sisi tegangan tingginya (150 kV) dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$X_{S_{TT}} = \frac{kV^2}{MVA_{TT}} \quad (2.24)$$

Keterangan:

$X_{S_{TT}}$ = Impedansi sumber tegangan tinggi (Ω)

kV = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA_{TT} = Data MVA hubung singkat sisi tegangan tinggi 150 kV
(MVA)

Oleh karena perhitungan arus hubung singkat berada di sisi tegangan menengah (20 kV), maka impedansi sumber di sisi tegangan tinggi (150 kV) harus dikonversikan terlebih dahulu ke sisi tegangan menengah menggunakan persamaan seperti di bawah ini:

$$X_{S_{TM}} = \frac{kV_{TM}^2}{kV_{TT}^2} \cdot X_{S_{TT}} \quad (2.25)$$

Keterangan:

$X_{S_{TM}}$ = Impedansi sumber di sisi 20 kV (Ω)

$X_{S_{TT}}$ = Impedansi sumber di sisi 150 kV (Ω)

kV_{TM} = Tegangan menengah = 20 kV

kV_{TT} = Tegangan tinggi = 150 kV

2.5.2 Rangkaian Impedansi Transformator

Pada umumnya impedansi urutan positif transformator sama dengan impedansi urutan negatif transformator tersebut, yaitu :

$$Z_1 = Z_2 = Z_{trafo}$$

Sedangkan untuk menentukan impedansi urutan nol, terlebih dahulu harus diketahui data belitan trafo. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Δ -Y,

impedansi urutan nol sedikit berbeda nilainya dengan impedansi urutan positif maupun negatif, namun biasanya dianggap sama.

$$Z_1 = Z_2 = Z_0 = Z_{\text{trafo}}$$

Pada perhitungan impedansi trafo, yang diambil adalah nilai reaktansinya, sedangkan nilai tahanannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk menghitung reaktansi trafo urutan positif dan negatif, dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$X_{T1} = X_{T2} = \% \cdot \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.26)$$

Keterangan:

X_{T1} = Reaktansi trafo urutan positif (Ohm)

X_{T2} = Reaktansi trafo urutan negatif (Ohm)

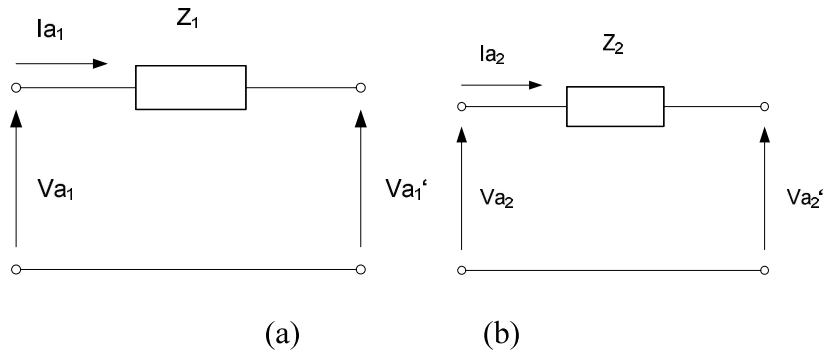
kV = Tegangan sisi sekunder trafo (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Untuk menghitung reaktansi trafo, perlu diperhatikan hal-hal berikut:

- a. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Δ -Y, dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan bintang, maka $X_{T0} = X_{T1}$.
- b. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Yyd, dimana kapasitas delta biasanya sepertiga dari kapasitas belitan bintang (belitan yang digunakan untuk menyalurkan daya), maka nilai $X_{T0} = 3 X_{T1}$.

- c. Untuk trafo tenaga dengan hubungan Y-Y dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung X_{T0} berkisar antara 9 s.d. 14 kali X_{T1} .



Gambar 2.17 Diagram Rangkaian Reaktansi Trafo (a) Urutan Positif dan (b) Urutan Negatif

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembidangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

2.5.3 Rangkaian Impedansi Saluran

Besarnya impedansi saluran didasarkan dari jenis penghantar, luas penampang, dan panjang penghantar yang digunakan. Biasanya, besarnya impedansi saluran sudah diketahui. Diagram rangkaian urutannya adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Impedansi Penghantar AAAC

Luas Penampang (mm ²)	Jari-jari (mm)	Urat	GMR (mm)	Impedansi Urutan Positif dan Negatif (Ω/km)	Impedansi Urutan Nol (Ω/km)
16	2,2563	7	1,6380	2,0161 + j 0,4036	2,3675 + j 1,5451
25	2,8203	7	2,0475	1,2903 + j 0,3895	1,6886 + j 1,4256
35	3,3371	7	2,4227	0,9217 + j 0,3790	1,3334 + j 1,3143

Luas Penampang (mm ²)	Jari-jari (mm)	Urut	GMR (mm)	Impedansi Urutan Positif dan Negatif (Ω/km)	Impedansi Urutan Nol (Ω/km)
50	3,9886	7	2,8957	0,6452 + j 0,3678	1,0380 + j 1,1902
70	4,7193	730	3,4262	0,4608 + j 0,3572	0,8541 + j 1,1796
95	5,4979	19	4,1674	0,3396 + j 0,3449	0,7330 + j 1,1673
120	6,1791	19	4,6837	0,2688 + j 0,3376	0,6175 + j 1,0674
150	6,9084	19	5,2365	0,2162 + j 0,3305	0,5640 + j 1,0604
185	7,6722	19	5,8155	0,1744 + j 0,3239	0,4732 + j 0,9881
240	8,7386	19	6,6238	0,1344 + j 0,3158	0,3930 + j 0,9435

Sumber: SPLN 64:1985, Tabel XIII B dan Tabel XIII F

2.5.4 Impedansi Total Jaringan

Perhitungan yang dilakukan adalah perhitungan besarnya nilai impedansi total urutan positif, negatif dan nol dari titik gangguan samai ke sumber. Dikarenakan dari titik gangguan sampai sumber impedansinya tersambung secara seri maka perhitungan impedansi total jaringan dapat langsung dilakukan dengan cara :

- a. Urutan positif dan urutan negatif ($Z_{1T} = Z_{2T}$)

$$Z_{1Tot} = Z_{2Tot} = Z_{1S} + Z_{1t} + Z_{1SAL} \quad (2.27)$$

Dimana :

Z_{1Tot} = Impedansi total jaringan urutan positif

Z_{2Tot} = Impedansi total jaringan urutan negatif

Z_{1S} = Impedansi sumber urutan positif dan negatif

Z_{1t} = Impedansi trafo tenaga urutan positif dan negatif

Z_{1SAL} = Impedansi saluran urutan positif dan negatif

b. Urutan nol (Z_0)

$$Z_{0Tot} = Z_{0t} + 3RN + Z_{0SAL} \quad (2.28)$$

Dimana :

Z_{0Tot} = Impedansi total jaringan urutan nol

RN = tahanan tanah trafo tenaga

Z_{0t} = Impedansi trafo tenaga urutan nol

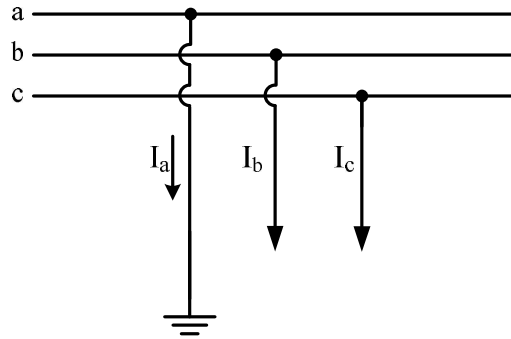
Z_{0SAL} = Impedansi saluran urutan nol

2.6 Analisis Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Tenaga Listrik

Dalam pemakaian peralatan pengaman pada jaringan distribusi tenaga listrik diperlukan suatu nilai arus tertentu yang akan dijadikan sebuah acuan setting peralatan pengaman tersebut. Salah satunya adalah besarnya arus pada saat sistem mengalami gangguan. Oleh karenanya, analisis gangguan hubung singkat diperlukan untuk mengetahui besarnya arus gangguan yang melewati jaringan distribusi tersebut.

2.6.1 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Untuk diagram rangkaian gangguan satu fasa ke tanah dimana gangguan terjadi pada fasa a.



Gambar 2.18 Diagram Rangkaian Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembidangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

Dari **gambar 2.18** didapatkan persamaan berikut.

$$V_a = 0 \quad V_b \neq 0 \quad V_c \neq 0$$

$$I_a \neq 0 \quad I_b = 0 \quad I_c = 0$$

Berdasarkan data diatas, maka digunakan persamaan arus komponen simetri.

$$I_{012} = A^{-1} I_{abc}$$

$$\begin{bmatrix} I_{a_0} \\ I_{a_1} \\ I_{a_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$I_{a_0} = 1/3 (I_a + 0 + 0)$$

$$I_{a_0} = 1/3 I_a \tag{2.29}$$

$$I_{a_1} = 1/3 (I_a + a \cdot 0 + a^2 \cdot 0)$$

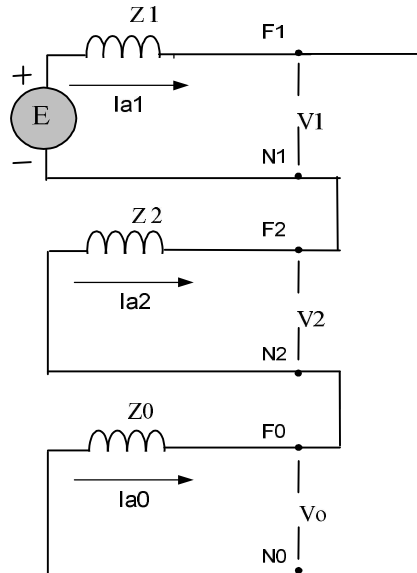
$$I_{a_1} = 1/3 I_a \tag{2.30}$$

$$I_{a_2} = 1/3 (I_a + a^2 \cdot 0 + a \cdot 0)$$

$$I_{a_2} = 1/3 I_a \tag{2.31}$$

$$I_{a_0} = I_{a_1} = I_{a_2} = \frac{1}{3} I_a.$$

Rangkaian Pengganti Thevenin Jaringan Urutan (RPTJU) dihubung secara seri.



Gambar 2.19 Jaringan Urutan Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah
 Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi
 Pembidangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

Persamaan untuk arus komponen simetrinya adalah:

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.32)$$

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$$

Sehingga diperoleh persamaan arus-arus gangguan hubung singkat pada sistem adalah:

$$I_{abc} = A \cdot I_{012}$$

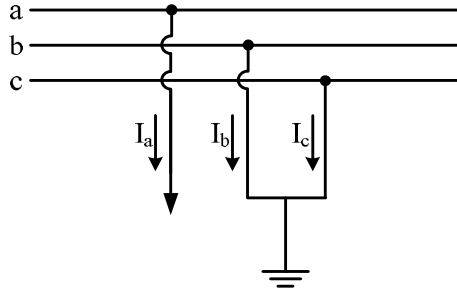
$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} = 3I_{a1} \quad (2.33)$$

$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

2.6.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Untuk diagram rangkaian gangguan dua fasa ke tanah dimana gangguan terjadi pada fasa b dan c.



Gambar 2.20 Diagram Rangkaian Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembidangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

Dari gambar 2.20 di atas, diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$V_a \neq 0 \quad V_b = 0 \quad V_c = 0$$

$$I_a = 0 \quad I_b \neq 0 \quad I_c \neq 0$$

Berdasarkan data diatas, maka digunakan persamaan tegangan komponen simetri dari persamaan (2.9) dan (2.10).

$$V_{012} = A^{-1} V_{abc}$$

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

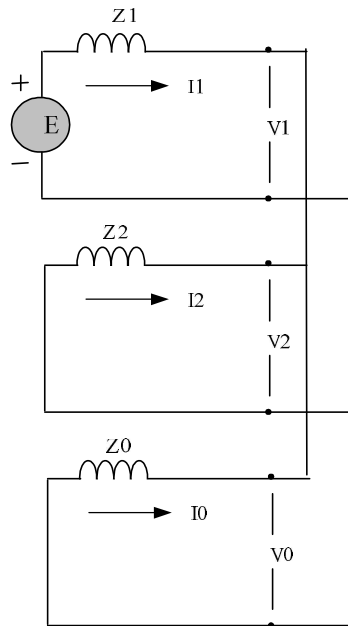
$$V_{a0} = \frac{1}{3} V_a \quad (2.34)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3} V_a \quad (2.35)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3} V_a \quad (2.36)$$

$$V_{a0} = V_{a1} = V_{a2} = \frac{1}{3}V_a \quad (2.37)$$

RPTJU gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah dirangkai paralel.



Gambar 2.21 Jaringan Urutan Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah
*Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat "Konsep Dasar Jaringan Distribusi" Materi
 Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012*

Persamaan arus komponen simetrinya adalah:

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + \frac{Z_2 \cdot Z_0}{Z_2 + Z_0}} \quad (2.38)$$

$$I_{a2} = - \left(\frac{Z_0}{Z_2 + Z_0} \right) \cdot I_{a1} \quad (2.39)$$

$$I_{a0} = - \left(\frac{Z_2}{Z_2 + Z_0} \right) \cdot I_{a1} \quad (2.40)$$

Dengan menggunakan persamaan arus hubung singkat sistem dari persamaan (2.14), diperoleh persamaan untuk arus hubung singkat sistem, yaitu:

$$I_{abc} = A \cdot I_{012}$$

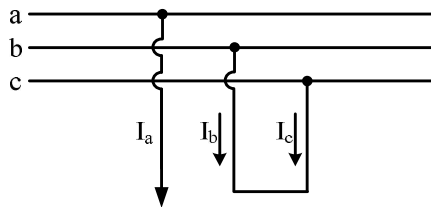
$$I_a = 0$$

$$I_b = I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} \quad (2.41)$$

$$I_c = I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2} \quad (2.42)$$

2.6.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa (Antar Fasa)

Untuk diagram rangkaian gangguan dua fasa antar fasa dimana gangguan terjadi pada fasa b dan c.



Gambar 2.22 Diagram Rangkaian Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa (Antar Fasa)

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembidangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

Dari gambar 2.22 di atas diperoleh persamaan berikut.

$$V_a \neq 0 \quad V_b = V_c \neq 0$$

$$I_a = 0 \quad I_b \neq 0 \quad I_c \neq 0$$

Berdasarkan data diatas, maka digunakan persamaan arus komponen simetri dari persamaan (2.19) dan (2.20).

$$I_{012} = A^{-1} I_{abc}$$

$$\begin{bmatrix} I_{a_0} \\ I_{a_1} \\ I_{a_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

$$I_{a_0} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$$

$$= \frac{1}{3}(0 + I_b - I_b)$$

$$= 0$$

$$I_{a_1} = \frac{1}{3}(I_a + a \cdot I_b + a^2 \cdot I_c)$$

$$= \frac{1}{3}(0 + a \cdot I_b - a^2 \cdot I_b)$$

$$= \frac{1}{3}(a - a^2) I_b \tag{2.43}$$

$$I_{a_2} = \frac{1}{3}(I_a + a^2 \cdot I_b + a \cdot I_c)$$

$$= \frac{1}{3}(0 + a^2 \cdot I_b - a \cdot I_b)$$

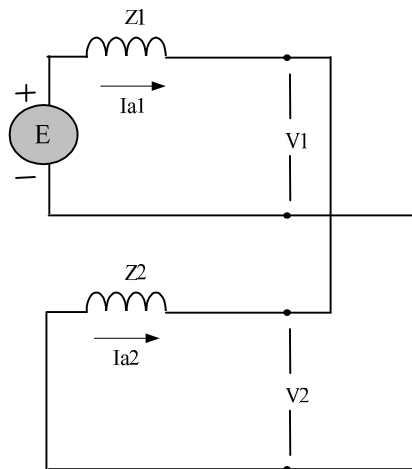
$$= \frac{1}{3}(a^2 - a) I_b$$

$$= -\frac{1}{3}(a - a^2) I_b \tag{2.44}$$

Substitusi persamaan (2.43) ke persamaan (2.44) :

$$I_{a_2} = -I_{a_1} \tag{2.45}$$

RPTJU dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.23 Jaringan Urutan Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa (Antar Fasa)

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembedaan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

Persamaan arus komponen simetrinya adalah:

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2} \quad (2.46)$$

$$I_{a2} = -I_{a1} \quad (2.45)$$

$$I_{a0} = 0$$

Dengan menggunakan persamaan hubung singkat sistem dari persamaan (2.22), diperoleh persamaan untuk arus hubung singkat sistem sebagai berikut:

$$I_{abc} = A \cdot I_{012}$$

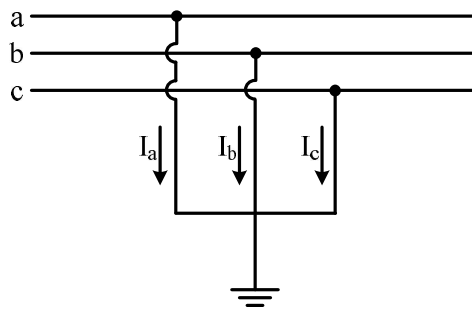
$$I_a = 0$$

$$I_b = I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2}$$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} \quad (2.47)$$

$$I_c = -I_b \quad (2.4)$$

2.6.4 Gangguan hubung singkat tiga fasa atau tiga fasa ke tanah



Gambar 2.24 Diagram Rangkaian Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa atau Tiga Fasa ke Tanah

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat "Konsep Dasar Jaringan Distribusi" Materi Pembidangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

Dari gambar (2.24) di atas, diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$V_a = V_b = V_c = 0$$

$$I_a \neq 0 \quad I_b \neq 0 \quad I_c \neq 0$$

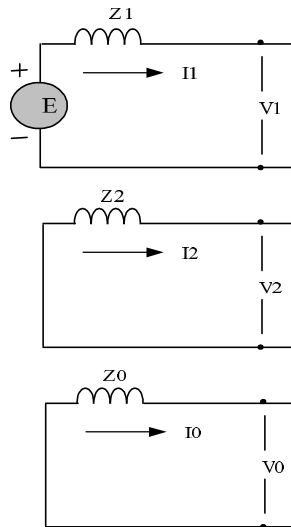
Dengan mentransformasikan tegangan-tegangan sistem ke dalam bentuk komponen simetri, diperoleh:

$$\begin{aligned} V_{a0} &= \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{a1} &= \frac{1}{3}(V_a + a V_b + a^2 V_c) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{a2} &= \frac{1}{3}(V_a + a^2 V_b + a V_c) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Tegangan-tegangan komponen simetri di atas menunjukkan bahwa rangkaian pengganti *Thevenin* masing-masing komponen simetri (positif, negatif, dan nol) dihubungkan secara tersendiri.



Gambar 2.25 Jaringan Urutan Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa atau Tiga Fasa ke Tanah

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

Persamaan arus-arus komponen simetrinya, yaitu sebagai berikut:

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1} \quad (2.49)$$

$$I_{a2} = I_{a0} = 0$$

Persamaan arus-arus hubung singkat sistemnya adalah:

$$I_{abc} = A I_{012}$$

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2}$$

$$I_a = I_{a1} \quad (2.50)$$

$$\begin{aligned}
 I_b &= I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} \\
 &= a^2 I_{a1}
 \end{aligned}
 \tag{2.51}$$

$$\begin{aligned}
 I_c &= I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2} \\
 &= a I_{a1}
 \end{aligned}
 \tag{2.52}$$

2.7 Sistem Besaran Per-satuan / Per-unit

Besaran per-satuan atau besaran per-unit disingkat (pu) merupakan nilai perbandingan dari nilai sebenarnya suatu besaran terhadap nilai dasarnya. Dengan menggunakan besaran pu akan lebih memudahkan perhitungan. Karena suatu besaran pu dikalikan dengan pu hasilnya tetap pu. Untuk mendapatkan suatu nilai dalam besaran pu dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Besaran pu} = \frac{\text{besaran sebenarnya}}{\text{besaran dasar}}
 \tag{2.53}$$

2.8 Perhitungan Arus Dasar (I_b) dan Impedansi Dasar (Z_b)

Menggunakan data 3 fasa :

$$\text{Arus Dasar (I}_b) = \frac{\text{kVA dasar}}{\sqrt{3}\text{kV dasar L-L}}
 \tag{2.54}$$

$$\text{Impedansi dasar (Z}_b) = \frac{(\text{kV dasar L-L})^2}{\text{MVA dasar 3 fasa}}
 \tag{2.55}$$

2.9 Mengubah/Mengoreksi Nilai Besaran Per-satuan (pu)

Setiap peralatan sistem tenaga listrik selalu diberikan data peralatan pada *nameplate*-nya. Jika peralatan tersebut akan dihubungkan ke sistem tenaga listrik

maka nilai besaran per-satuan yang dimiliki peralatan tersebut harus dikoreksi dengan menggunakan data besaran dasar yang ditentukan pada sistem tersebut.

Cara mengoreksi besaran per-satuan dapat mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$Z_n (\text{pu}) = Z_o (\text{pu}) \left[\frac{kV_{B_0}}{kV_{B_n}} \right]^2 \left[\frac{kVA_{B_n}}{kVA_{B_0}} \right] \quad (2.56)$$

Keterangan :

$Z_n(\text{pu})$ = Impedansi dalam satuan (pu) dengan besaran dasar baru

$Z_o(\text{pu})$ = Impedansi dalam satuan (pu) dengan besaran dasar lama

kV_{B_n} = Tegangan dasar (kV) baru

kV_{B_0} = Tegangan dasar (kV) lama

kVA_{B_n} = Daya dasar (kVA) baru

kVA_{B_0} = Daya dasar (kVA) lama

2.10 Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik ke pihak pelanggan. Karena fungsinya tersebut maka keandalan menjadi sangat penting dan untuk itu jaringan distribusi perlu dilengkapi dengan sistem proteksi.

Secara umum pengertian dari sistem proteksi adalah suatu upaya untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan. Sistem proteksi yang baik harus mampu :

- a. Melakukan koordinasi dengan sistem proteksi yang lain
- b. Mengamankan peralatan dari kerusakan yang lebih luas akibat gangguan

- c. Membatasi kemungkinan terjadinya kecelakaan
- d. Secepatnya membebaskan pemadaman karena gangguan
- e. Membatasi daerah pemadaman akibat gangguan
- f. Mengurangi frekuensi pemutusan permanen karena gangguan

2.10.1 Fungsi Sistem Proteksi

Ada tiga fungsi sistem proteksi dalam jaringan distribusi tenaga listrik, yaitu :

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

2.10.2 Syarat Sistem Proteksi

Untuk memenuhi fungsi dari sistem proteksi tersebut, maka sistem proteksi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

- a. Sensitifitas (Kepekaan)

Suatu pengaman harus cukup sensitif untuk mendeteksi dengan nilai minimum dan bila perlu mentriapkan PMT atau Pelebur untuk memisahkan bagian yang terganggu dengan bagian yang sehat didaerah pengamanannya.

- b. Selektifitas (Ketelitian)

Selektifitas dari pengaman adalah kualitas kecermatan dalam mengadakan pengamanan bagian yang terbuka dari suatu sistem

akibat terjadinya gangguan diusahakan seminimal mungkin, sehingga dapat mengurangi daerah yang mengalami pemadaman. Dalam hal ini, peralatan proteksi hanya bekerja pada kondisi operasi sistem tidak normal atau mengalami gangguan di daerah pengamanannya.

c. Keandalan (*Reliability*)

Peralatan proteksi harus bekerja dan tidak boleh gagal saat terjadi gangguan. Peralatan dapat dikatakan baik apabila keandalannya lebih kurang 90%, yaitu peralatan dapat bekerja secara baik terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Dalam keadaan normal pengaman tidak boleh bekerja, tetapi harus pasti dapat bekerja bila diperlukan. Pengaman tidak boleh salah bekerja, jadi susunan alat-alat pengaman harus dapat diandalkan. Keandalan keamanan tergantung kepada desain, pengerjaan dan perawatannya. Ada tiga aspek yang menjadi tolak ukur keandalan peralatan pengaman, yaitu :

- 1) *Dependability*, yaitu tingkat kepastian bekerjanya (keandalan kemampuan bekerjanya) ketika terjadi gangguan.
- 2) *Security*, yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah kerja mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi.
- 3) *Availability*, yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan siap kerja dan waktu total operasinya.

d. Kecepatan (*Speed*)

Ketika terjadi gangguan, semakin cepat pengaman bekerja tidak hanya dapat memperkecil kerusakan tetapi juga dapat memperkecil kemungkinan meluasnya akibat-akibat yang ditimbulkan oleh gangguan.

e. Ekonomis

Pemasangan peralatan pengaman harus dipertimbangkan harga dari peralatan tersebut. Harga menentukan kualitas dan kuantitas dari peralatan pengaman.

2.11 Peralatan Pengaman Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

2.11.1. Pemutus Tenaga *Outgoing* 20 kV

Pemutus Tenaga (PMT) adalah saklar yang dapat digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan rangkaian listrik dalam keadaan berbeban maupun tidak berbeban. Pada saat PMT menghubungkan atau memutuskan rangkaian saat berbeban, akan timbul busur api. Untuk memadamkan busur api tersebut PMT dilengkapi dengan media pemadam busur api antara lain berupa ; Minyak, Udara dan Gas. PMT dilengkapi dengan rele-rele pengaman dengan tujuan untuk memutuskan rangkaian listrik ketika terjadi gangguan.

Alat pengaman jaringan ini diletakkan pada kubikel di gardu induk setelah PMT incoming dan busbar 20 kV serta pada pangkal penyulang jaringan tegangan menengah. PMT ini ditempatkan pada pangkal penyulang dengan bertujuan dapat meminimalisir jumlah penyulang padam yang terkoneksi pada satu busbar 20 kV akibat dari gangguan pada salah satu penyulang.

2.11.2 *Recloser*/Penutup Balik Otomatis

Penutup Balik Otomatis (PBO) atau *recloser* merupakan pemutus tenaga yang dilengkapi dengan peralatan kontrol dan relai penutup balik. *Recloser* dipasang pada saluran utama tegangan menengah yang berfungsi mengamankan jaringan ketika terjadi gangguan, baik yang bersifat sementara maupun permanen.

Urutan operasi *Recloser*:

- a. Sebelum terjadi gangguan arus mengalir normal.
- b. Pada saat terjadi gangguan, arus yang mengalir melalui *recloser* sangat besar dan menyebabkan kontak *recloser* terbuka dengan operasi cepat (*fast*).
- c. Kontak *recloser* akan menutup balik setelah melewati waktu beberapa detik sesuai *setting* yang dilakukan. Tujuan memberikan selang waktu beberapa detik ini adalah untuk memberikan waktu kepada penyebab gangguan agar hilang dari sistem, terutama gangguan bersifat temporer.
- d. Jika yang terjadi adalah gangguan permanen, maka *recloser* akan membuka dan menutup balik sesuai dengan *setting* yang telah ditentukan dan akan membuka dan mengunci (*lock out*). Setelah gangguan permanen dibebaskan oleh petugas, maka *recloser* baru dapat dimasukkan lagi ke sistem.

Klasifikasi *recloser* dilihat dari media peredam busur apinya :

- a. *Recloser* dengan media minyak
- b. *Recloser* dengan media Vacuum
- c. *Recloser* dengan media Gas SF₆

Klasifikasi *recloser* dilihat dari peralatan kontrolnya :

- a. *Recloser* dengan kontrol hidroulick
- b. *Recloser* dengan kontrol elektronik

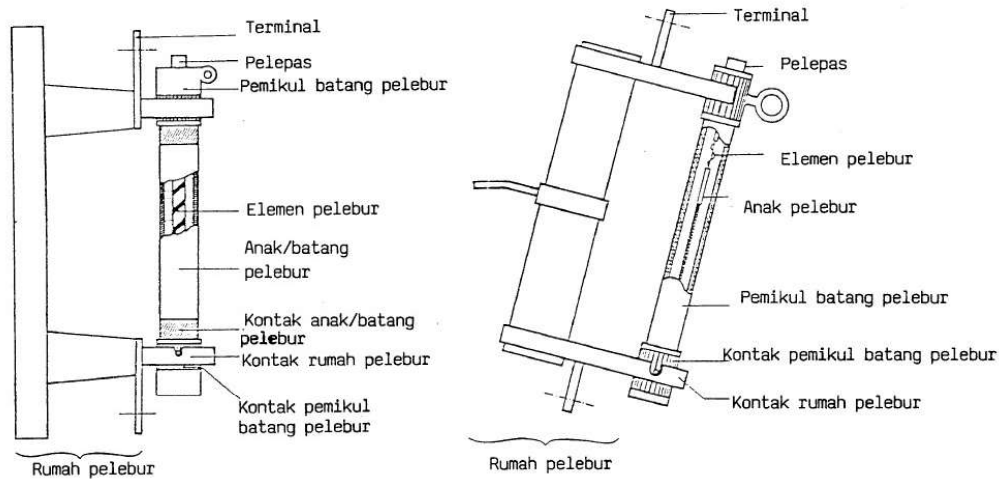
Klasifikasi *recloser* dilihat dari peralatan sensornya :

- a. *Recloser* dengan sensor arus listrik
- b. *Recloser* dengan sensor tegangan

2.11.3 Fuse cut out (FCO)

Fuse Cut Out merupakan sebuah alat pemutus rangkaian listrik pada jaringan distribusi yang bekerja dengan cara meleburkan *fuse link*. Perlengkapan fuse ini terdiri dari sebuah rumah fuse (*fuse support*), pemegang fuse (*fuse holder*) dan *fuse link* sebagai pisau pemisahannya. Dalam sistem distribusi, FCO digunakan sebagai peralatan proteksi pada transformator distribusi dan rangkaian cabang pada saluran distribusi. Berdasarkan SPLN 64: 1985 jenis pelebur dibagi menjadi dua, yaitu :

- a. Pelebur jenis pembatasan arus
- b. Pelebur jenis letupan



Gambar 2.26 Pelebur Jenis Pembatas Arus (kiri) dan Pelebur Jenis Letupan (kanan)

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

Dari jenis diatas, pelebur jenis letupan lebih disarankan untuk pasangan luar/*outdoor* sebagai pengaman trafo distribusi maupun cabang saluran udara.

Prinsip kerja FCO adalah ketika terjadi gangguan arus lebih maka *fuse link* pada FCO akan putus. Seperti yang ada pada *SPLN 64* tabung ini akan lepas dari pegangan atas dan menggantung di udara, sehingga tidak ada arus yang mengalir ke sistem. Adapun cara perlingungannya adalah dengan melelehkan *fuse link*, sehingga dapat memisahkan antara bagian yang normal dan yang terganggu. Sedangkan *fuse link* itu sendiri adalah elemen inti dari FCO yang terletak di dalam *fuse holder* dan mempunyai titik lebur tertentu. Jika beban jaringan sesudah FCO menyentuh titik lebur tersebut, maka *fuse link* akan meleleh dan akan memisahkan jaringan sebelum FCO dengan jaringan sesudah FCO.

Pemilihan arus pengenal atau *rating fuse link* dari FCO untuk saluran percabangan sangat penting untuk dilakukan. Salah satu hal yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan arus pengenal *fuse link* untuk proteksi saluran cabang adalah besarnya arus beban maksimum yang akan atau dapat mengalir pada saluran cabang tersebut. Terdapat dua buah karakteristik fuse yang banyak digunakan yaitu :

- a. *Fuse Link* tipe K (pemutusan cepat).
- b. *Fuse Link* tipe T (pemutusan lambat).

Untuk menentukan arus pengenal atau *rating fuse link* dapat dilakukan sebagai berikut :

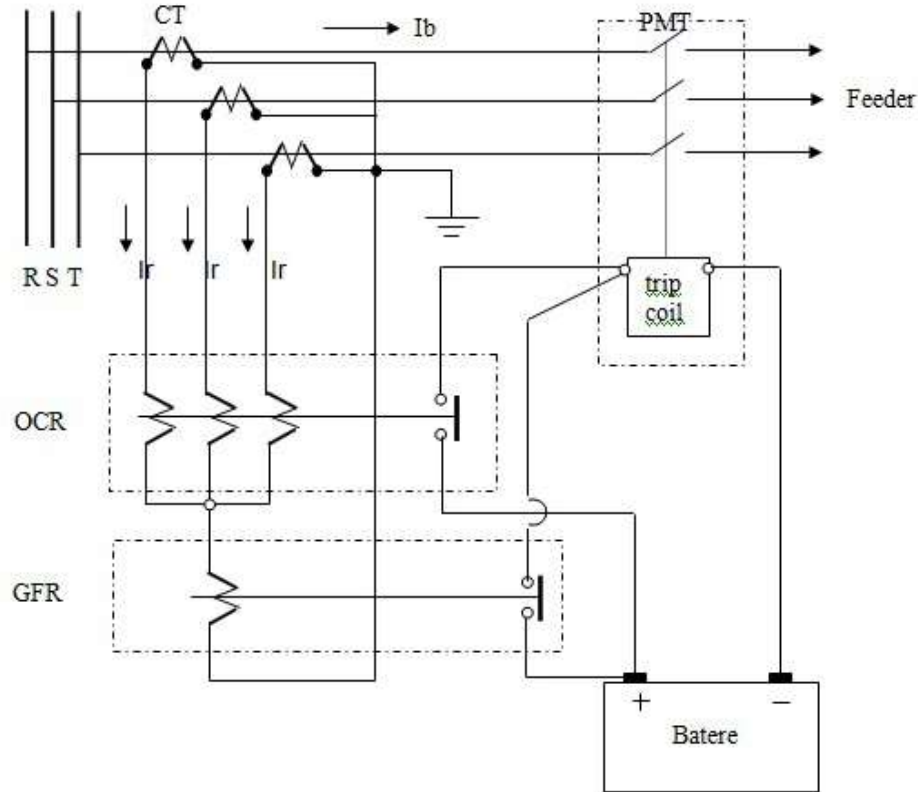
- a. Pilih *fuse link* yang sesuai dengan standar PLN, dalam hal ini SPLN 64:1985 untuk menentukan pilihan.
- b. Koordinasi yang sebaik-baiknya dengan alat pengaman lain seperti *Recloser*.
- c. Perhatikan batas ketahanan penghantar (KHA) terhadap arus terus menerus, terutama terhadap arus hubung singkat.

2.12 Rele Pengaman

2.12.1 Rele arus lebih (over current relay)

Rele arus lebih atau yang lebih dikenal dengan *Over Current Relay* (OCR) adalah suatu rele yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman (*setting*) tertentu. Rele ini digunakan sebagai

pengaman utama pada jaringan tegangan menengah untuk mengamankan gangguan antar fasa (dua fasa dan tiga fasa).



Gambar 2.27 Rangkaian Rele pada PMT (OCR dan GFR)

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembidangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

Dari **gambar 2.27** diatas, dapat dijelaskan cara kerja OCR sebagai berikut :

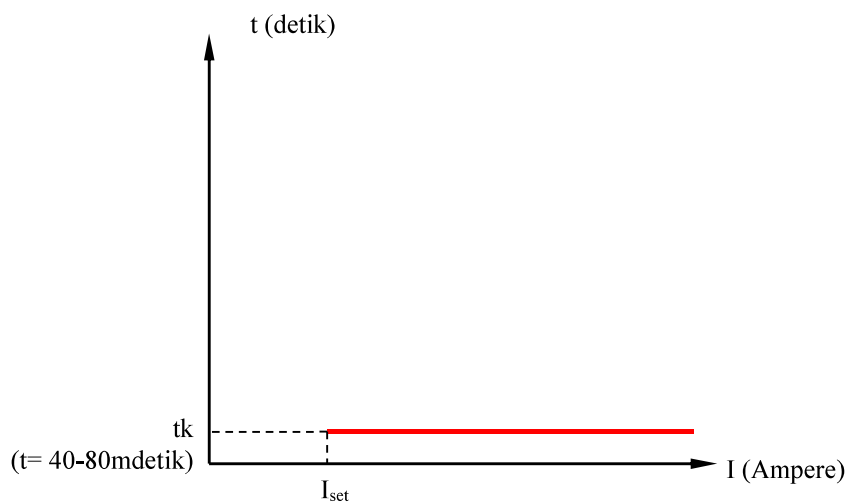
- a. Pada kondisi normal arus beban I_b mengalir pada jaringan, dan oleh trafo arus ini ditransformasikan ke besaran sekunder (I_r). Arus I_r mengalir pada kumparan relay, tetapi karena arus ini lebih kecil dari harga *setting*, maka relay tidak bekerja.
- b. Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus I_b akan naik dan menyebabkan arus I_r juga naik. Apabila arus I_r naik melebihi arus yang ditetapkan

(*setting*), maka relay akan bekerja, dan memberi perintah kepada trip coil untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga jaringan yang terganggu terpisah dari sumber.

Terdapat beberapa macam karakteristik dari rele arus lebih, yaitu:

a. Rele arus lebih waktu seketika (*Instantaneous relay*)

Merupakan rele tanpa waktu tunda dengan waktu kerja yang cepat sebesar 40-80 mili detik. Waktu ini dapat lebih besar tergantung pada waktu membukanya PMT (rata – rata waktu sampai membukanya PMT = 100 mili detik).



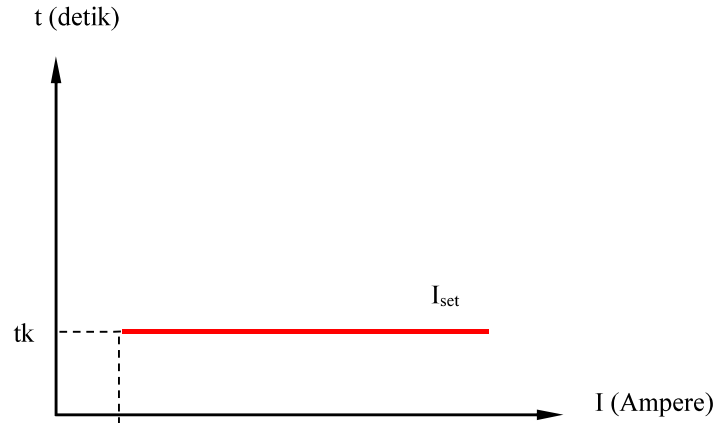
Gambar 2.28 Karakteristik Kurva *Instantaneous*

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Edisi 1, 2012

b. Rele arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*)

Merupakan rele dengan jangka waktu tunda tertentu dan tidak tergantung pada besarnya arus gangguan. Jika arus gangguan telah

melebihi arus *settingnya*, rele akan bekerja dengan waktu yang telah ditentukan.

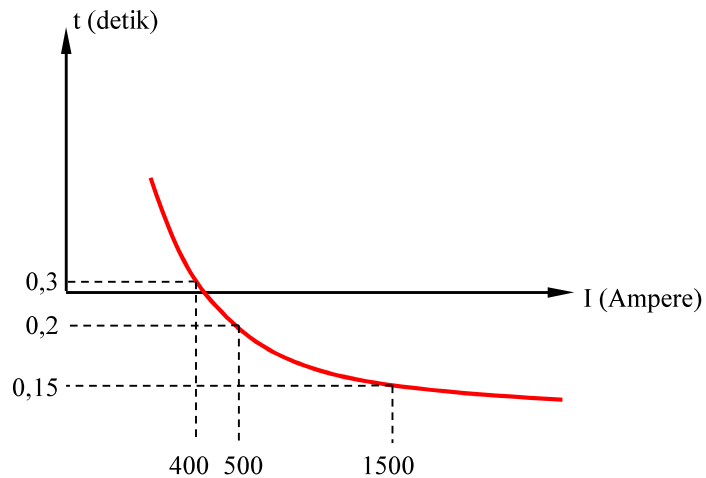


Gambar 2.29 Karakteristik Kurva *Definite*

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Distribusi Edisi 1, 2012

c. Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Time*)

Merupakan rele dimana nilai waktu tundanya mempunyai karakteristik berbanding terbalik terhadap arus gangguan yang menggerakkan rele. Jadi semakin besar arus gangguan maka waktu waktu rele bekerja semakin cepat.



Gambar 2.30 Karakteristik Kurva *Inverse*

Sumber : PT. PLN (Persero) Pusdiklat “Konsep Dasar Jaringan Distribusi” Materi Pembedangan Bidang Operasi Distribusi Distribusi Edisi 1, 2012

Pada rele jenis ini karakteristik kecuraman waktu-arus dikelompokkan menjadi empat macam, yaitu :

a. *Standard Inverse*

b. *Very Inverse*

c. *Extremely Inverse*

d. *Long Inverse*

Persamaan untuk menentukan nilai setelan waktu/ *time multiple setting*(TMS) pada karakteristik *inverse time* adalah sebagai berikut :

$$\text{TMS} = \frac{t \times \left[\left[\frac{I_{hs}}{I_{SET}} \right]^\alpha - 1 \right]}{\beta} \quad (2.57)$$

$$t = \frac{\text{TMS} \times \beta}{\left[\left[\frac{I_{hs}}{I_{SET}} \right]^\alpha - 1 \right]} \quad (2.58)$$

Keterangan:

t = Waktu Kerja Rele

I_{hs} = Arus Hubung Singkat

TMS = *Time Multiple Setting*

I_{SET} = Arus *Setting* Rele

α, β = Konstanta, lihat tabel 2.3

Tabel 2.3 Nilai Konstanta α dan β OCR tipe *inverse time*

Nama Kurva	A	B
Standard Inverse	0,02	0,14
Very Inverse	1	13,5
Extremely Inverse	2	80
Long Inverse	1	120

Sumber : Suhadi, 2015

2.12.2 Rele gangguan tanah (ground fault relay)

Rele gangguan tanah yang lebih dikenal dengan *Ground Fault Relay* (GFR) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan OCR namun memiliki kegunaan yang berbeda. Bila rele OCR mendeteksi adanya hubung singkat antar fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah.

Pada kondisi normal beban seimbang, maka pada kawat netral tidak timbul arus dan relay GFR tidak dialiri arus. Bila terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga relay hubung tanah akan bekerja.

2.12.3 Rele penutup balik (*reclosing relay*)

Relai penutup balik pada dasarnya bukan merupakan jenis relai pengaman gangguan, namun dapat digabungkan / dipasangkan dengan relai hubung tanah atau relai arus lebih agar jika terjadi gangguan yang bersifat sementara / temporer maka CB dapat masuk kembali secara otomatis. Relai penutup balik memiliki dua elemen utama, yaitu :

a. *Dead Time Element (DT)*

Berwujud saklar tunda waktu “*On Delay*” yang waktu tundanya dapat disetel menurut kebutuhan. DT berfungsi untuk menentukan selang waktu dari saat CB *trip* sampai saat CB diperintahkan untuk masuk kembali, dan *dead time element* ini dimaksudkan agar CB mempunyai kesempatan untuk memadamkan busur api yang terjadi saat kontak – kontak CB membuka.

b. *Blocking Time Element (BT)*

Berwujud suatu saklar tunda waktu “*Off Delay*” yang waktu tundanya dapat disetel menurut kebutuhan. Berfungsi untuk menahan element *dead time* selama beberapa waktu setelah bekerja memasukkan CB. *Blocking time element* ini dimaksudkan untuk memberi kesempatan CB agar siap melakukan satu siklus *auto reclosing* berikutnya.

Berdasarkan jumlah siklus *reclosing* kepada CB, terdapat dua macam rele penutup balik, yaitu :

a. *Single-shot Reclosing Relay*

Rele jenis ini hanya dapat memberikan perintah *reclosing* kepada pemutus tenaga sebanyak satu kali. Jika terjadi gangguan pada saat rele penutup balik sebelum *blocking time* maka pemutus tenaga akan *trip* dan *lock out*.

b. *Multi-shot Reclosing Relay*

Rele jenis ini dapat memberikan perintah *reclosing* ke pemutus tenaga lebih dari satu kali, umumnya tiga kali. Bila terjadi gangguan, relai OCR/GFR memberikan perintah *trip* ke pemutus tenaga. Pada saat yang sama juga mengerjakan *reclosing relay*. Setelah *dead time t1* yang sangat pendek

(sekitar 0,6 detik), relai memberi perintah *reclose* ke pemutus tenaga. Jika gangguan masih ada, pemutus tenaga akan *trip* kembali dan *reclosing relay* akan melakukan *reclose* yang kedua setelah *dead time t2* yang cukup lama (sekitar 15-60 detik). Jika gangguan masih ada, maka pemutus tenaga akan *trip* kembali dan *reclosing relay* akan melakukan *reclose* yang ketiga setelah *dead time t3*. Bila gangguan juga masih ada dalam periode *blocking time* maka pemutus tenaga akan *trip* lalu *lock-out*.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu

Penelitian ini akan dilakukan di PT PLN (Persero) ULP NATAL UP3 Padangsidimpuan Wilayah Sumatera Utara. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2020 sampai dengan akhir bulan Juli 2020.

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan di gunakan dalam penelitian ini adalah

1. Studi Pustaka

Dalam metode studi pustaka, penulis mencari artikel, sumber, maupun literatur lainnya untuk memperoleh informasiserta data yang berkaitan dengantopologi jaringan, peralatan pengaman dan data koordinasi setting proteksi OCR dan GFR, pustaka yang digunakan merupakan pustaka milik pribadi dan milik perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi. SPLN (Standar Perusahaan Listrik Negara) tentang Jaringan Distribusi, Tugas akhir yang disusun oleh Anita Rosadi, Bagus Warseno, dan Dedi Firmanto dengan judul **“RANCANG BANGUN SIMULATOR KERJA *RECLOSER* DAN *SECTIONALIZER* PADA PENYULANG SRL-4 GARDU INDUK SRONDOL BERBASIS PLC DAN SCADA”**

2. Metode Observasi

Metode Observasi adalah suatu cara untuk mengumpulkan data dengan pengamatan secara langsung kepada suatu objek yang diteliti (Idrus dalam Amalia, 2013). Dalam hal ini penulis mengamati tentang topologi jaringan ,peralatan proteksi dan *setting* peralatan proteksi yang digunakan pada penyulang YB-02 PLN ULP Natal.

3.3 Diagram Alur

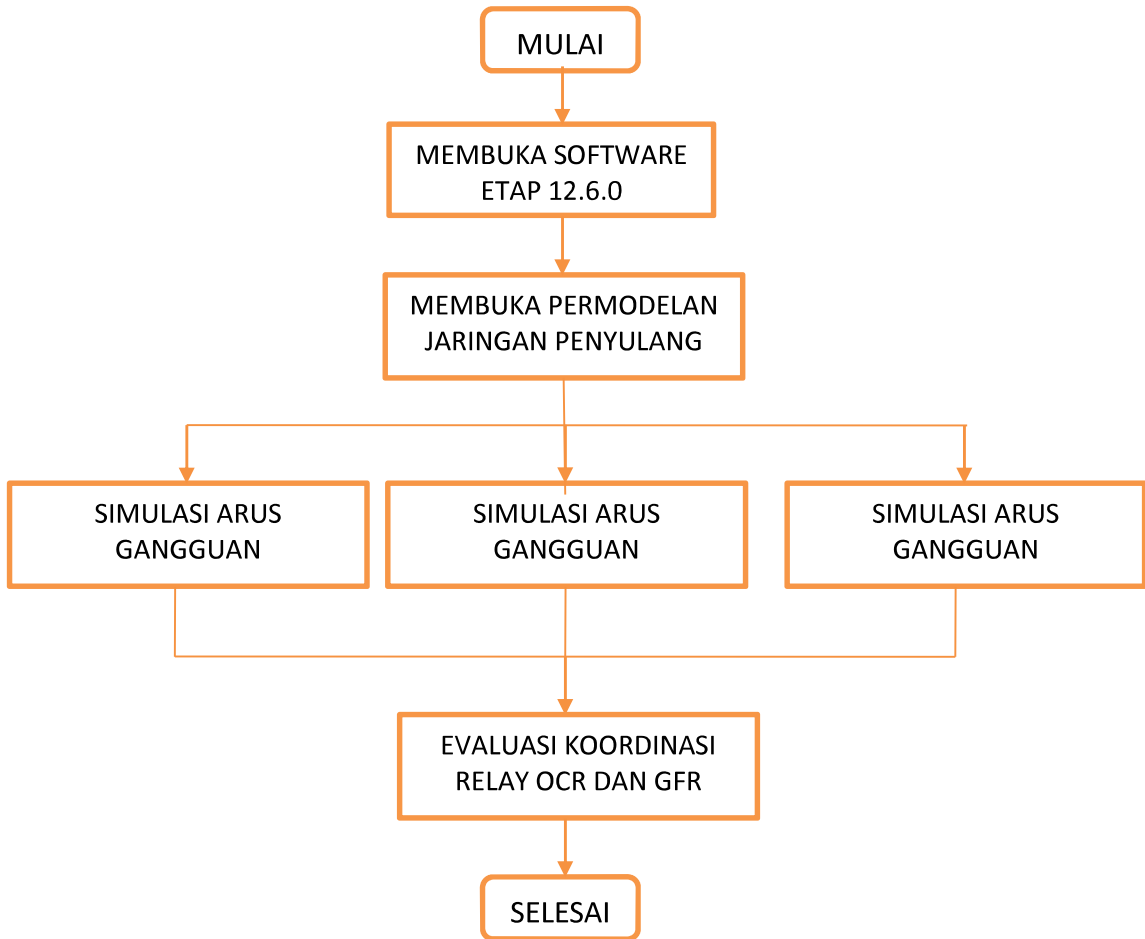


Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian
Sumber Penulis, 2020

3.3.1 Diagaram Alur Penelitian

Gambar 3.1 merupakan diagram alur pelaksanaan penelitian secara garis besar, penyusunan penelitian ini digambarkan pada diagram alur (*flowchart*). Dimulai dengan melakukan survey data di PT PLN (Persero) ULP Natal. Setelah data terkumpul membuat permodelan jaringan ULP Natal pada software ETAP. Kemudian tahapan selanjutnya yakni dengan memasukkan data eksisting kedalam permodelan jaringan yang sudah dibuat. Selanjutnya dengan data eksisting yang sudah diperoleh maka dibuat perhitungan arus hubung singkat secara manual yang terjadi di *system* distribusi ULP Natal. Kemudian mensimulasikan arus hubung singkat pada permodelan yang sudah di buat menggunakan Software ETAP. Kemudian dilakukan perbandingan hasil perhitungan manual dengan simulasi ETAP. Setelah arus hubung singkat sudah disimulasikan maka dibuatkan setting proteksi relay OCR dan GFR secara manual kemudian hasil dari perhitungan tersebut di input ke dalam permodelan jaringan ETAP yang sudah dibuat. Selanjutnya dilakukan simulasi koordinasi proteksi relay OCR dan GFR dalam mengamankan gangguan hubungsingkat yang terjadi di jaringan system distribusi ULP Natal. Evaluasi hasil simulasi koordinasi relay OCR dan GFR pada hasil eksisting terhadap reseting yang sudah dibuat.

3.3.2 Diagram Alur Simulasi Software Etap



Gambar 3.2 *Flowchart* simulasi pada ETAP
Sumber: Penulis, 2020

Gambar 3.2 Merupakan diagram alur simulasi koordinasi relay OCR dan GFR pada software ETAP, Dimulai dengan membuka software ETAP 12.6.0 kemudian membuka permodelan jaringan penyulang YB-02, kemudian melakukan 3 simulasi arus gangguan hubung singkat yakni :

1. Simulasi Gangguan hubung singkat 1 Fasa Ketanah
2. Simulasi Gangguan hubung singkat Antar Fasa

60 MVA ,transformator distribusi 16-250 kVA,*Circuit Breaker,Recloser,Load Breaker Switch,Disconnecting Switch*,kawat penghantar beserta jenis dan panjangnya.

3.4.2 Transformator Daya

Pada Gardu Induk Panyabungan terdapat satu transformator yang aktif digunakan yaitu Trafo 1 berkapasitas 60 MVA yang digunakan untuk melayani penyulang YB-02. Data spesifikasi trafo 1 berdasarkan *nameplate* dapat dilihat pada tabel 3.1. Sedangkan data pendukung lainnya dengan dasar dari Area Pengatur Distribusi (APD) UIW Sumatera Utara, adalah sebagai berikut:

- a. Arus di sisi 20kV $I_n = 866 \text{ A}$
- b. Tahanan pentanahan $R_n = 0,3 \Omega$

Tabel 3.1 Data Nameplate Trafo Tenaga I pada Gardu Induk Panyabungan

<i>Merk</i>	Trafindo			
Tahun Pembuatan	2018			
Kapasitas	30 MVA			
Pendingin	ONAN / ONAF 60/100%			
Frekuensi	50 Hz			
<i>Connection Symbol</i>	Ynyn+d0			
<i>Primer</i>	115.5 A			
<i>Secunder</i>	787.3 A			
<i>TAP Changer</i>	VOLT		MVA	<i>SHORT CIRCUIT IMPEDANCE %</i>
	HV	LV		
1	168750	22000	30	10.652
14	150000	22000	30	12.454
27	131250	22000	30	14.198

Sumber : PT. PLN (Persero) ULP NATAL, 2018

3.4.3 PMT *Outgoing* Penyulang YB-02

Data eksisting rele proteksi pada PMT *outgoing* penyulang YB-02 adalah sebagai berikut :

a. Spesifikasi OCR

Merek rele	=ALSTOM
Tipe rele	=MCGG 82
<i>Setting</i> $I_0 >$	= 480 A
<i>Setting</i> $I >>$	=2400 A
TMS	= 0,225
Kurva	=IEC SI
<i>Ratio</i> CT	= 600/5 A

b. Spesifikasi Setting GFR

Merek rele	=ALSTOM
Tipe rele	=MCGG 82
<i>Setting</i> $I_0 >$	= 240 A
<i>Setting</i> $I >>$	= 1920 A
TMS	= 0,25
Kurva	=IEC SI
<i>Ratio</i> CT	= 600/5 A

3.4.4 Panjang Jaringan

Single line diagram YB-02 pada gambar 3.1. diatas, dapat diketahui panjang pernghantar sebagai berikut :

- a. PMT YB-02 hingga *Recloser*Kayu Laut = 10,6 km

- b. *Recloser* kayu laut hingga *Recloser* S.Gampir = 3,15 km
- c. *Recloser* S.Gambir hingga *Recloser*Natal = 10,75 km
- d. *Recloser* Natal hingga ujung jaringan primer =10.8 km

Ujung jaringan primer yang dimaksud adalah saluran dari tiang M3-146-93-15 hingga SUTM terjauh.

3.4.5 Permodelan ETAP

Penulisan skripsi ini menggunakan simulasi *software* ETAP versi 12.6.0. *Software* ETAP adalah *software* yang digunakan pada bidang kelistrikan untuk mensimulasikan system tenaga listrik, dari system pembangkitan kemudian ke system jaringan Tegangan Tinggi(JTT)/Sistem transmisi sampai ke sistem distribusi Jaringan Tegangan Menengah(JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Pada penggunaan simulasi pada *software* ini akan saya gunakan sebagai acuan simulasi terhadap koordinasi proteksi *relay* OCR dan GFR dalam mengamankan gangguan hubung singkat pada jaringan Tegangan Menengah (JTM). Pertama dalam pembuatan simulasi koordinasi proteksi *relay* yakni dengan membuka *software* ETAP 12.6.0 kemudian membuat gambar *Single Line Diagram* penyulang YB-02. Tingkat akurasi dari perhitungan *software* ETAP 12.6.0 sangat baik karena hasil yang didapat lebih akurat daripada perhitungan manual Berikut adalah langkah untuk mengoperasikan permodelan ETAP.

3.4.6 Pengoperasian Software ETAP 12.6.0



Gambar 3.4 Logo ETAP 12.6.0

Sumber: Penulis, 2020

Klik dua kali pada logo jendela windows sesuai dengan tampilan gambar 3.4.



Gambar 3.5 Proses Loading ETAP 12.6.0

Sumber: Penulis, 2020

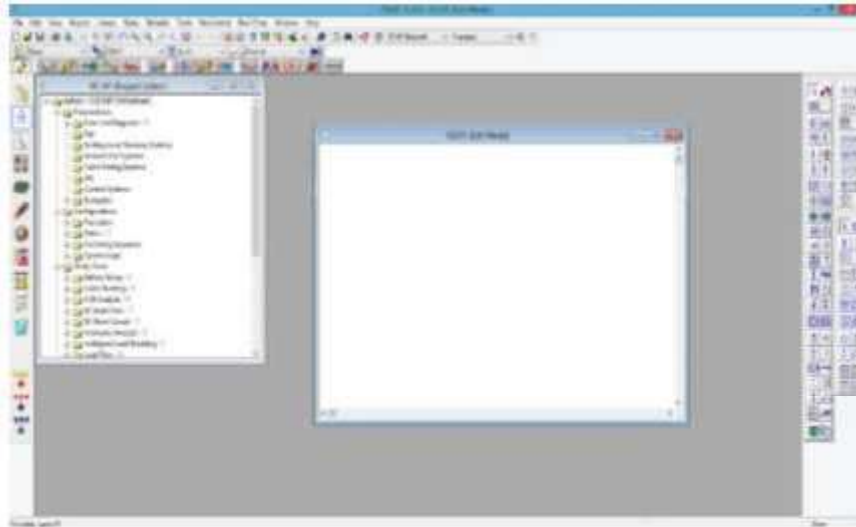
Gambar 3.5 adalah proses *loading* setelah klik dua kali logo ETAP 12.6.0



Gambar 3.6 Membuat Project baru

Sumber: Penulis, 2020

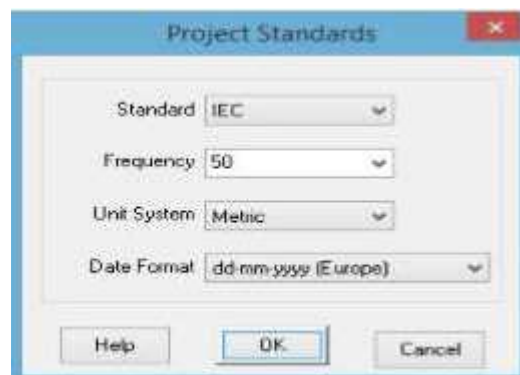
Pada gambar 3.6 untuk membuat *project* baru dengan menggunakan aplikasi ETAP 12.6.0 dengan klik *File -> New Project*.



Gambar 3.7 Area Kerja ETAP 12.6.0

Sumber: Penulis, 2020

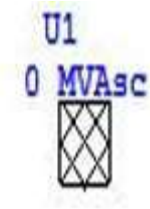
Gambar 3.7 Menampilkan area kerja dari aplikasi ETAP 12.6.0 pengisian nama sesuai dengan nama project yang akan dibuat. Untuk letak *directory* adalah tempat penyimpanan project yang akan dibuat. Setelah terisi semua, maka Klik OK.



Gambar 3.8 Memilih Standard

Sumber: Penulis, 2020

Gambar 3.8 terdapat *standard* yang harus dipilih pada saat memulai pembuatan proyek ETAP 12.6.0 jika kita ingin memilih *standard* sesuai dengan keinginan, maka klik *Project -> Standards*. *Standard* yang pilih IEC dengan frekuensi 50 Hz, menggunakan unit *system Metric*.



Gambar 3.9 Power Grid

Sumber: Penulis, 2020

Gambar 3.9 *Power Grid* untuk membuat Gardu Induk pada simulasi, pilih *power Grid*, kemudian letakkan pada area kerja. Pengisian data pada *Power Grid* adalah :

1. *Operating Mode* : *Swing*
2. *Rated kV* : 20 kV



Gambar 3.10 Lumped Load

Sumber: Penulis, 2020

Untuk mengisi beban pada simulasi, pilih *Lumped Load*, letakkan pada area kerja seperti gambar 3.10

Pengisian data pada *Lumped load* adalah :

1. ID : Sesuai no beban gardu pada tiap rayon

2. *Rating* kV: 20 kV
3. *Rating* MVA : Sesuai dengan beban gardu yang digunakan



Gambar 3.11 Cable
Sumber: Penulis, 2020

Untuk mengisi penghantar tegangan menengah pada simulasi, pilih *Cable*, letakkan pada area kerja seperti gambar.

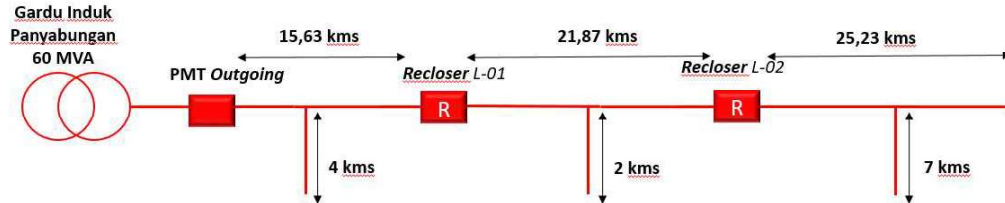
Pengisian data pada *Cable* adalah :

1. ID : Sesuai no tiang JTM pada tiap penyulang
2. *Length* : Jarak antar tiang (m)
3. Parameter : Sesuai dengan penghantar yang digunakan

BAB 4

PEMBAHASAN

4.1 Single Line Diagram Jaringan



Gambar 4.1 Single Line Diagram Penyulang YB-02 PLN ULP Natal

Sumber : PT PLN Persero ULP Natal

Berikut ini merupakan Single Line diagram PT PLN ULP Natal dengan panjang jaringan sebesar 60 MVA suppai dari Gardu Induk Panyabungan dan dilengkapi peralatan proteksi seperti PMT, dan *Recloser*.

4.2 Perhitungan Besaran Dasar

Besaran dasar yang digunakan oleh PT. PLN (Persero) pada sistem distribusi adalah 20 kV / 100 MVA. Jadi, dapat dihitung untuk arus dasar (I_{base}) dan impedansi dasar (Z_{base}) dengan menggunakan persamaan (2.54) dan (2.55) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{base\ 20\ kV} &= \frac{\text{kVA dasar 3 fasa}}{\sqrt{3}\ \text{kV dasar L-L}} \\ &= \frac{100 \cdot 10^3}{20\sqrt{3}} \\ &= 2886,84\ \text{A} \end{aligned}$$

$$Z_{base\ 20\ kV} = \frac{(\text{kV dasar L-L})^2}{\text{MVA dasar 3 fasa}}$$

$$= \frac{20^2}{100} = 4 \Omega$$

4.3 Perhitungan Impedansi Jaringan

4.3.1 Impedansi Sumber

Berdasarkan data pada tabel 3.5, nilai dari impedansi sumber dapat diketahui dengan mencari nilai MVA_{TT} :

$$MVA_{TT} = \sqrt{3} \times V \times I_{HS30}$$

$$MVA_{TT} = \sqrt{3} \times 150000 \times 15960,09$$

$$MVA_{TT} = 4146,553 \text{ MVA}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.24) impedansi sumber sisi 150 kV adalah :

$$X_{S_{TT}} = \frac{kV^2}{MVA_{TT}}$$

$$X_{S_{TT}} = \frac{150^2}{4146,553}$$

$$X_{S_{TT}} = j5,4262 \Omega$$

Impedansi sumber sisi 20 kV :

$$X_{S_{TM}} = \frac{kV_{TM}^2}{kV_{TT}^2} X_{S_{TT}}$$

$$X_{S_{TM}} = \frac{20^2}{150^2} \cdot j5,4262$$

$$X_{S_{TM}} = j0,09647 \Omega$$

4.3.2 Impedansi Transformator

Berdasarkan data *nameplate* trafo GI Panyabungan pada tabel 3.1, impedansi trafo tersebut sebesar 12,454 %. Data tersebut merupakan nilai besaran

per-satuan unit dari peralatan itu sendiri. Dikarenakan peralatan terhubung pada sistem PT.PLN (Persero), maka perlu dikoreksi nilai tersebut dengan menggunakan besaran dasar yang digunakan pada sistem. Untuk Impedansi trafo urutan nol karena memiliki belitan Yyd maka ($Z_{T0} = 3x Z_{T1}$). Dengan menggunakan persamaan (2.56) diperoleh besaran dasar baru sebagai berikut :

$$Z_{n(PU)} = Z_{o(PU)} \left[\frac{kV_{Bo}}{kV_{Bn}} \right]^2 \left[\frac{kVA_{Bn}}{kVA_{Bo}} \right]$$

$$Z_{n(PU)} = 0,12454 \left[\frac{22}{20} \right]^2 \left[\frac{100000}{30000} \right]$$

$$Z_{n(PU)} = 0,5023$$

$$Z_{n(PU)} = Z_{T1(PU)} = Z_{T2(PU)} = 0,5023$$

$$Z_{T0(PU)} = 3 \times Z_{T1(PU)}$$

$$Z_{T0(PU)} = 3 \times 0,5023$$

$$Z_{T0(PU)} = 1,5069$$

Dengan menggunakan persamaan (2.26) impedansi trafo pada sistem dalam ohm (Ω) adalah :

$$Z_{T1} = Z_{T2} = \% \cdot \frac{kV^2}{MVA}$$

$$Z_{T1} = Z_{T2} = 0,5023 \cdot \frac{20^2}{100}$$

$$Z_{T1} = Z_{T2} = j2,0092 \Omega$$

$$Z_{T2} = j2,0092 \Omega$$

$$Z_{T0} = 3 \times Z_{T1}$$

$$Z_{T0} = 3 \times j2,0092 \Omega$$

$$Z_{T0} = j6,0277 \Omega$$

4.3.3 Impedansi Saluran

Panjang saluran distribusi terjauh yang akan sebesar 62.5 km (AAAC 240 mm²) dan untuk panjang saluran cabang yang akan dianalisis adalah 4.3 km (AAAC 240 mm²). Dengan menggunakan data pada tabel 3.2 maka dapat diketahui impedansi saluran sebagai berikut :

Penghantar AAAC 240 mm²

$$Z_{sal1} = Z_{sal2} = 62,5 (0,1344 + j0,3158)$$

$$= (2,8963 + j6,8055) \Omega$$

$$Z_{sal0} = 62,5(0,1344 + j0,3158)$$

$$= (8,4692 + j20,3324) \Omega$$

Dari perhitungan tersebut dapat ditentukan nilai impedansi sepanjang saluran yang dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Tabel 4.1 Impedansi Saluran Urutan Positif, Negatif dan Nol

Panjang Jaringan		Urutan Positif dan Negatif [Ohm]		Urutan Nol [Ohm]	
%	KM	R	X	R	X
0	0.00	0.00	0.00	0.00	j0.00
5	3.13	0.42	j0.99	2.67	j3.69
10	6.25	0.84	j1.97	5.34	j7.37
15	9.38	1.26	j2.95	8.00	j11.05
20	12.50	1.68	j3.95	10.68	j14.74
25	15.63	2.10	j4.91	13.34	j18.43

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.1 Impedansi Saluran Urutan Positif, Negatif dan Nol

Panjang Jaringan		Urutan Positif dan Negatif [Ohm]		Urutan Nol [Ohm]	
%	KM	R	X	R	X
30	18.75	2.52	j5.91	16.01	j22.12
35	21.88	2.94	j6.91	18.68	j25.80
40	25.00	3.36	j7.89	21.35	j29.49
45	28.13	3.78	j8.88	24.01	j33.17
50	31.25	4.20	j9.86	26.69	j36.86
55	34.38	4.62	j10.84	29.35	j40.55
60	37.50	5.04	j11.84	32.02	j44.23
65	40.63	5.46	j12.84	34.69	j47.92
70	43.75	5.88	j13.81	37.36	j51.61
75	46.88	6.30	j14.80	40.03	j55.29
80	50.00	6.72	j15.79	42.70	j58.90
85	53.13	7.13	j16.77	45.37	j62.67
90	56.25	7.55	j17.76	48.04	j66.65
95	59.38	7.98	j18.75	50.71	j70.04
100	62.50	8.99	j19.73	53.37	j73.73

Sumber: Penulis, 2020

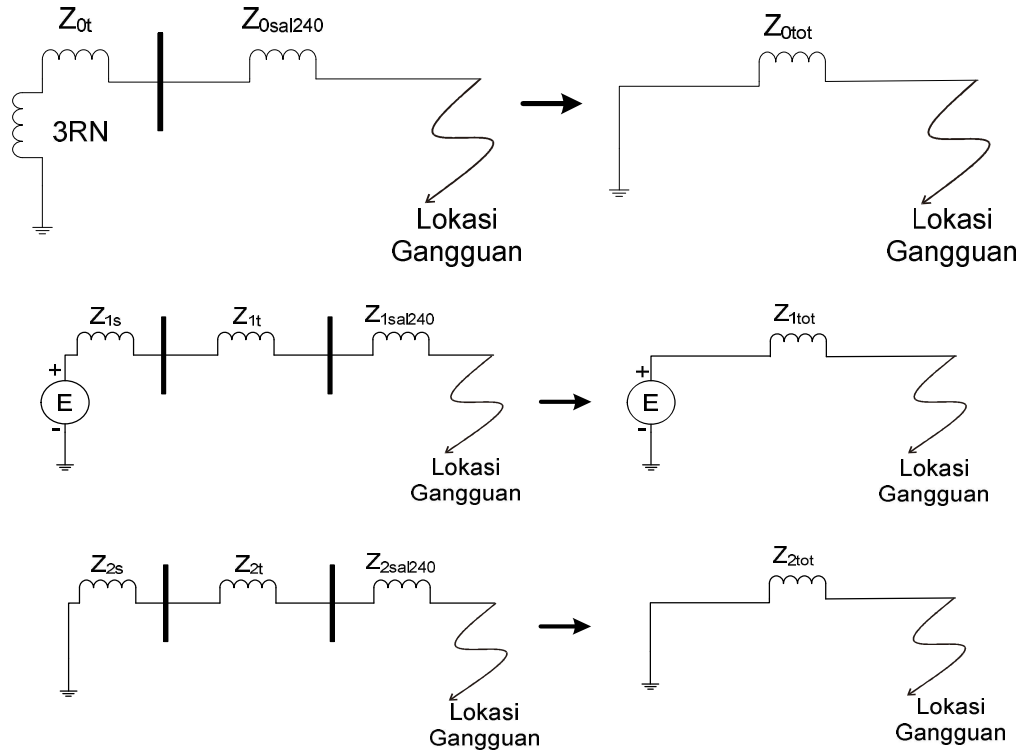
Tabel 4.2 Impedansi Cabang Urutan Positif, Negatif dan Nol

Panjang Jaringan		Urutan Positif dan Negatif [Ohm]		Urutan Nol [Ohm]	
%	KM	R	X	R	X
6.57	4.11	0.55	1.30	3.51	4.84
52.50	32.81	4.41	10.36	28.02	38.71
92.50	57.81	7.77	18.26	49.37	68.20

Sumber: Penulis, 2020

4.3.4 Impedansi Total Jaringan

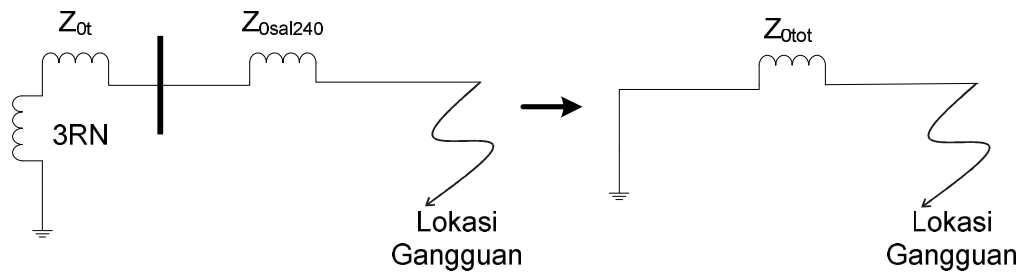
Dengan menggunakan persamaan (2.27) dan (2.28) maka untuk lokasi gangguan sejauh 62.5 km adalah :



Gambar 4.2 Diagram Impedansi Urutan Positif dan Negatif Saluran Utama
Sumber: Penulis, 2020

$$\begin{aligned}
 Z_{1Tot} = Z_{2Tot} &= Z_{1S} + Z_{1t} + Z_{1SAL240} \\
 &= j0,09647 + j2,0092 + 8,99 + j19,73 \\
 Z_{1Tot} = Z_{2Tot} &= 8,99 + j21,84
 \end{aligned}$$

Untuk Z_0 dihitung mulai dari trafo yang ditanahkan :

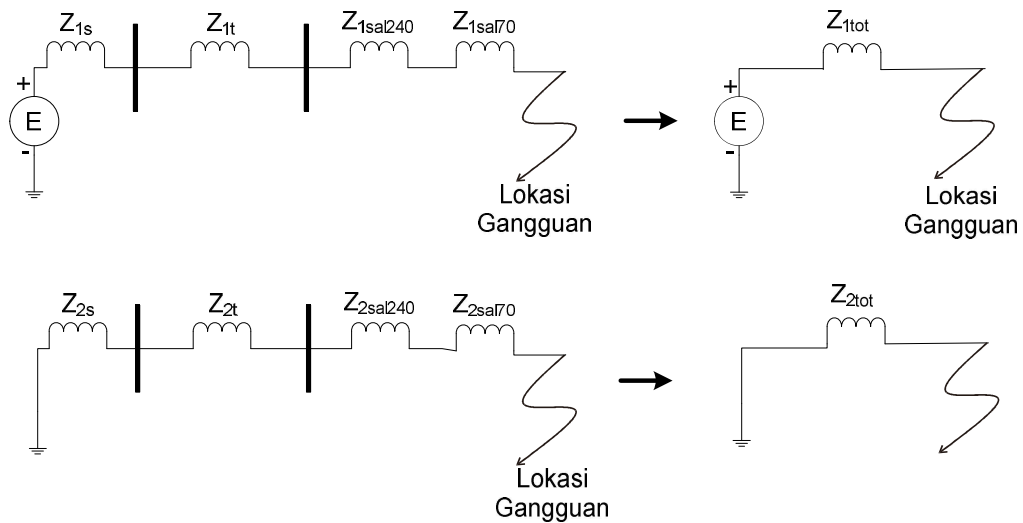


Gambar 4.3 Diagram Impedansi Urutan Nol Saluran Utama

Sumber: Penulis, 2020

$$\begin{aligned}
 Z_{0Tot} &= Z_{0t} + 3RN + Z_{0SAL240} \\
 &= j6,0277 + (3 \cdot 0,3) + (53,37 + j73,73) \\
 &= (54,27 + j79,75) \Omega
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk saluran cabang pada gambar 4.1 dilakukan penjumlahan pada saluran sepanjang 56,25 km (AAAC 240mm²) dengan 1,56 km (AAAC 240 mm²) untuk gangguan terjauh sebagai berikut :



Gambar 4.4. Diagram Impedansi Urutan Positif dan Negatif Saluran Utama hingga Saluran Percabangan

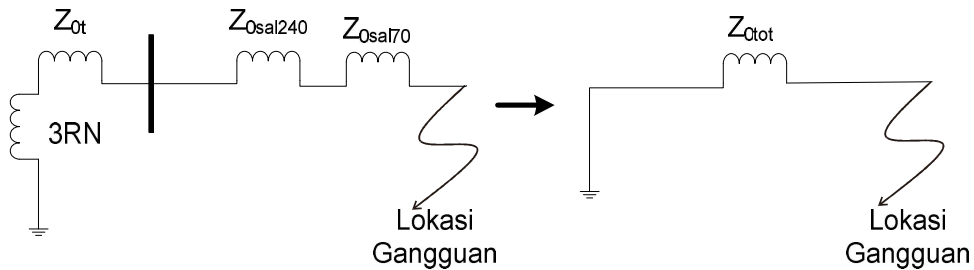
Sumber: Penulis, 2020

$$Z_{1Tot} = Z_{2Tot} = Z_{1S} + Z_{1t} + Z_{1SAL240} + Z_{1SAL240cab}$$

$$= j0,09647 + j2,0092 + (7,55 + j19,87) + (0,22 + j0,5)$$

$$Z_{1Tot} = Z_{2Tot} = (7,77 + j20,37) \Omega$$

Untuk Z_0 dihitung mulai dari trafo yang ditanahkan :



Gambar 4.5. Diagram Impedansi Urutan Nol Saluran Utama hingga Saluran Percabangan

Sumber: Penulis, 2020

$$Z_{0Tot} = Z_{0t} + 3RN + Z_{0SAL240} + Z_{0SAL240Cab}$$

$$= j6,0277 + (3 \cdot 0,3) + (48,04 + j66,65) + (1,33 + j1,55)$$

$$Z_{0Tot} = (50,27 + j74,23) \Omega$$

Dari perhitungan tersebut dapat ditentukan nilai impedansi total sepanjang jaringan yang dapat dilihat pada tabel 4.3 dan tabel 4.4.

Tabel 4.3 Impedansi Total Jaringan Saluran Utama (Ω)

Panjang Jaringan		Urutan Positif dan Negatif [Ohm]		Urutan Nol [Ohm]	
%	KM	R	X	R	X
0	0.00	0.00	2.11	0.90	6.03
5	3.13	0.42	3.09	3.57	9.71
10	6.25	0.84	4.08	6.24	13.40
15	9.38	1.26	5.06	8.90	17.08
20	12.50	1.68	6.05	11.58	20.77

25	15.63	2.10	7.02	14.24	24.46
30	18.75	2.52	8.02	16.91	28.14
35	21.88	2.94	9.01	19.58	31.83
40	25.00	3.36	10.00	22.25	35.52
45	28.13	3.78	10.98	24.91	39.20
50	31.25	4.20	11.97	27.59	42.89
55	34.38	4.62	12.95	30.25	46.58

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.3 Impedansi Total Jaringan Saluran Utama (Ω) (lanjutan)

Panjang Jaringan		Urutan Positif dan Negatif [Ohm]		Urutan Nol [Ohm]	
%	KM	R	X	R	X
60	37.50	5.04	13.95	32.92	50.26
65	40.63	5.46	14.94	35.59	53.95
70	43.75	5.88	15.92	38.26	57.64
75	46.88	6.30	16.91	40.93	61.32
80	50.00	6.72	17.89	43.60	64.93
85	53.13	7.13	18.88	46.27	68.70
90	56.25	7.55	19.87	48.94	72.68
95	59.38	7.98	20.86	51.61	76.07
100	62.50	8.99	21.84	54.27	79.75

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.4 Impedansi Total Jaringan Saluran Percabangan (Ω)

Panjang Jaringan		Urutan Positif dan Negatif [Ohm]		Urutan Nol [Ohm]	
%	KM	R	X	R	X
6.57	4.11	0.55	3.41	4.41	10.87
52.50	32.81	4.41	12.47	28.92	44.74
92.50	57.81	7.77	20.37	50.27	74.23

Sumber: Penulis, 2020

Menghitung impedansi total jaringan dalam besaran per-satuan dapat dilakukan dengan besaran dasar yang telah dihitung.

$$Z_{1Tot(pu)} = Z_{2Tot(pu)} = \frac{Z_{1(\Omega)}}{Z_{Base20kv}}$$

$$Z_{1Tot(pu)} = Z_{2Tot(pu)} = \frac{8,99 + j21,84}{4}$$

$$Z_{1Tot(pu)} = Z_{2Tot(pu)} = (2,25 + j5,46) \text{ pu (untuk panjang jaringan 62,5 km)}$$

$$Z_{0Tot(pu)} = \frac{Z_{0(\Omega)}}{Z_{Base20kv}}$$

$$Z_{0Tot(pu)} = \frac{54,27 + j79,75}{4}$$

$$Z_{0Tot(pu)} = (13,57 + j19,94) \text{ pu (untuk panjang jaringan 62,5 km)}$$

Impedansi total jaringan dalam PU untuk sepanjang saluran penyulang YB-02 bisa dilihat pada tabel 4.5 dan tabel 4.6.

Tabel 4.5 Impedansi Total Jaringan Saluran Utama (PU)

Panjang Jaringan		Urutan Positif dan Negatif [Pu]		Urutan Nol [Pu]	
%	KM	R	X	R	X
0	0.00	0.00	0.53	0.23	1.51
5	3.13	0.11	0.77	0.89	2.43
10	6.25	0.21	1.02	1.56	3.35
15	9.38	0.31	1.26	2.23	4.27
20	12.50	0.42	1.51	2.89	5.19
25	15.63	0.52	1.75	3.56	6.11
30	18.75	0.63	2.00	4.23	7.04
35	21.88	0.73	2.25	4.90	7.96
40	25.00	0.84	2.50	5.56	8.88

45	28.13	0.94	2.75	6.23	9.80
50	31.25	1.05	2.99	6.90	10.72
55	34.38	6.00	3.24	7.56	11.64
60	37.50	1.26	3.49	8.23	12.57
65	40.63	1.37	3.74	8.90	13.49
70	43.75	1.47	3.98	9.57	14.41
75	46.88	1.57	4.23	10.23	15.33
80	50.00	1.68	4.47	10.90	16.23
85	53.13	1.78	4.72	11.57	17.17
90	56.25	1.89	4.97	12.23	18.17

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.5 Impedansi Total Jaringan Saluran Utama (PU) (Lanjutan)

Panjang Jaringan		Urutan Positif dan Negatif [Pu]		Urutan Nol [Pu]	
%	KM	R	X	R	X
95	59.38	1.99	5.21	12.90	19.02
100	62.50	2.25	5.46	13.57	19.94

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.6 Impedansi Total Jaringan Saluran Percabangan (PU)

Panjang Jaringan		Urutan Positif dan Negatif [Pu]		Urutan Nol [Pu]	
%	KM	R	X	R	X
6.57	4.11	0.14	0.85	1.10	2.72
52.5	32.81	1.10	3.12	7.23	11.18
92.5	57.81	1.94	5.09	12.57	18.56

Sumber: Penulis, 2020

4.4 Perhitungan Arus Hubung Singkat

4.4.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat Tiga Fasa

Dengan menggunakan persamaan (2.49):

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1}$$

$$I_{a1} = \frac{1 \angle 0^\circ}{2,2475 + j5,46}$$

$$I_{a1} = 0,169 \angle -67,66^\circ \text{ pu (untuk panjang jaringan 62,5 km)}$$

Hubung singkat tiga fasa pada sistem di ujung jaringan (62,5 km) dapat diketahui dengan memasukan hasil diatas kedalam persamaan (2.50) :

$$I_a = I_{a1}$$

$$I_a = 0,169 \text{ pu}$$

Memasukan nilai diatas ke persamaan (2.53) :

$$I_a = 0,169 \times 2886,4 \text{ A}$$

$$I_a = 488,97 \text{ A}$$

4.4.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat Antar Fasa

Dengan menggunakan persamaan (2.46) :

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{(2,2475 + j5,45) + (2,2475 + j5,45)}$$

$$I_{a1} = 0,085 \angle -67,76^\circ \text{ pu (untuk panjang jaringan 21,55 km)}$$

Hubung singkat antar fasa pada sistem di ujung jaringan (21,55 km) dapat diketahui dengan memasukan hasil diatas kedalam persamaan (2.47).

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2}$$

Substitusi persamaan (2.45) ke persamaan (2.47) :

$$I_b = a^2 I_{a1} + a(-I_{a1})$$

$$I_b = a^2 I_{a1} - a I_{a1}$$

$$I_b = I_{a1}(a^2 - a)$$

$$I_b = 0,085(\sqrt{3})$$

$$I_b = 0,147 \text{ pu}$$

Memasukan nilai diatas ke persamaan (2.53) :

$$I_b = 0,147 \times 2886,4 \text{ A}$$

$$I_b = 425,405 \text{ A}$$

4.4.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Dengan menggunakan persamaan (2.32) :

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{(2,2475 + j5,45) + (2,2475 + j5,45) + (13,56 + j19,93)}$$

$$I_{a1} = 0,0856 \angle -69,31^\circ \text{ pu (untuk panjang jaringan 62,5 km)}$$

Hubung singkat satu fasa ke tanah pada sistem di ujung jaringan (62,5 km)

dapat diketahui dengan memasukan hasil diatas kedalam persamaan (2.33)

$$I_a = 3 I_{a1}$$

$$I_a = 3(0,0856)$$

$$I_a = 0,147 \text{ pu}$$

Memasukan nilai diatas ke persamaan (2.53) :

$$I_b = 0,147 \times 2886,4 \text{ A}$$

$$I_b = 425,405 \text{ A}$$

4.5 Arus Gangguan Hubung Singkat Penyulang YB-02

Setelah dilakukan perhitungan arus hubung singkat pada subbab 4.4, maka dapat diketahui besarnya nilai arus gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa (antar fasa) dan satu fasa ke tanah sepanjang saluran yang dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah.

Tabel 4.7 Arus Hubung Singkat Saluran

Panjang Saluran		Arus Hubung Singkat [Ampere]		
%	KM	3 fasa	2 Fasa	1 Fasa ke Tanah
0	0.00	5550.77	4783.18	3369.34
5	3.13	3699.56	3219.45	2101.75
10	6.25	2775.38	2414.58	1508.57
15	9.38	2222.87	1933.90	1174.93
20	12.50	1839.64	1600.49	958.94
25	15.63	1578.13	1372.97	811.55
30	18.75	1377.10	1198.08	702.29
35	21.88	1219.95	1061.36	618.51
40	25.00	1098.53	955.73	552.95
45	28.13	994.28	865.03	500.24
50	31.25	964.71	839.29	456.47
55	34.38	841.52	732.12	419.74

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.7 Arus Hubung Singkat Saluran (lanjutan)

Panjang Saluran		Arus Hubung Singkat [Ampere]		
%	KM	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa ke Tanah
60	37.50	779.48	678.14	388.30
65	40.63	725.96	631.58	361.25
70	43.75	680.75	592.26	337.85
75	46.88	641.42	558.04	317.30
80	50.00	605.12	526.45	299.21
85	53.13	572.24	497.85	282.80
90	56.25	544.40	473.63	267.76
95	59.38	518.20	450.84	255.06
100	62.50	488.97	425.41	242.22

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.8 Arus Hubung Singkat Saluran Cabang

Panjang Saluran		Arus Hubung Singkat [Ampere]		
%	KM	3 fasa	2 Fasa	1 Fasa ke Tanah
6.57	4.11	3356.28	2919.96	242.22
52.5	32.81	872.02	758.66	242.22
92.5	57.81	529.61	460.76	242.22

Sumber: Penulis, 2020

Dari tabel 4.7, dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan terhadap GI, semakin jauh jarak titik

gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya sedangkan semakin dekat jarak titik gangguan maka semakin besar arusnya.

4.6 Setting OCR dan GFR (*Existing*)

Setting existing OCR dan GFR adalah *setting* yang dipakai oleh PT. PLN (Persero) ULP Natal saat ini. Berdasarkan data lapangan diperoleh nilai setting OCR dan GFR sebagai berikut.

Tabel 4.8 Setting OCR dan GFR (*existing*)

Uraian	OCR			GFR		
	PMT <i>Outgoing</i>	REC L-01	REC L-02	PMT <i>Outgoing</i>	REC L-01	REC L-02
TMS	0.4	0.2	0.09	0.6	0.25	0.09
$I_{SET\ inverse}$ (A)	0.9	0.18	0.12	0.5	0.2	0.2
Rasio CT (A)	400/1	1000/1	1000/1	400/1	1000/1	1000/1
I_{INSTAN} (A)	3200	1100	600	1500	700	366

Sumber: Penulis, 2020

4.6.1 Setting OCR (*Existing*)

Setting dilakukan dari pengaman paling ujung penyulang YB-02 guna mengamankan daerah paling ujung.

a. *Setting Recloser* L-02

Setting arus menggunakan karakteristik *inverse time*. Arus beban maksimal pada *Recloser* sebesar 100 A (bisa dilihat pada tabel 3.7).

$$\begin{aligned}
 I_{set\ primer} &= 1,2 \times I_{beban\ maksimal} \\
 &= 1,2 \times 100 \text{ A} \\
 &= 120 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Arus *setting* yang mengalir pada OCR ($I_{set\ sekunder}$) dimana rasio CT yang terpasang pada OCR *Recloser* adalah (1000/1), berikut ini perhitungannya :

$$\begin{aligned}
I_{\text{set sekunder}} &= I_{\text{set primer}} \times \text{rasio CT} \\
&= 120 \times 1/1000 \\
&= 0,12 \text{ A}
\end{aligned}$$

Untuk *setting* waktu kerja, dilakukan dengan memilih TMS. Waktu kerja (t) dibuat 0,3 detik untuk gangguan antar fasa ($I_{hs \text{ primer antarfasa}}$) terbesar yang terjadi didepannya yaitu pada jarak 60% panjang penyulang atau 37,5 km sebesar 678 A (dapat dilihat pada tabel 3.14). $I_{hs \text{ Recloser}}$ yang dipakai merupakan I_{hs} sekunder sehingga perlu mengkonversi I_{hs} primer menjadi I_{hs} sekunder dimana rasio CT yang terpasang pada *Recloser* yakni (1000/1). Perhitungan konversinya adalah sebagai berikut :

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = I_{hs \text{ primer antarfasa}} \times \text{Rasio CT pada Recloser}$$

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = 678 \times 1/1000$$

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = 0,678 \text{ A}$$

Jadi, dari hasil perhitungan diatas dapat diperoleh nilai dari TMS *Recloser* sebagai berikut :

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

$$I_{hs \text{ sekunder antar fasa}} = 0,678 \text{ A}$$

$$I_{\text{set sekunder}} = 0,120 \text{ A}$$

Sehingga, TMS *Recloser* adalah :

$$TMS = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs \text{ sekunder antarfasa}}}{I_{\text{set sekunder}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = \frac{0,3 \times \left[\left[\frac{0,678}{1,120} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,09$$

Untuk *setting* arus agar OCR bekerja instan dipilih untuk gangguan hubung singkat tiga fasa pada titik depan *Recloser*. Dalam hal ini, dipilih arus gangguan tiga fasa sebesar 680 A (Instan primer) yang terletak di 70% total panjang penyulang pada sisi sekunder CT (Instan sekunder) dimana ratio CT yang digunakan pada *Recloser* yakni (1000/1). Sedangkan, $I_{\text{instan sekunder}}$ yang dilakukan pada OCR adalah :

$$I_{\text{instan primer Recloser}} = I_{\text{hs 3 fasa titik 100 \%}} = 680 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{instan sekunder Recloser}} &= I_{\text{instan primer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 680 \times 1/1000 \\ &= 0,68 \text{ A} \end{aligned}$$

b. *Setting Recloser L-01*

Setting arus menggunakan karakteristik *inverse time*. Arus beban maksimal pada *Recloser* sebesar 160 A (bisa dilihat pada tabel 3.7).

$$\begin{aligned} I_{\text{set primer}} &= 1,05 \times I_{\text{beban maksimal}} \\ &= 1,05 \times 160 \text{ A} \\ &= 180 \text{ A} \end{aligned}$$

Arus setting yang mengalir pada OCR ($I_{\text{set sekunder}}$) dimana rasio CT yang terpasang pada OCR *Recloser* adalah (1000/1), berikut ini perhitungannya :

$$\begin{aligned}
I_{\text{set sekunder}} &= I_{\text{set primer}} \times \text{rasio CT} \\
&= 180 \times 1/1000 \\
&= 0,180 \text{ A}
\end{aligned}$$

Untuk *setting* waktu kerja, dilakukan dengan memilih TMS. Dengan selisih waktu kerja 0,4 detik terhadap *Recloser* L-02 didapat waktu kerja (t) 0,7 detik untuk gangguan antar fasa ($I_{hs \text{ primer antarfasa}}$) terbesar yang terjadi didepannya yaitu pada jarak 30% panjang penyulang atau 18,75 km sebesar 1198 A (dapat dilihat pada tabel 3.14). I_{hs} *Recloser* yang dipakai merupakan I_{hs} sekunder sehingga perlu mengkonversi I_{hs} primer menjadi I_{hs} sekunder dimana rasio CT yang terpasang pada *Recloser* yakni (1000/1). Perhitungan konversi nya adalah sebagai berikut :

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = I_{hs \text{ primer antarfasa}} \times \text{Rasio CT pada Recloser}$$

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = 1198 \times 1/1000$$

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = 1,198 \text{ A}$$

Jadi, dari hasil perhitungan diatas dapat diperoleh nilai dari TMS *Recloser* sebagai berikut :

$$\text{Data} \quad : t \quad = 0,7 \text{ detik}$$

$$I_{hs \text{ sekunder antar fasa}} = 1,198 \text{ A}$$

$$I_{\text{set sekunder}} = 0,18 \text{ A}$$

Sehingga, TMS *Recloser* adalah :

$$\text{TMS} = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs \text{ sekunder antarfasa}}}{I_{\text{set sekunder}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = \frac{0,7 \times \left[\left[\frac{1,198}{0,18} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,2$$

Untuk *setting* arus agar OCR bekerja instan dipilih untuk gangguan hubung singkat tiga fasa pada titik depan *Recloser*. Dalam hal ini, dipilih arus gangguan tiga fasa sebesar 1377 A (Instan primer) yang terletak di 30% total panjang penyulang pada sisi sekunder CT (Instan sekunder) dimana ratio CT yang digunakan pada *Recloser* yakni (1000/1). Sedangkan, $I_{\text{instan sekunder}}$ yang dilakukan pada OCR adalah :

$$I_{\text{instan primer Recloser}} = \text{Ihs 3 fasa titik 30 \%} = 1377 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{instan sekunder Recloser}} &= I_{\text{instan primer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 1377 \times 1/1000 \\ &= 1,377 \text{ A} \end{aligned}$$

c. *Setting PMT Outgoing*

Setting arus menggunakan karakteristik *standard inverse time*. Serta untuk untuk I_{set} nya digunakan arus nominal terkecil pada peralatan proteksi yang terpasang di sisi PMT *outgoing* yakni pada kabel AAAC yang mana mempunyai KHA 480 A akan tetapi karena faktor dari usia kabel, KHAny menjadi 266 A ($I_{\text{nominal terkecil}}$), berikut ini merupakan *setting relay* OCR untuk mengerjakan PMT *outgoing* :

$$I_{\text{set primer}} = 1,05 \times I_{\text{nominal terkecil}}$$

$$= 1,05 \times 266 \text{ A}$$

$$= 280 \text{ A}$$

Arus *setting* yang mengalir pada OCR ($I_{\text{setsekunder}}$) dimana rasio CT yang terpasang pada OCR PMT *Outgoing* adalah (400/1), berikut ini perhitungannya:

$$\begin{aligned} I_{\text{set sekunder}} &= I_{\text{setprimer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 280 \times 1/400 \\ &= 0,70 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk *setting* waktu kerja, dilakukan dengan memilih TMS. Dengan selisih waktu kerja 0,4 detik terhadap *Recloser* L-01 didapat waktu kerja (t) 1,1 detik untuk gangguan antarfasa terbesar di 10 % ($I_{\text{hsprimer antarfasa}} = 4783 \text{ A}$) panjang penyulang atau 0 km. $I_{\text{hsantarfasa}}$ pada sisi PMT *Outgoing* yang dipakai merupakan $I_{\text{hsantarfasa}}$ sisi sekunder CT sehingga perlu mengkonversi $I_{\text{hsantarfasa}}$ primer menjadi $I_{\text{hsantarfasa}}$ sekunder dimana pada sisi PMT outgoing CT yang digunakan adalah 400/1 . Perhitungan konversinya adalah sebagai berikut :

$$I_{\text{hs sekunder antarfasa}} = I_{\text{hs primer antarfasa}} \times \text{Ratio CT sisi PMT outgoing}$$

$$I_{\text{hs sekunder antarfasa}} = 1198 \times 1/400$$

$$I_{\text{hs sekunder antarfasa}} = 2,99 \text{ A}$$

Jadi, dari hasil perhitungan diatas dapat diperoleh nilai dari TMS PMT Outgoing sebagai berikut :

$$\text{Data} \quad : t \quad = 1,1 \text{ detik}$$

$$I_{\text{hs sekunder antar fasa}} \quad = 2,99 \text{ A}$$

$$I_{\text{set sekunder}} = 0,7 \text{ A}$$

Sehingga, TMS PMT adalah :

$$TMS = \frac{t \times \left[\left[\frac{I_{\text{hs sekunder antarfasa}}}{I_{\text{set sekunder}}} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = \frac{1,1 \times \left[\left[\frac{2,99}{0,7} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapat waktu kerja karakteristik *Inverse* untuk *relay* OCR untuk masing-masing PMT *Outgoing*, *Recloser L-01* dan *Recloser L-02* seperti pada tabel 4.9 dibawah.

Tabel 4.9 *Inverse Time* Saluran Utama Penyulang YB-02 *relay*OCR pada PMT dan *Recloser* Hasil Perhitungan (Arus Hubung Singkat Antar Fasa)

%	Km	Hasil itung (A)	Waktu kerja PMT <i>Outgoing</i> (s)	Waktu kerja <i>Recloser</i> L-01 (s)	Waktu kerja <i>Recloser</i> L-02 (s)
0	0	5,550.77	0.05	0	0
5	3.13	3,699.56	0.05	0	0
10	6.25	2,775.38	1.343101	0	0
15	9.38	2,222.87	1.510251	0	0
20	12.5	1,839.64	1.688658	0	0
25	15.63	1,578.13	1.866729	0.03	0
30	18.75	1,377.10	2.059137	0.03	0
35	21.88	1,219.95	2.266329	0.717691477	0
40	25	1,098.53	2.48191	0.760090475	0
45	28.13	994.28	2.728231	0.805242544	0
50	31.25	964.71	2.812645	0.819972231	0
55	34.38	841.52	3.269666	0.893834876	0
60	37.5	779.48	3.59656	0.941262832	0.03

65	40.63	725.96	3.964133	0.989981739	0.03
70	43.75	680.75	4.367035	1.038505102	0.03
75	46.88	641.42	4.819864	1.087790293	0.369586968
80	50	605.12	5.363686	1.140724388	0.383119201
85	53.13	572.24	6.013629	1.196496671	0.397044635

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.9 Inverse Time Saluran Utama Penyulang YB-02 relayOCR pada PMT dan Recloser Hasil Perhitungan (Arus Hubung Singkat Antar Fasa) (Lanjutan)

%	Km	Hasil itung (A)	Waktu kerja PMT <i>Outgoing</i> (s)	Waktu kerja <i>Recloser</i> L-01 (s)	Waktu kerja <i>Recloser</i> L-02 (s)
90	56.25	544.40	6.742188	1.251042443	0.410345373
95	59.38	518.20	7.658909	1.310046084	0.424391137
100	62.5	488.97	9.116465	1.386965236	0.442188916

Sumber: Penulis, 2020

4.6.2 Setting GFR (existing)

Sama halnya dengan OCR, perlu diketahui terlebih dahulu waktu kerja dari GFR ketika terjadi gangguan fasa ke tanah. Hal ini bertujuan untuk mengetahui koordinasi antara PMT dengan *Recloser* saat terjadi gangguan fasa ke tanah. Dengan data *setting* pada tabel 4.8 serta data gangguan hubung singkat pada tabel 4.7, dapat diketahui nilai waktu kerjanya sebagai berikut.

a. *Setting Recloser L-02*

Setting arus primer (*I*_{set primer}) menggunakan karakteristik standard *inverse time*. Untuk *setting* arus GFR ditentukan dari 10% arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah terkecil yakni pada titik 100% panjang saluran ($I_{hs1 \text{ fasa ketanah}} = 242 \text{ A}$)

$$\begin{aligned} I_{\text{set primer}} &= 10\% \times I_{hs \text{ 1 fasa ke tanah terkecil}} \\ &= 10\% \times 242 \text{ A} \\ &= 24,2 \text{ A} \end{aligned}$$

Kemudian karena relay GFR terletak pada sisi sekunder CT maka $I_{\text{set primer}}$ perlu di konversi terlebih dahulu ke sisi sekunder dimana ratio CT yang digunakan pada sisi *Recloser* adalah 1000/1 maka arus yang mengalir pada GFR adalah :

$$\begin{aligned} I_{\text{set sekunder}} &= I_{\text{set primer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 24,2 \times 1/1000 \\ &= 0,0242 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk *setting* waktu kerja, dilakukan dengan memilih TMS. Waktu kerja dibuat 0,4 detik untuk gangguan 1 fasa ke tanah ($I_{hs \text{ satu fasa ketanah}}$) yang terjadi didepannya yaitu pada 65% panjang penyulang atau 40,63 km dimana arus hubung singkat 1 fasa ke tanah terbesar di depan *Recloser* yakni 361,25 A ($I_{hs \text{ primer 1 fasa ketanah}}$). $I_{hs \text{ Recloser}}$ yang dipakai merupakan $I_{hs \text{ sekunder}}$ sehingga perlu mengkonversi $I_{hs \text{ primer}}$ menjadi $I_{hs \text{ sekunder}}$. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tanah}} = I_{hs \text{ primer 1 fasa ke tana}}$$

$$I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tanah}} = 361,25 \times 1/1000$$

$$I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tanah}} = 0,361 \text{ A}$$

Setelah menghitung nilai $I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tanah}}$ ($I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tanah}} = 0,361 \text{ A}$), $I_{set \text{ sekunder}}$ ($I_{set \text{ sekunder}} = 0,0242$) dan menentukan waktu kerja ($t=0,3$) maka untuk perhitungan TMS *Recloser* adalah sebagai berikut :

$$TMS = \frac{t \times \left[\left[\frac{I_{hs \text{ 1 fasa ke tanah}}}{I_{set \text{ sekunder}}} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = \frac{0,4 \times \left[\left[\frac{0,361}{0,0242} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,09$$

Untuk *setting* arus agar GFR yang terpasang pada *Recloser* bekerja secara instan ($I_{instan \text{ primer}}$) dipilih pada arus gangguan 1 fasa ke tanah di titik terdekat pada *Recloser* terpasang yakni sebesar 388 A ($I_{hs \text{ 1 fasa ke tanah titik 60\%}}$). Sedangkan *relay* GFR pada *Recloser* terpasang pada sisi sekunder CT *Recloser* dimana ratio CT yang terpasang pada sisi *Recloser* adalah 1000/1 maka perlu mengkonversikan terlebih dahulu arus *instant* primer ($I_{instan \text{ primer}}$) ke sisi sekunder ($I_{instan \text{ sisisekunder}}$), untuk perhitungan *setting* arus instan pada *Recloser* adalah sebagai berikut :

Data :

$$I_{\text{instan primer}} = I_{\text{hs satu fasa ketanah titik 100\%}} = 361 \text{ A}$$

$$\text{Ratio CT pada Recloser} = 1000/1$$

Sehingga $I_{\text{instant sekunder}} =$

$$\begin{aligned} I_{\text{instan sekunder}} &= I_{\text{instan primer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 361 \times 1/1000 \\ &= 0,361 \text{ A} \end{aligned}$$

b. *Setting Recloser L-01*

Setting arus primer (*Iset* primer) menggunakan karakteristik standard *inverse time*. Untuk *setting* arus GFR pada *Recloser L-01* ditentukan dari 10 % arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah terkecil pada panjang saluran ($I_{\text{hs1 fasa ketanah}} = 242 \text{ A}$)

$$\begin{aligned} I_{\text{set primer}} &= 10 \% I_{\text{hs 1 fasa ke tanah terkecil}} \\ &= 10\% \times 242 \\ &= 24,2 \text{ A} \end{aligned}$$

Kemudian karena *relay* GFR terletak pada sisi sekunder CT maka $I_{\text{set primer}}$ perlu di konversi terlebih dahulu ke sisi sekunder dimana rasio CT yang digunakan pada sisi *Recloser* adalah 1000/1 maka arus yang mengalir pada GFR adalah :

$$\begin{aligned} I_{\text{set sekunder}} &= I_{\text{set primer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 24,2 \times 1/1000 \\ &= 0,0242 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk *setting* waktu kerja, dilakukan dengan memilih TMS. Waktu kerja dibuat selisih 0,4 detik dengan *Recloser* L-01 jadi dengan waktu kerja 0,7 detik, untuk gangguan 1 fasa ke tanah (I_{hs} satu fasa ketanah) yang terjadi didepannya yaitu pada 30% panjang penyulang atau 18,75 km dimana arus hubung singkat 1 fasa ke tanah terbesar di depan *Recloser* yakni 702.29 A ($I_{hs \text{ primer } 1 \text{ fasa ke tanah}}$). $I_{hs \text{ Recloser}}$ yang dipakai merupakan I_{hs} sekunder sehingga perlu mengkonversi I_{hs} primer menjadi I_{hs} sekunder. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$I_{hs \text{ sekunder } 1 \text{ fasa ke tanah}} = I_{hs \text{ primer } 1 \text{ fasa ke tanah}}$$

$$I_{hs \text{ sekunder } 1 \text{ fasa ke tana}} = 702,29 \times 1/1000$$

$$I_{hs \text{ sekunder } 1 \text{ fasa ke tana}} = 0,702 \text{ A}$$

Setelah menghitung nilai $I_{hs \text{ sekunder } 1 \text{ fasa ke tanah}}$ ($I_{hs \text{ sekunder } 1 \text{ fasa ke tana}} = 0,702$), $I_{set \text{ sekunder}}$ ($I_{set \text{ sekunder}} = 0,242$) dan menentukan waktu kerja ($t=0,8$) maka untuk perhitungan TMS *Recloser* adalah sebagai berikut :

$$TMS = \frac{t \times \left[\left[\frac{I_{hs \text{ 1 fasa ke tanah}}}{I_{set \text{ sekunder}}} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = \frac{0,8 \times \left[\left[\frac{0,702}{0,0242} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,25$$

Untuk *setting* arus agar GFR yang terpasang pada *Recloser* bekerja secara instan ($I_{\text{instan primer}}$) dipilih pada arus gangguan 1 fasa ke tanah di titik terdekat yakni sebesar 702 A ($I_{\text{hs 1 fasa ke tanah titik 100\%}}$). Sedangkan *relay* GFR pada *Recloser* terpasang pada sisi sekunder CT *Recloser* dimana ratio CT yang terpasang pada sisi *Recloser* adalah 1000/1 maka perlu mengkonversikan terlebih dahulu arus instant primer ($I_{\text{instan primer}}$) ke sisi sekunder ($I_{\text{instansi sekunder}}$), untuk perhitungan *setting* arus instan pada *Recloser* adalah sebagai berikut :

Data :

$$I_{\text{instan primer}} = I_{\text{hs satu fasa ketanah titik 100\%}} = 702 \text{ A}$$

$$\text{Ratio CT pada } \textit{Recloser} = 1000/1$$

Sehingga $I_{\text{instant sekunder}}$:

$$\begin{aligned} I_{\text{instan sekunder}} &= I_{\text{instan primer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 702 \times 1/1000 \\ &= 0,702 \text{ A} \end{aligned}$$

c. *PMT Outgoing*

Setting arus menggunakan karakteristik *standard inverse time*. Untuk *setting* arus GFR ditentukan dari 10% arus nominal terkecil pada peralatan proteksi yang terpasang pada sisi *PMT outgoing* yakni pada kabel A3C yang mana mempunyai KHA 480 A akan tetapi karena faktor dari usia kabel, KHanya menjadi 400 A ($I_{\text{nominal terkecil}}$), berikut ini merupakan *setting relay* OCR untuk

mengerjakan PMT *outgoing*. Maka untuk perhitungan I_{set} GFR untuk mengerjakan PMT *outgoing* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{set\text{primer}} &= I_{\text{nominal terkecil}} \\ &= 10\% \times 400 \text{ A} \\ &= 40 \text{ A} \end{aligned}$$

Kemudian karena *relay* GFR terletak pada sisi sekunder CT maka ($I_{set\text{primer}} = 40\text{A}$) perlu di konversi terlebih dahulu ke sisi sekunder dimana ratio CT yang digunakan pada sisi PMT *outgoing* adalah 400/1 maka arus yang mengalir pada GFR adalah :

$$\begin{aligned} I_{set\text{sekunder}} &= I_{set\text{ primer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 40 \times 1/400 \\ &= 0,04 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai TMS GFR PMT *Outgoing* dilakukan dengan memilih waktu kerja GFR pada PMT *Outgoing*. Dengan selisih waktu kerja 0,4 detik terhadap *Recloser*L-01 didapat waktu kerja (t) 1,1 detik untuk gangguan satu fasa ke tanah di 20% ($I_{hs1\text{fasaketanah}} = 811,5 \text{ A}$) panjang penyulang atau 15,63 km. $I_{hs1\text{fasaketanah}}$ PMT *Outgoing* untuk menentukan TMS yang dipakai merupakan I_{hs} sekunder sehingga perlu mengkonversi I_{hs} primer menjadi I_{hs} sekunder dimana ratio CT pada PMT *Outgoing* adalah 400/1. Perhitungan konversinya adalah sebagai berikut :

$$I_{hs\text{ sekunder 1 fasa ke tana}} = I_{hs\text{ primer 1 fasa ke tanah}} \times \text{Ratio CT PMT outgoing}$$

$$I_{hs \text{ sekunder } 1 \text{ fasa ke tanah}} = 811,5 \times 1/400$$

$$I_{hs \text{ sekunder } 1 \text{ fasa ke tana}} = 2,02 \text{ A}$$

Setelah menentukan waktu kerja pada GFR PMT *Outgoing* (t), menghitung nilai arus hubung singkat 1 fasa ke tanah (I_{hs} 1 fasa ke tanah sisi sekunder) pada sisi sekunder, dan menghitung nilai arus *setting* GFR sisi sekunder pada PMT *outgoing* ($I_{set \text{ sekunder}}$) maka perhitungan TMS GFR pada PMT *Outgoing* adalah sebagai berikut :

Data :

$$t = 1,1 \text{ sekon}$$

$$I_{hs \text{ 1 fasa ketanah sekunder}} = 2,02 \text{ A}$$

$$I_{set \text{ sekunder}} = 0,04 \text{ A}$$

Maka TMS PMT *Outgoing* adalah :

$$TMS = \frac{t \times \left[\left[\frac{I_{hs \text{ 1 fasa ke tanah sekunder}}}{I_{set \text{ sekunder}}} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = \frac{1,1 \times \left[\left[\frac{2,02}{0,04} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,405$$

Untuk *setting* arus agar GFR bekerja *instant* ($I_{instant \text{ primer}}$) untuk mengerjakan PMT *outgoing* digunakan $1,05 \times I_{nominal}$ trafo daya 60 MVA, kemudian karena

relay GFR terletak pada sisi sekunder CT PMT *Outgoing* maka ($I_{instant1primer}$) perlu di konversi ke sisi sekunder CT dimana ratio CT pada PMT *Outgoing* yakni 400/1, untuk lebih jelasnya berikut ini perhitungan *setting instantnya* :

Data :

$$I_{nominaltrafodaya60MVA} = 1732 \text{ A}$$

$$\text{Ratio CT} = 400/1$$

$$\begin{aligned} I_{instantprimer} &= 1,05 \times I_{nominal \text{ trafo daya } 60 \text{ MVA}} \\ &= 1,05 \times 1732 \\ &= 1818 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{instantsekunder} &= I_{instantprimer} \times \text{rasio CT} \\ &= 1818 \times 1/400 \\ &= 4,54 \text{ A} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapat waktu kerja karakteristik *Inverse* untuk *relay* GFR untuk masing-masing PMT *Incoming*, PMT *Outgoing*, dan *Recloser* seperti pada tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 *Inverse Time* GFR Saluran Utama Penyulang YB-02 pada PMT dan *Recloser* (Eksisting)

%	Km	Arus Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah (A)	Waktu Kerja PMT Outgoing (s)	Waktu Kerja <i>Recloser</i> L-01 (s)	Waktu Kerja <i>Recloser</i> L-02 (s)
0	0	3369.34	0.05		
5	3.13	2101.75	0.05		
10	6.25	1508.57	0.05		
15	9.38	1174.93	2.33		
20	12.5	958.94	2.64		

25	15.63	811.55	2.96	0.03	
30	18.75	702.29	3.30	0.03	
35	21.88	618.51	3.68	1.53	
40	25	552.95	4.09	1.70	
45	28.13	500.24	4.54	1.89	
50	31.25	456.47	5.05	2.10	
55	34.38	419.74	5.62	2.34	
60	37.5	388.30	6.29	2.62	0.03
65	40.63	361.25	7.06	2.94	0.03
70	43.75	337.85	7.97	3.32	1.20
75	46.88	317.30	9.06	3.77	1.36
80	50	299.21	10.38	4.33	1.56

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.10 Inverse Time GFR Saluran Utama penyulang YB-02 pada PMT dan Recloser (Eksisting)

%	km	Arus Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah (A)	Waktu Kerja PMT Outgoing (s)	Waktu Kerja Recloser L-01 (s)	Waktu Kerja Recloser L-02 (s)
85	53.13	282.80	12.08	5.03	1.81
90	56.25	267.76	14.35	5.98	2.15
95	59.38	255.06	17.23	7.18	2.58
100	62.5	242.22	21.89	9.12	3.28

Sumber: Penulis, 2020

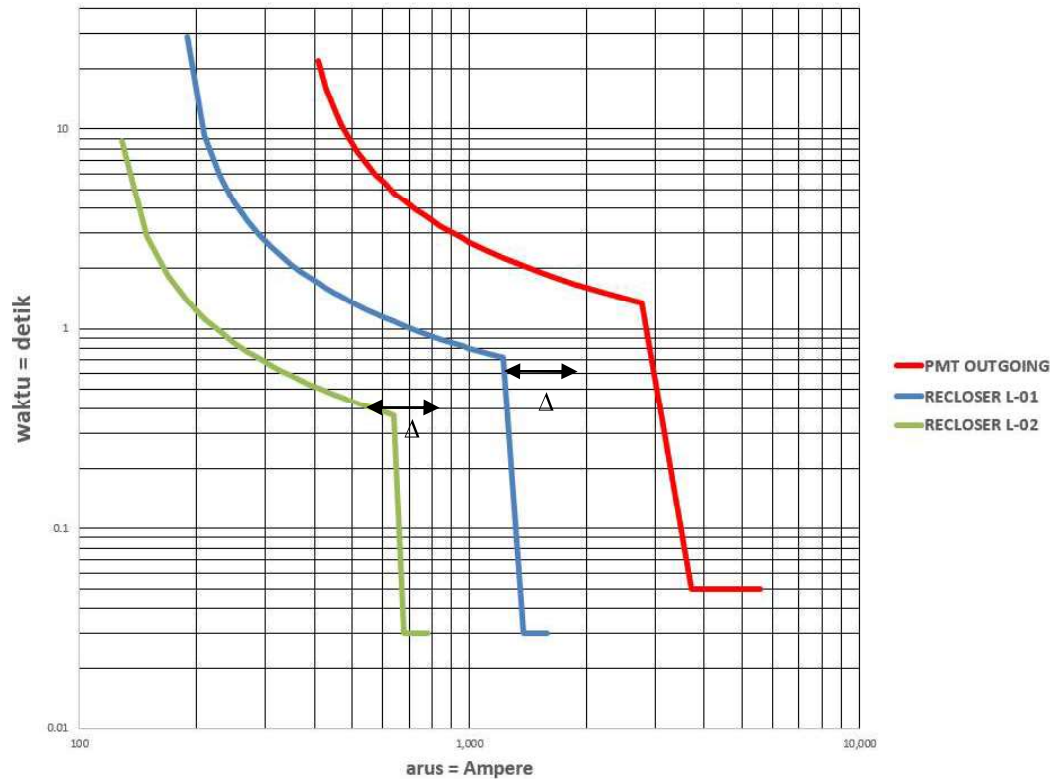
4.7 Evaluasi Koordinasi PMT Outgoing dan Recloser (Eksisting)

Dari perhitungan data *setting* peralatan proteksi terhadap arus gangguan hubung singkat pada penyulang YB-02 antara PMT *outgoing*, Recloser L-01, dan Recloser L-02 maka dapat digambarkan kurva koordinasi peralatan pengaman tersebut pada gambar 4.4 untuk OCR dan gambar 4.5 untuk GFR.

Koordinasi peralatan proteksi yang baik harus memiliki selisih waktu kerja yang telah memenuhi persyaratan. Selisih waktu kerja minimal ditentukan sebesar 0,4

detik. Dengan selisih waktu tersebut diharapkan kegagalan kerja peralatan dapat dikurangi.

4.7.1 Koordinasi OCR (PMT *Outgoing*, *Recloser L-01*, dan *Recloser L-02*)

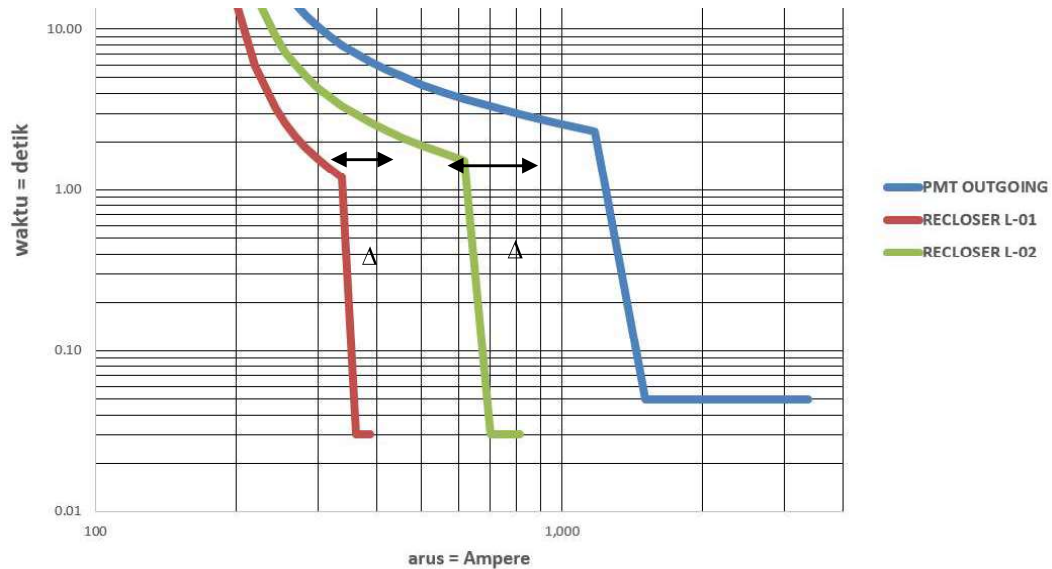


Gambar 4.6 Kurva Koordinasi OCR PMT *Outgoing* , *Recloser L-01*, dan *Recloser L-02*)

Sumber: Penulis, 2020

Dari gambar 4.6, dapat dilihat bahwa antara kurva waktu kerja dari PMT *outgoing*, *Recloser L-01* dan *Recloser L-02* tidak berpotongan. Hal ini menunjukkan koordinasi OCR dalam ketiga peralatan proteksi tersebut sudah sesuai dengan standar dimana kedua Delta t_1 dan t_2 selisih waktu kerjanya lebih dari 0,4 sekon. Dan apabila ada gangguan hubung singkat baik antar fasa ataupun tiga fasa dapat diamankan sesuai dengan letak dan besar gangguanya.

4.7.2 Koordinasi GFR(PMT *Outgoing*, *Recloser L-01*, dan *Recloser L-02*)



Gambar 4.7 Kurva Koordinasi OCR PMT *Outgoing* , *Recloser L-01*, dan *Recloser L-02*)

Sumber: Penulis, 2020

Dari gambar 4.7, dapat dilihat bahwa antara kurva waktu kerja dari PMT *outgoing*, *Recloser L-01* dan *Recloser L-02* tidak berpotongan. Hal ini menunjukkan koordinasi GFR dalam ketiga peralatan proteksi tersebut sudah sesuai dengan standar dimana kedua Delta t_1 dan t_2 selisih waktu kerjanya lebih dari 0,4 sekon. Dan apabila ada gangguan hubung singkat 1 Fasa ke tanah dapat diamankan sesuai dengan letak dan besar gangguanya.

4.8 *Setting* OCR dan GFR (Perhitungan)

Setting OCR dan GFR secara perhitungan bertujuan untuk mendapatkan nilai *setting* yang terbaik. Dalam masalah ini diharapkan dapat memperbaiki dan/atau meningkatkan koordinasi serta kemampuan kerja dari OCR dan GFR pada penyulang JJR-02.

4.8.1 Setting OCR (Perhitungan)

Setting dilakukan dari pengaman paling ujung penyulang YB-02 guna mengamankan daerah paling ujung.

a. *Setting Recloser L-02*

Setting arus menggunakan karakteristik *inverse time*. Arus beban maksimal pada *Recloser* sebesar 120 A (bisa dilihat pada tabel 3.7).

$$\begin{aligned} I_{\text{setprimer}} &= 1,2 \times I_{\text{bebanmaksimal}} \\ &= 1,2 \times 120 \text{ A} \\ &= 144 \text{ A} \end{aligned}$$

Arus setting yang mengalir pada OCR ($I_{\text{setsekunder}}$) dimana rasio CT yang terpasang pada OCR *Recloser* adalah (1000/1), berikut ini perhitungannya :

$$\begin{aligned} I_{\text{set sekunder}} &= I_{\text{setprimer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 144 \times 1/1000 \\ &= 0,144 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk *setting* waktu kerja, dilakukan dengan memilih TMS. Waktu kerja (t) dibuat 0,3 detik untuk gangguan antar fasa ($I_{\text{hs primer antarfasa}}$) terbesar yang terjadi didepannya yaitu pada jarak 60% panjang penyulang atau 37,5 km sebesar 678 A (dapat dilihat pada tabel 3.14). $I_{\text{hs Recloseryang}}$ dipakai merupakan I_{hs} sekunder sehingga perlu mengkonversi I_{hs} primer menjadi I_{hs} sekunder dimana rasio CT yang terpasang pada *Recloser* yakni (1000/1). Perhitungan konversi nya adalah sebagai berikut :

$$I_{\text{hs sekunder antarfasa}} = I_{\text{hs primer antarfasa}} \times \text{Rasio CT pada Recloser}$$

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = 678 \times 1/1000$$

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = 0,678 \text{ A}$$

Jadi, dari hasil perhitungan diatas dapat diperoleh nilai dari TMS *Recloser* sebagai berikut :

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

$$I_{hs \text{ sekunder antar fasa}} = 0,678 \text{ A}$$

$$I_{set \text{ sekunder}} = 0,144 \text{ A}$$

Sehingga, TMS *Recloser* adalah :

$$TMS = \frac{t \times \left[\left[\frac{I_{hs \text{ sekunder antarfasa}}}{I_{set \text{ sekunder}}} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = \frac{0,3 \times \left[\left[\frac{0,678}{0,144} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,0675$$

Untuk *setting* arus agar OCR bekerja instan dipilih untuk gangguan hubung singkat tiga fasa pada titik depan *Recloser*. Dalam hal ini, dipilih arus gangguan tiga fasa sebesar 680 A (Instan primer) yang terletak di 70% total panjang penyulang pada sisi sekunder CT (Instan sekunder) dimana ratio CT yang digunakan pada *Recloser* yakni (1000/1). Sedangkan, $I_{\text{instan sekunder}}$ yang dilakukan pada OCR adalah :

$$I_{\text{instan primer } Recloser} = I_{hs \text{ 3 fasa titik } 100 \%} = 680 \text{ A}$$

$$I_{\text{instan sekunder } Recloser} = I_{\text{instan primer}} \times \text{rasio CT}$$

$$= 680 \times 1/1000$$

$$= 0,68 \text{ A}$$

b. *Setting Recloser L-01*

Setting arus menggunakan karakteristik *inverse time*. Arus beban maksimal pada *Recloser* sebesar 200 A (bisa dilihat pada tabel 3.7).

$$I_{\text{set primer}} = 1,05 \times I_{\text{bebanmaksimal}}$$

$$= 1,05 \times 200 \text{ A}$$

$$= 210 \text{ A}$$

Arus setting yang mengalir pada OCR ($I_{\text{set sekunder}}$) dimana rasio CT yang terpasang pada OCR *Recloser* adalah (1000/1), berikut ini perhitungannya :

$$I_{\text{set sekunder}} = I_{\text{set primer}} \times \text{rasio CT}$$

$$= 210 \times 1/1000$$

$$= 0,21 \text{ A}$$

Untuk *setting* waktu kerja, dilakukan dengan memilih TMS. Dengan selisih waktu kerja 0,4 detik terhadap *Recloser* L-02 didapat waktu kerja (t) 0,7 detik untuk gangguan antar fasa ($I_{\text{hs primer antarfasa}}$) terbesar yang terjadi didepannya yaitu pada jarak 30% panjang penyulang atau 18,75 km sebesar 1198 A (dapat dilihat pada tabel 3.14). $I_{\text{hs Recloser}}$ yang dipakai merupakan I_{hs} sekunder sehingga perlu mengkonversi I_{hs} primer menjadi I_{hs} sekunder dimana rasio CT yang terpasang pada *Recloser* yakni (1000/1). Perhitungan konversinya adalah sebagai berikut :

$$I_{\text{hs sekunder antarfasa}} = I_{\text{hs primer antarfasa}} \times \text{Rasio CT pada Recloser}$$

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = 1198 \times 1/1000$$

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = 1,198 \text{ A}$$

Jadi, dari hasil perhitungan diatas dapat diperoleh nilai dari TMS *Recloser* sebagai berikut :

$$\text{Data : } t = 0,7 \text{ detik}$$

$$I_{hs \text{ sekunder antar fasa}} = 1,198 \text{ A}$$

$$I_{set \text{ sekunder}} = 0,21 \text{ A}$$

Sehingga, TMS *Recloser* adalah :

$$TMS = \frac{t \times \left[\left[\frac{I_{hs \text{ sekunder antarfasa}}}{I_{set \text{ sekunder}}} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = \frac{0,7 \times \left[\left[\frac{1,198}{0,21} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,175$$

Untuk *setting* arus agar OCR bekerja instan dipilih untuk gangguan hubung singkat tiga fasa pada titik depan *Recloser*. Dalam hal ini, dipilih arus gangguan tiga fasa sebesar 1377 A (Instan primer) yang terletak di 30% total panjang penyulang pada sisi sekunder CT (Instan sekunder) dimana ratio CT yang digunakan pada *Recloser* yakni (1000/1). Sedangkan, $I_{\text{instan sekunder}}$ yang dilakukan pada OCR adalah :

$$I_{\text{instan primer Recloser}} = I_{hs \text{ 3 fasa titik 30 \%}} = 1377 \text{ A}$$

$$I_{\text{instan sekunder Recloser}} = I_{\text{instan primer}} \times \text{rasio CT}$$

$$= 1377 \times 1/1000$$

$$= 1,377 \text{ A}$$

c. *Setting* PMT Outgoing

Setting arus menggunakan karakteristik *standard inverse time*. Serta untuk untuk Iset nya digunakan arus nominal terkecil pada peralatan proteksi yang terpasang di sisi PMT *outgoing* yakni pada kabel AAAC yang mana mempunyai KHA 480 A akan tetapi karena faktor dari usia kabel, KHanya menjadi 266 A ($I_{\text{nominal terkecil}}$), berikut ini merupakan *setting relay* OCR untuk mengerjakan PMT *outgoing* :

$$\begin{aligned} I_{\text{set primer}} &= 1,05 \times I_{\text{nominal terkecil}} \\ &= 1,05 \times 266 \text{ A} \\ &= 280 \text{ A} \end{aligned}$$

Arus setting yang mengalir pada OCR ($I_{\text{set sekunder}}$) dimana rasio CT yang terpasang pada OCR PMT *Outgoing* adalah (400/1), berikut ini perhitungannya:

$$\begin{aligned} I_{\text{set sekunder}} &= I_{\text{set primer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 280 \times 1/400 \\ &= 0,70 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk *setting* waktu kerja, dilakukan dengan memilih TMS. Dengan selisih waktu kerja 0,4 detik terhadap *Recloser* L-01 didapat waktu kerja (t) 1,1 detik untuk gangguan antarfasa terbesar di 10 % ($I_{\text{hs primer antarfasa}} = 4783 \text{ A}$) panjang penyulang atau 0 km. $I_{\text{hs antarfasa}}$ pada sisi PMT *Outgoing* yang dipakai merupakan $I_{\text{hs antarfasa}}$ sisi sekunder CT sehingga perlu mengkonversi $I_{\text{hs antarfasa}}$

primer menjadi $I_{hs \text{ antarfasa}}$ sekunder dimana pada sisi PMT outgoing CT yang digunakan adalah 400/1 . Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = I_{hs \text{ primer antarfasa}} \times \text{Ratio CT sisi PMT outgoing}$$

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = 1198 \times 1/400$$

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = 2,99 \text{ A}$$

Jadi, dari hasil perhitungan diatas dapat diperoleh nilai dari TMS PMT Outgoing sebagai berikut :

$$\text{Data : } t = 1,1 \text{ detik}$$

$$I_{hs \text{ sekunder antarfasa}} = 2,99 \text{ A}$$

$$I_{set \text{ sekunder}} = 0,7 \text{ A}$$

Sehingga, TMS PMT adalah :

$$\text{TMS} = \frac{t \times \left[\left[\frac{I_{hs \text{ sekunder antarfasa}}}{I_{set \text{ sekunder}}} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TMS} = \frac{1,1 \times \left[\left[\frac{2,99}{0,7} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapat waktu kerja karakteristik *Inverse* untuk relay OCR untuk masing-masing PMT *Outgoing*, *Recloser L-01* dan *Recloser L-02* seperti pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Inverse Time Saluran Utama Penyulang YB-02 relay OCR pada PMT dan Recloser Hasil Perhitungan (Arus Hubung Singkat Antar Fasa)

%	Km	Hasil itung (A)	Waktu kerja PMT inc	Waktu kerja PMT out	Waktu kerja REC
0	0	5,550.77	0.03	0	0
5	3.13	3,699.56	0.03	0	0
10	6.25	2,775.38	0.03	0	0
15	9.38	2,222.87	0.728034	0	0
20	12.5	1,839.64	0.802742	0	0
25	15.63	1,578.13	0.875271	0.05	0
30	18.75	1,377.10	0.951444	0.05	0
35	21.88	1,219.95	1.031031	0.05	0
40	25	1,098.53	1.111275	0.05	0
45	28.13	994.28	1.199915	0.775639767	0
50	31.25	964.71	1.229573	0.791238457	0

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.11 Inverse Time Saluran Utama Penyulang YB-02 relay OCR pada PMT dan Recloser Hasil Perhitungan (Arus Hubung Singkat Antar Fasa)

%	Km	Hasil itung (A)	Waktu kerja PMT inc	Waktu kerja PMT out	Waktu kerja REC
55	34.38	841.52	1.384122	0.870306511	0
60	37.5	779.48	1.488798	0.921834652	0.07
65	40.63	725.96	1.601098	0.975395342	0.07
70	43.75	680.75	1.718088	1.029387101	0.07
75	46.88	641.42	1.842538	1.084898675	0.07
80	50	605.12	1.982986	1.145288927	0.324425196
85	53.13	572.24	2.139179	1.209795856	0.337751269
90	56.25	544.40	2.30079	1.273774527	0.350593572
95	59.38	518.20	2.486371	1.343994944	0.364277832
100	62.5	488.97	2.746903	1.437156572	0.381801167

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.11 Inverse Time Saluran Utama Penyulang YB-02 relay OCR pada PMT dan Recloser Hasil Perhitungan (Arus Hubung Singkat Tiga Fasa)

%	Km	Hasil itung (A)	Waktu kerja PMT inc	Waktu kerja PMT out	Waktu kerja REC
0	0	5550.77	0.808535		
5	3.13	3699.56	0.96324		
10	6.25	2775.38	1.113076		
15	9.38	2222.87	1.264182		
20	12.5	1839.64	1.428853		
25	15.63	1578.13	1.596816	0.595204	
30	18.75	1377.1	1.782484	0.639205	
35	21.88	1219.95	1.987452	0.684059	
40	25	1098.53	2.206479	0.728169	

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.11 Inverse Time Saluran Utama Penyulang YB-02 relay OCR pada PMT dan Recloser Hasil Perhitungan (Arus Hubung Singkat Tiga Fasa)

%	Km	Hasil itung (A)	Waktu kerja PMT inc	Waktu kerja PMT out	Waktu kerja REC
45	28.13	994.28	2.46424	0.77564	
50	31.25	964.71	2.554481	0.791238	
55	34.38	841.52	3.060843	0.870307	
60	37.5	779.48	3.442557	0.921835	0.275084
65	40.63	725.96	3.892805	0.975395	0.287385
70	43.75	680.75	4.413944	1.029387	0.299475
75	46.88	641.42	5.037301	1.084899	0.311591
80	50	605.12	5.844334	1.145289	0.324425
85	53.13	572.24	6.903833	1.209796	0.337751
90	56.25	544.4	8.235175	1.273775	0.350594
95	59.38	518.2	10.17342	1.343995	0.364278
100	62.5	488.97	14.06639	1.437157	0.381801

Sumber: Penulis, 2020

4.8.2 *Setting* GFR (Perhitungan)

Setting dilakukan dari pengaman paling ujung penyulang YB-02 yang menggunakan *relay* GFR.

a. *Setting* Recloser L-02

Setting arus primer (*I*_{set primer}) menggunakan karakteristik standard *inverse time*. Untuk *setting* arus GFR ditentukan dari 10% arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah terkecil yakni pada titik 100% panjang saluran (*I*_{hs1 fasa ketanah} = 242 A)

$$\begin{aligned} I_{\text{set primer}} &= 10\% \times I_{\text{hs 1 fasa ke tanah terkecil}} \\ &= 10\% \times 242 \text{ A} \\ &= 24,2 \text{ A} \end{aligned}$$

Kemudian karena relay GFR terletak pada sisi sekunder CT maka *I*_{set primer} perlu di konversi terlebih dahulu ke sisi sekunder dimana ratio CT yang digunakan pada sisi *Recloser* adalah 1000/1 maka arus yang mengalir pada GFR adalah :

$$\begin{aligned} I_{\text{set sekunder}} &= I_{\text{set primer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 24,2 \times 1/1000 \\ &= 0,0242 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk *setting* waktu kerja, dilakukan dengan memilih TMS. Waktu kerja dibuat 0,3 detik untuk gangguan 1 fasa ke tanah (*I*_{hs satu fasa ketanah}) yang terjadi didepannya yaitu pada 65% panjang penyulang atau 40,63 km dimana arus hubung singkat 1 fasa ke tanah terbesar di depan *Recloser* yakni 361,25 A (*I*_{hs primer 1 fasa ketanah}). *I*_{hs Recloser} yang dipakai merupakan *I*_{hs sekunder} sehingga

perlu mengkonversi I_{hs} primer menjadi I_{hs} sekunder. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tana}} = I_{hs \text{ primer 1 fasa ke tanah}}$$

$$I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tana}} = 361,25 \times 1/1000$$

$$I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tana}} = 0,361 \text{ A}$$

Setelah menghitung nilai $I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tanah}}$ ($I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tana}} = 0,361 \text{ A}$), $I_{set \text{ sekunder}}$ ($I_{set \text{ sekunder}} = 0,0242$) dan menentukan waktu kerja ($t=0,3$) maka untuk perhitungan *TMS Recloser* adalah sebagai berikut :

$$TMS = \frac{t \times \left[\left[\frac{I_{hs \text{ 1 fasa ke tanah}}}{I_{set \text{ sekunder}}} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = \frac{0,3 \times \left[\left[\frac{0,361}{0,0242} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,107$$

Untuk *setting* arus agar GFR yang terpasang pada *Recloser* bekerja secara instan ($I_{instan \text{ primer}}$) dipilih pada arus gangguan 1 fasa ke tanah di titik terdekat pada *Recloser* terpasang yakni sebesar 388 A ($I_{hs \text{ 1 fasa ke tanah titik 60\%}}$). Sedangkan *relay* GFR pada *Recloser* terpasang pada sisi sekunder CT *Recloser* dimana ratio CT yang terpasang pada sisi *Recloser* adalah 1000/1 maka perlu mengkonversikan

terlebih dahulu arus instant primer ($I_{\text{instan primer}}$) ke sisi sekunder ($I_{\text{instan sisisekunder}}$), untuk perhitungan *setting* arus instan pada *Recloser* adalah sebagai berikut :

Data :

$$I_{\text{instan primer}} = I_{\text{hs satu fasa ketanah titik 100\%}} = 361 \text{ A}$$

$$\text{Ratio CT pada Recloser} = 1000/1$$

Sehingga $I_{\text{instan sekunder}}$:

$$\begin{aligned} I_{\text{instan sekunder}} &= I_{\text{instan primer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 361 \times 1/1000 \\ &= 0,361 \text{ A} \end{aligned}$$

b. *Setting Recloser L-01*

Setting arus primer ($I_{\text{set primer}}$) menggunakan karakteristik standard *inverse time*. Untuk *setting* arus GFR pada *Recloser* L-01 ditentukan dari 10 % arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah terkecil pada panjang saluran ($I_{\text{hs 1 fasa ketanah}} = 242 \text{ A}$)

$$\begin{aligned} I_{\text{set primer}} &= 10 \% I_{\text{hs 1 fasa ke tanah terkecil}} \\ &= 10\% \times 242 \\ &= 24,2 \text{ A} \end{aligned}$$

Kemudian karena relay GFR terletak pada sisi sekunder CT maka $I_{\text{set primer}}$ perlu di konversi terlebih dahulu ke sisi sekunder dimana ratio CT yang digunakan pada sisi *Recloser* adalah 1000/1 maka arus yang mengalir pada GFR adalah :

$$I_{\text{set sekunder}} = I_{\text{set primer}} \times \text{rasio CT}$$

$$=24,2 \times 1/1000$$

$$=0,0242 \text{ A}$$

Untuk *setting* waktu kerja, dilakukan dengan memilih TMS. Waktu kerja dibuat selisih 0,4 detik dengan *Recloser* L-01 jadi dengan waktu kerja 0,7 detik, untuk gangguan 1 fasa ke tanah (I_{hs} satu fasa ke tanah) yang terjadi didepannya yaitu pada 30% panjang penyulang atau 18,75 km dimana arus hubung singkat 1 fasa ke tanah terbesar di depan *Recloser* yakni 702,29 A (I_{hs} primer 1 fasa ke tanah). I_{hs} *Recloser* yang dipakai merupakan I_{hs} sekunder sehingga perlu mengkonversi I_{hs} primer menjadi I_{hs} sekunder. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tanah}} = I_{hs \text{ primer 1 fasa ke tanah}}$$

$$I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tanah}} = 702,29 \times 1/1000$$

$$I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tanah}} = 0,702 \text{ A}$$

Setelah menghitung nilai I_{hs} sekunder 1 fasa ke tanah ($I_{hs \text{ sekunder 1 fasa ke tanah}} = 0,702$), I_{set} sekunder ($I_{set \text{ sekunder}} = 0,242$) dan menentukan waktu kerja ($t=0,7$) maka untuk perhitungan TMS *Recloser* adalah sebagai berikut :

$$TMS = \frac{t \times \left[\left[\frac{I_{hs \text{ 1 fasa ke tanah}}}{I_{set \text{ sekunder}}} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = \frac{0,7 \times \left[\left[\frac{0,702}{0,0242} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,345$$

Untuk *setting* arus agar GFR yang terpasang pada *Recloser* bekerja secara instan ($I_{\text{instan primer}}$) dipilih pada arus gangguan 1 fasa ke tanah di titik terdekat yakni sebesar 702 A ($I_{\text{hs 1 fasa ke tanah titik 100\%}}$). Sedangkan *relay* GFR pada *Recloser* terpasang pada sisi sekunder CT *Recloser* dimana ratio CT yang terpasang pada sisi *Recloser* adalah 1000/1 maka perlu mengkonversikan terlebih dahulu arus instant primer ($I_{\text{instan primer}}$) ke sisi sekunder ($I_{\text{instan sisisekunder}}$), untuk perhitungan *setting* arus instan pada *Recloser* adalah sebagai berikut :

Data :

$$I_{\text{instan primer}} = I_{\text{hs satu fasa ke tanah titik 100\%}} = 702 \text{ A}$$

$$\text{Ratio CT pada } \textit{Recloser} = 1000/1$$

Sehingga $I_{\text{instant sekunder}}$:

$$\begin{aligned} I_{\text{instan sekunder}} &= I_{\text{instan primer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 702 \times 1/1000 \\ &= 0,702 \text{ A} \end{aligned}$$

c. *PMT Outgoing*

Setting arus menggunakan karakteristik *standard inverse time*. Untuk *setting* arus GFR ditentukan dari 10% arus nominal terkecil pada peralatan proteksi yang terpasang pada sisi *PMT outgoing* yakni pada kabel A3C yang mana mempunyai KHA 480 A akan tetapi karena faktor dari usia kabel, KHAny menjadi 400 A ($I_{\text{nominal terkecil}}$), berikut ini merupakan *setting relay* OCR untuk mengerjakan

PMT *outgoing*. Maka untuk perhitungan I_{set} GFR untuk mengerjakan PMT *outgoing* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{set\text{primer}} &= I_{\text{nominal terkecil}} \\ &= 10\% \times 400 \text{ A} \\ &= 40 \text{ A} \end{aligned}$$

Kemudian karena *relay* GFR terletak pada sisi sekunder CT maka ($I_{set\text{primer}} = 40\text{A}$) perlu di konversi terlebih dahulu ke sisi sekunder dimana ratio CT yang digunakan pada sisi PMT *outgoing* adalah 400/1 maka arus yang mengalir pada GFR adalah :

$$\begin{aligned} I_{set\text{sekunder}} &= I_{set\text{ primer}} \times \text{rasio CT} \\ &= 40 \times 1/400 \\ &= 0,04 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai TMS GFR PMT *Outgoing* dilakukan dengan memilih waktu kerja GFR pada PMT *Outgoing*. Dengan selisih waktu kerja 0,4 detik terhadap *Recloser*L-01 didapat waktu kerja (t) 1,1 detik untuk gangguan satu fasa ke tanah di 20% ($I_{hs1\text{fasaketanah}} = 811,5 \text{ A}$) panjang penyulang atau 15,63 km. $I_{hs1\text{fasaketanah}}$ PMT *Outgoing* untuk menentukan TMS yang dipakai merupakan I_{hs} sekunder sehingga perlu mengkonversi I_{hs} primer menjadi I_{hs} sekunder dimana ratio CT pada PMT *Outgoing* adalah 400/1. Perhitungan konversinya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{hs\text{sekunder } 1 \text{ fasa ke tana}} &= I_{hs\text{ primer } 1 \text{ fasa ke tanah}} \times \text{Ratio CT PMT } outgoing \\ I_{hs\text{sekunder } 1 \text{ fasa ke tanah}} &= 811,5 \times 1/400 \end{aligned}$$

$$I_{hs \text{ sekunder } 1 \text{ fasa ke tanah}} = 2,02 \text{ A}$$

Setelah menentukan waktu kerja pada GFR PMT *Outgoing* (t), menghitung nilai arus hubung singkat 1 fasa ke tanah ($I_{hs \text{ 1 fasa ke tanah sisi sekunder}}$) pada sisi sekunder, dan menghitung nilai arus *setting* GFR sisi sekunder pada PMT *outgoing* ($I_{set \text{ sekunder}}$) maka perhitungan TMS GFR pada PMT *Outgoing* adalah sebagai berikut :

Data :

$$t = 1,1 \text{ sekon}$$

$$I_{hs \text{ 1 fasa ketanah sekunder}} = 2,02 \text{ A}$$

$$I_{set \text{ sekunder}} = 0,04 \text{ A}$$

Maka TMS PMT *Outgoing* adalah :

$$TMS = \frac{t \times \left[\left[\frac{I_{hs \text{ 1 fasa ke tanah sekunder}}}{I_{set \text{ sekunder}}} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = \frac{1,1 \times \left[\left[\frac{2,02}{0,04} \right]^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,405$$

Untuk *setting* arus agar GFR bekerja *instant* ($I_{instant\ primer}$) untuk mengerjakan PMT *outgoing* digunakan $1,05 \times I_{nominal\ trafo\ daya\ 60\ MVA}$, kemudian karena *relay* GFR terletak pada sisi sekunder CT PMT *Outgoing* maka ($I_{instant\ primer}$) perlu di konversi ke sisi sekunder CT dimana ratio CT pada PMT *Outgoing* yakni 400/1, untuk lebih jelasnya berikut ini perhitungan *setting* instannya :

Data :

$$I_{nominal\ trafo\ daya\ 60\ MVA} = 1732 \text{ A}$$

$$\text{Ratio CT} = 400/1$$

$$\begin{aligned} I_{instant\ primer} &= 1,05 \times I_{nominal\ trafo\ daya\ 60\ MVA} \\ &= 1,05 \times 1732 \\ &= 1818 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{instant\ sekunder} &= I_{instant\ primer} \times \text{rasio CT} \\ &= 1818 \times 1/400 \\ &= 4,54 \text{ A} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapat waktu kerja karakteristik *Inverse* untuk *relay* GFR untuk masing-masing PMT *Incoming*, PMT *Outgoing*, dan *Recloser* seperti pada tabel 4.12 dibawah.

Tabel 4.12 *Inverse Time GFR Saluran Utama penyulang YB-02 pada PMT dan Recloser hasil perhitungan*

%	Km	Hasil itung (A)	Waktu kerja PMT inc (s)	Waktu kerja PMT out (s)	Waktu kerja REC (s)
0	0	4783.18	0.778524		
5	3.13	3219.45	0.857955		
10	6.25	2414.58	0.92364		
15	9.38	1933.9	0.979858		
20	12.5	1600.49	1.030606		
25	15.63	1372.97	1.076228	0.662039	
30	18.75	1198.08	1.119017	0.691403	

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.12 *Inverse Time GFR Saluran Utama penyulang YB-02 pada PMT dan Recloser hasil perhitungan*

%	Km	Hasil itung (A)	Waktu kerja PMT inc (s)	Waktu kerja PMT out (s)	Waktu kerja REC (s)
35	21.88	1061.36	1.159402	0.719358	
40	25	955.73	1.197428	0.745894	
45	28.13	865.03	1.233524	0.771278	
50	31.25	839.29	1.268404	0.79599	
55	34.38	732.12	1.302076	0.820019	
60	37.5	678.14	1.334914	0.843617	0.262448
65	40.63	631.58	1.366836	0.866714	0.269655
70	43.75	592.26	1.397792	0.889262	0.276692
75	46.88	558.04	1.428061	0.911454	0.283618
80	50	526.45	1.45755	0.933212	0.29041
85	53.13	497.85	1.487021	0.955095	0.297243
90	56.25	473.63	1.5167	0.977272	0.304168
95	59.38	450.84	1.544074	0.997854	0.310596
100	62.5	425.41	1.574246	1.02068	0.317726

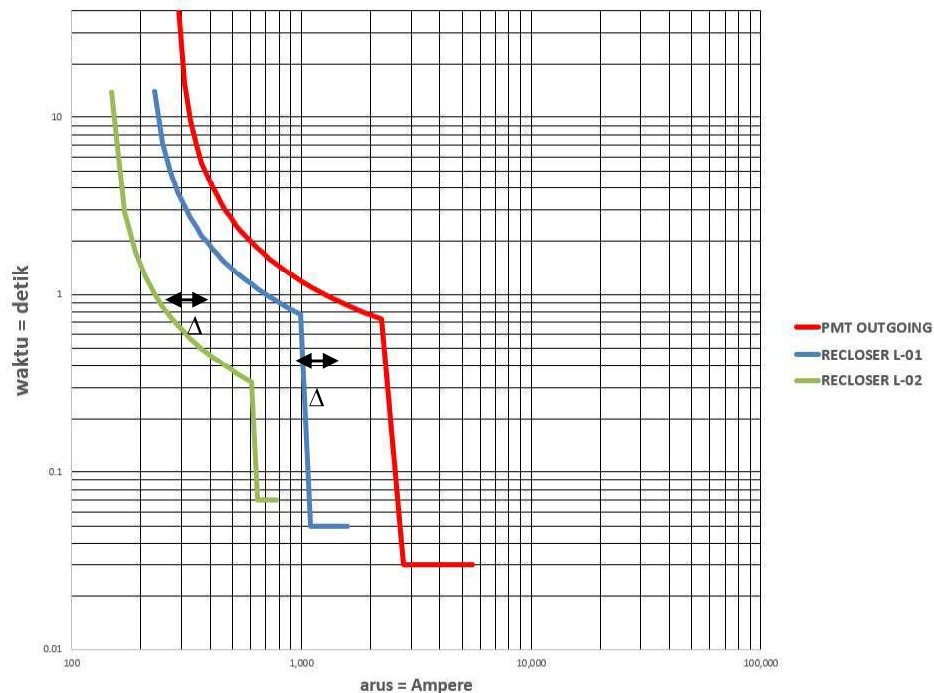
Sumber: Penulis, 2020

4.9 Evaluasi Koordinasi PMT *Outgoing*, *Recloser*L-02, dan *Recloser* L-01 (Perhitungan)

Dari perhitungan data *setting* peralatan proteksi terhadap arus gangguan hubung singkat pada penyulang YB-02 antara PMT *outgoing*, *Recloser*L-01,dan *Recloser* L-02 maka dapat digambarkan kurva koordinasi peralatan pengaman tersebut pada gambar 4.8 untuk OCR dan gambar 4.9 untuk GFR.

Koordinasi peralatan proteksi yang baik harus memiliki selisih waktu kerja yang yang telah memenuhi persyaratan. Selisih waktu kerjainimal ditentukan sebesar 0,4 detik. Dengan selisih waktu tersebut diharapkan kegagalan kerja peralatan dapat dikurangi.

4.9.1 Koordinasi OCR (PMT *Outgoing*, *Recloser* L-01, dan *Recloser* L-02)

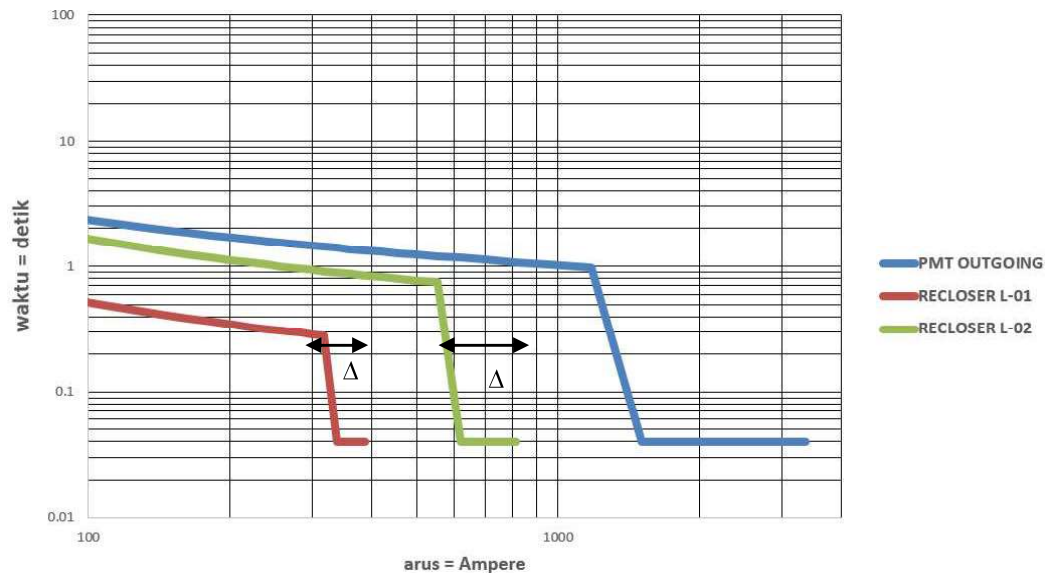


Gambar 4.8 Kurva Koordinasi OCR PMT *Outgoing* , *Recloser* L-01, dan *Recloser* L-02) (Perhitungan)

Sumber: Penulis, 2020

Dari gambar 4.8, dapat dilihat bahwa antara kurva waktu kerja dari PMT *outgoing*, *Recloser L-01* dan *Recloser L-02* tidak berpotongan. Hal ini menunjukkan koordinasi OCR dalam ketiga peralatan proteksi tersebut sudah sesuai dengan standar dimana kedua Delta t1 dan t2 selisih waktu kerjanya lebih dari 0,4 sekon. Dan apabila ada gangguan hubung singkat baik antar fasa ataupun tiga fasa dapat diamankan sesuai dengan letak dan besar gangguannya.

4.9.2 Koordinasi GFR(PMT *Outgoing*, *Recloser L-01*, dan *Recloser L-02*)



Gambar 4.9 Kurva Koordinasi OCR PMT *Outgoing* , *Recloser L-01*, dan *Recloser L-02*)

Sumber: Penulis, 2020

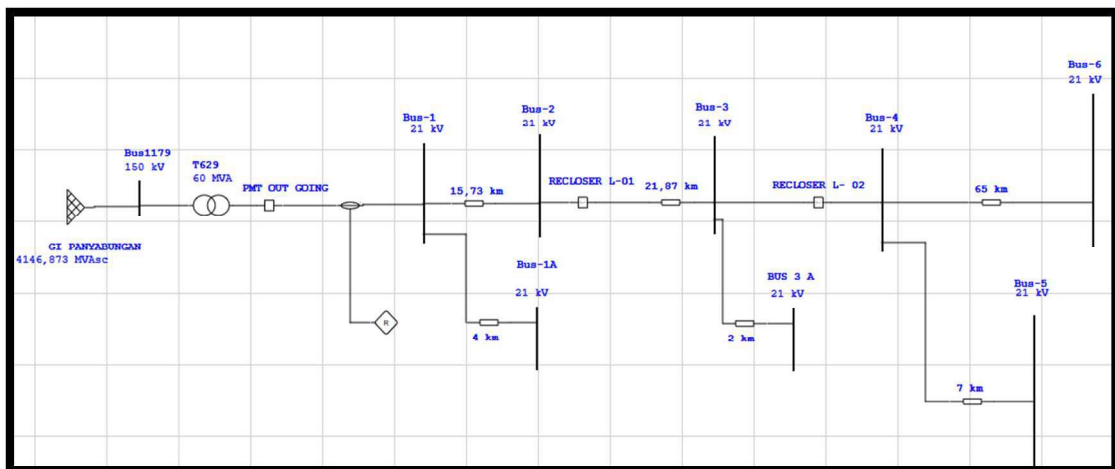
Dari gambar 4.9, dapat dilihat bahwa antara kurva waktu kerja dari PMT *outgoing*, *Recloser L-01* dan *Recloser L-02* tidak berpotongan. Hal ini menunjukkan koordinasi GFR dalam ketiga peralatan proteksi tersebut sudah sesuai dengan standar dimana kedua Delta t1 dan t2 selisih waktu kerjanya lebih

f. Kawat penghantar

Panjang total saluran penyulang YB-02 dari PMT *Outgoing* sampai ke bus terjauh yakni 62,5 km. Pada jaringan distribusi penyulang YB-02 tersebut akan dibagi kedalam 3 golongan daerah yakni :

1) Daerah 1

Pada daerah 1 ini memiliki panjang saluran sebesar 19730 m yakni dari Transformator GI sampai dengan bus 2. Pada daerah 1 ini terdapat 1 pengaman yakni PMT *outgoing* yang dikerjakan oleh OCR dan GFR. Kemudian pada daerah 1 ini PMT *outgoing* merupakan pengaman yang utama dimana apabila terjadi gangguan baik gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, antar fasa atau 3 fasa yang bertugas mengamankan adalah PMT *outgoing*.

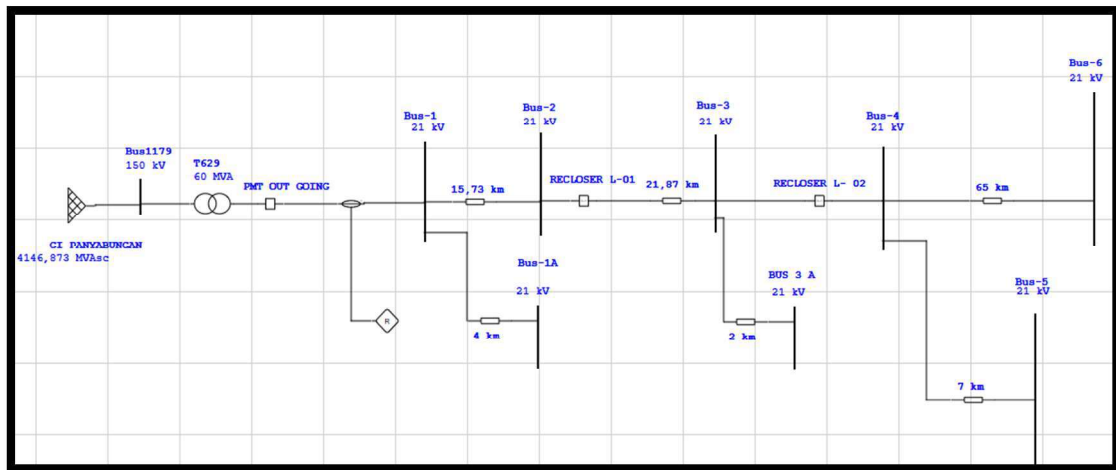


Gambar 4.11 Daerah 1 Penyulang YB-02

Sumber: Penulis, 2020

2) Daerah 2

Pada daerah 2 ini memiliki panjang saluran sebesar 23870 m yakni dari PMT *outgoing* sampai dengan bus 3. Pada daerah 2 ini terdapat 2 pengaman yakni PMT *Outgoing* , dan *Recloser L-01* yang dikerjakan oleh OCR dan GFR masing-masing. Kemudian pada daerah 2 ini *Recloser L-01* merupakan pengaman yang utama dimana apabila terjadi gangguan baik gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, antar fasa atau 3 fasa yang bertugas mengamankan adalah *Recloser* sedangkan PMT *outgoing* di fungsikan sebagai pengaman cadangan apabila *Recloser* mengalami gagal operasi gangguan akan diamankan oleh PMT *outgoing*. Daerah 2 penyulang YB-02 ditunjukkan pada gambar 4.12



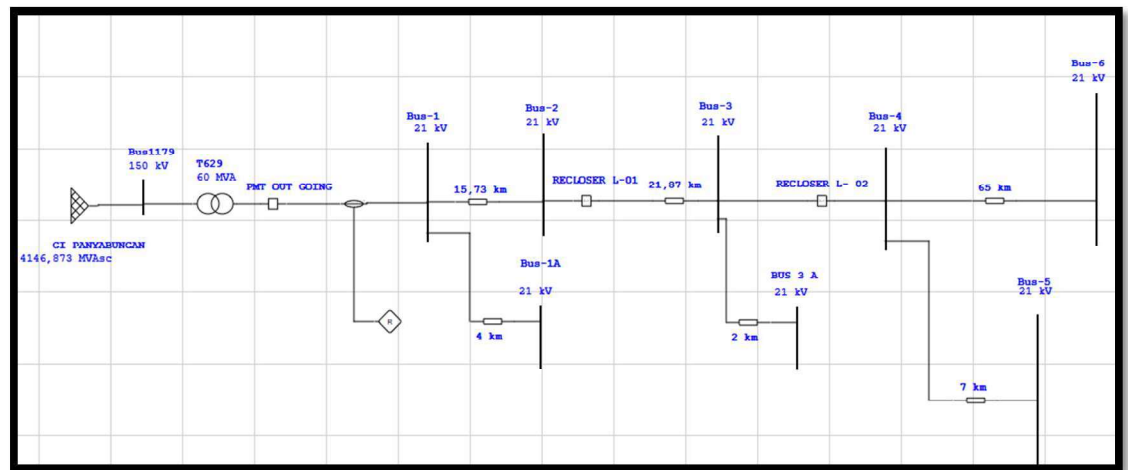
Gambar 4.12 Daerah 2 Penyulang YB-02

Sumber: Penulis, 2020

3) Daerah 3

Pada daerah 3 ini memiliki panjang saluran sebesar 6250 m yakni dari PMT *outgoing* sampai dengan bus 6. Pada daerah 3 ini terdapat 3 pengaman yakni

PMT *outgoing*, *Recloser L-01* dan *Recloser L-02* yang dikerjakan oleh OCR dan GFR masing-masing. Kemudian pada daerah 3 ini *Recloser L-02* merupakan pengaman yang utama dimana apabila terjadi gangguan baik gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, antar fasa atau 3 fasa yang bertugas mengamankan adalah *Recloser L-02* sedangkan *Recloser L-01* di fungsikan sebagai pengaman cadangan apabila *Recloser* mengalami gagal operasi gangguan akan diamankan oleh *Recloser L-01* serta PMT *Outgoing* di fungsikan sebagai pengaman cadangan kedua apabila *Recloser L-02* dan *Recloser L-01* mengalami gagal operasi gangguan akan diamankan oleh PMT *Outgoing*. Daerah 3 penyulang YB-02 ditunjukkan pada gambar 4.13



Gambar 4.13 Daerah 3 Penyulang YB-02

Sumber: Penulis, 2020

4.10.1 *Setting* Komponen - Komponen Pada Penyulang YB-02

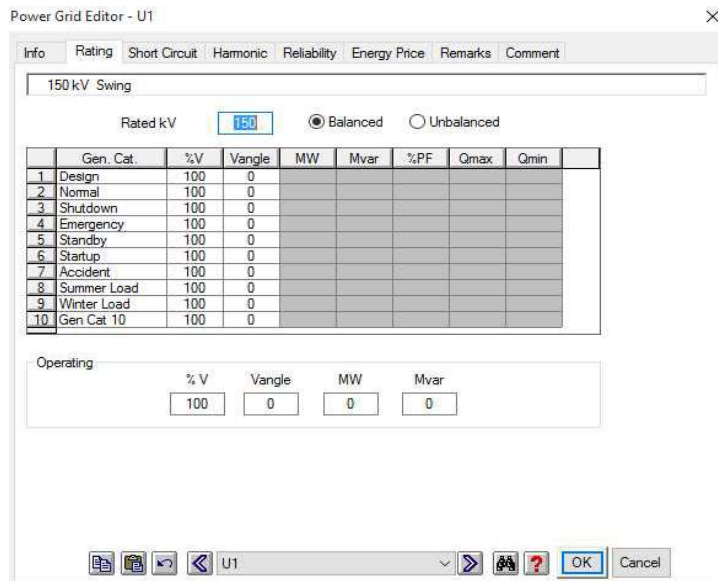
a. *Power Grid*

Pada *Power Grid* penyulang YB-02 2 *setting* untuk rating teganganya yakni sebesar 150 kV, kemudian untuk daya *short circuit* pada

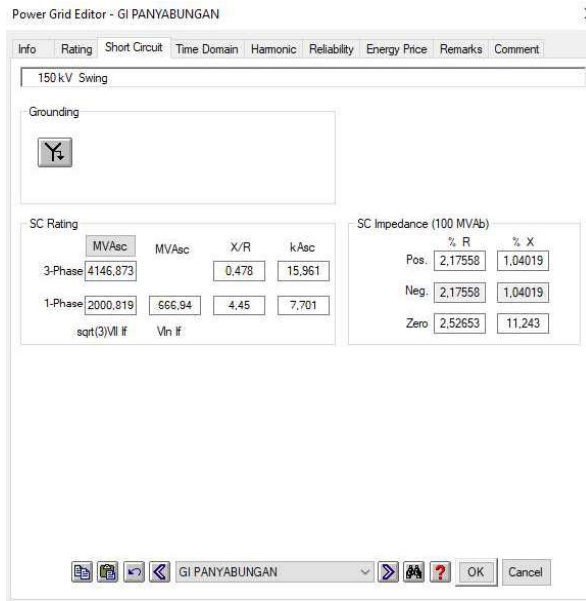
penyulang YB-02 didapat dari data arus hubung singkat 3fasa yang terdapat pada ketentuan arus hubung singkat pada data yang dimiliki oleh PLN P3BS dimana besar arus hubung singkat pada penyulang YB-02 ketentuan arus yakni sebesar 16,96 kA yang akan menghasilkan daya short circuit pada *Power Grid* sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Daya hubung singkat : } P_{sc} &= V \cdot I_{hs} \\ &= \sqrt{3} \cdot 150 \cdot 16,96 \\ &= 4407,53 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Yang kemudian nilai tersebut kita inputkan kedalam tab *power grid* seperti gambar 4.14 dan 4.15 di bawah ini :



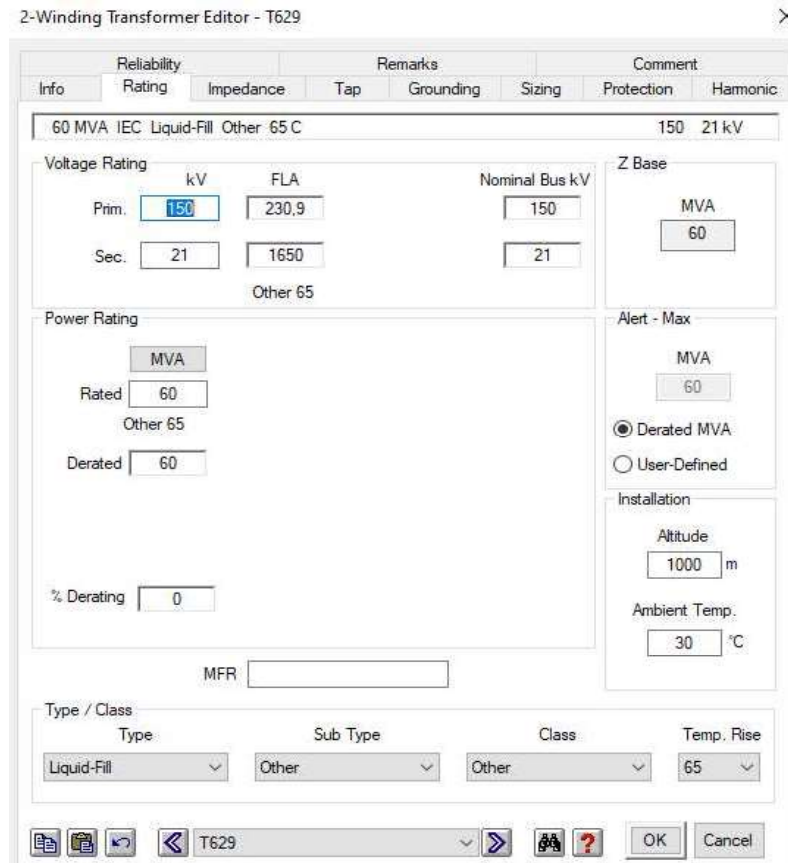
Gambar 4.14 Setting Rating kV *Power Grid*
Sumber: Penulis, 2020



Gambar 4.15 *Setting Daya Hubung Singkat Power Grid*
Sumber: Penulis, 2020

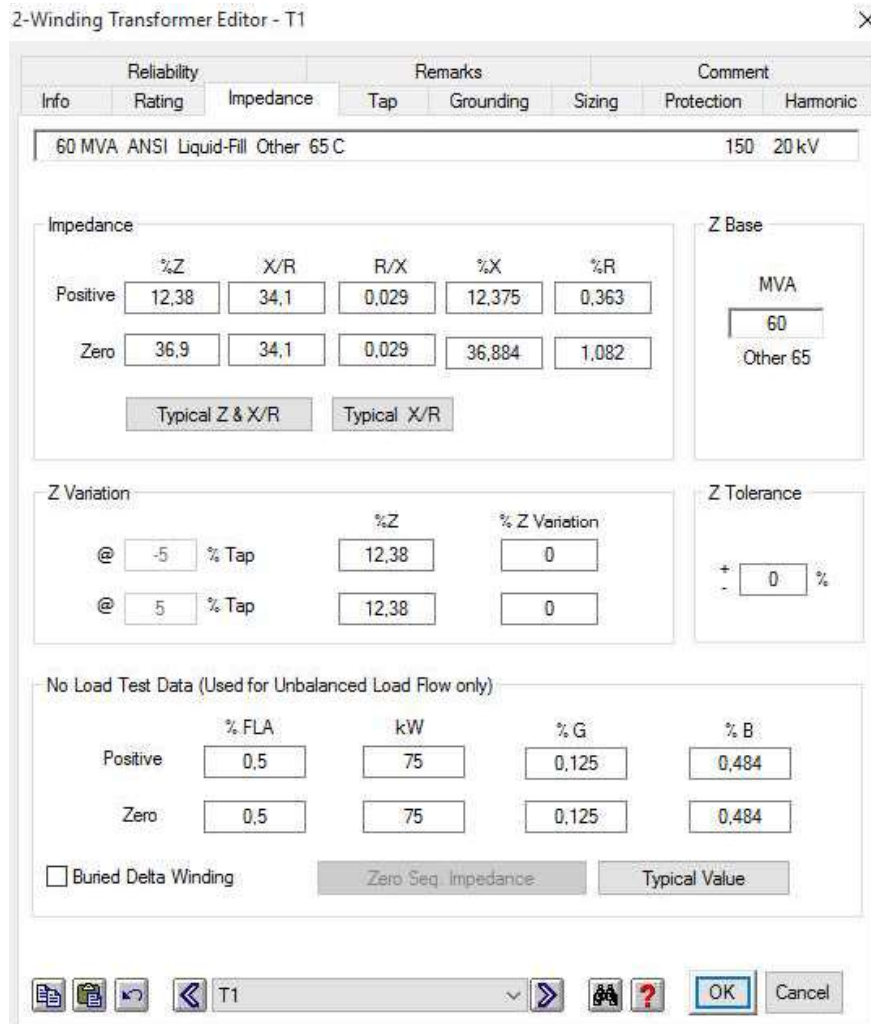
b. Transformator Daya

Untuk setting transformator daya ini yang perlu kita perhatikan pada sisi primer trafo daya ini kita *setting* sebesar 150 kV karena trafo ini sisi primernya terhubung dengan bus yang memiliki rating sebesar 150 kV. pada sisi sekunder trafo daya ini kita *setting* sebesar 20 kV karena trafo ini sisi primernya terhubung dengan bus yang memiliki rating sebesar 20 kV. Pada dasarnya trafo daya ini adalah trafo *step down* dimana trafo ini akan menurunkan besarnya tegangan dari 150 kV ke 20 kV (Nilai standar jaringan tegangan menengah pada system distribusi di Indonesia). Kemudian kita input nilai daya trafonya sebesar 60 MVA sesuai dengan ketentuan soal seperti gambar 4.16 berikut ini.



Gambar 4.16 Setting kV Transformator Daya 60 MVA
Sumber: Penulis, 2020

Kemudian untuk *setting* impedansi pada transformator kita input sesuai data yang sudah ada pada data yang dimiliki oleh PLN APD Sumut, lebih jelasnya untuk setting inputnya sebagai gambar 4.17 berikut ini :



Gambar 4.17 Setting Impedansi Transformator Step Down 60 MVA
Sumber: Penulis, 2020

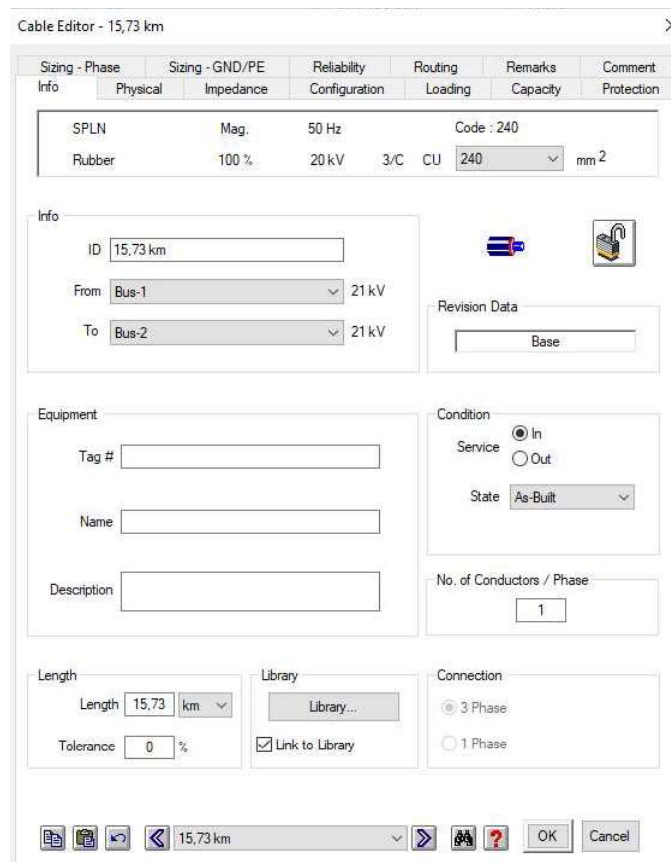
c. Kawat Penghantar

Pada *setting* kawat penghantar yang diperlukan diperhatikan adalah besarnya jarak yang digunakan untuk kawat penghantar tersebut, kemudian jenis kawat penghantar tersebut. Untuk pemilihan jenis kawat penghantar saya memilih jenis kawat penghantar menurut SPLN yang sudah terdapat pada *library* kawat penghantar di etap dengan spesifikasi :

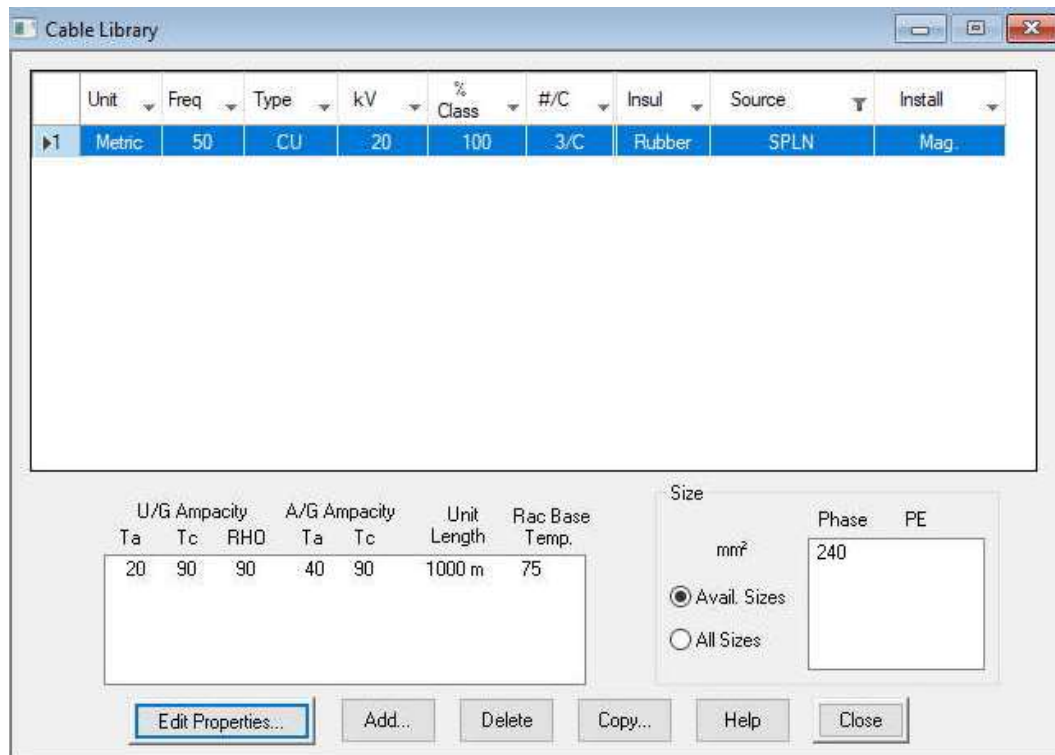
- Luas penampang kabel 240 mm²

- Frekuensi 50 Hz
- Jenis kabel AAAC
- *Over head* kabel

Gambar *setting* kawat penghantar dapat dilihat pada gambar 4.18 dan gambar 4.19



Gambar 4.18 *Setting* Jarak Pada Penghantar
Sumber: Penulis, 2020

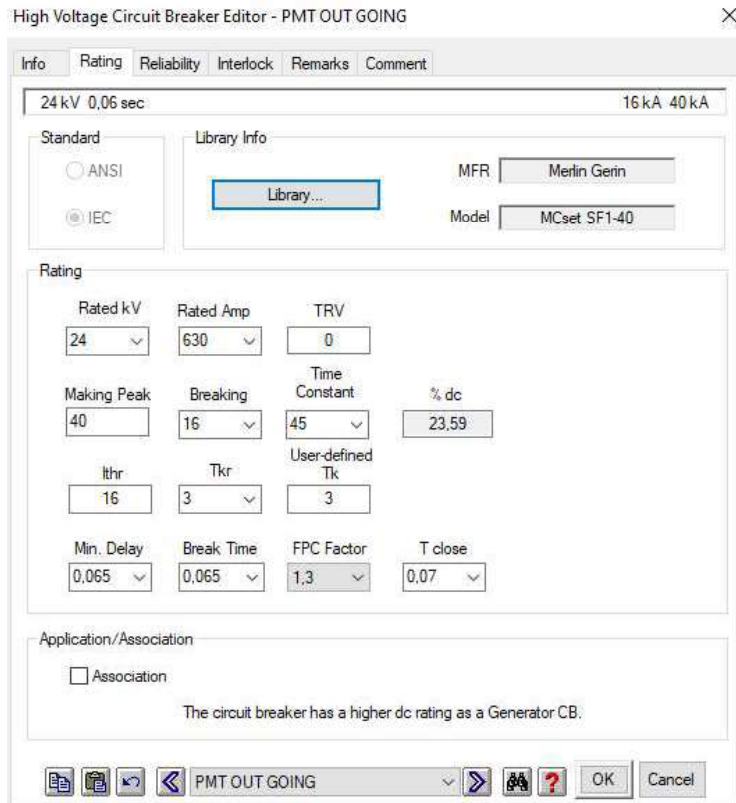


Gambar 4.19 Setting Kawat Penghantar 240 mm²

Sumber: Penulis, 2020

4.10.2 Setting Untuk Circuit Breaker (CB)

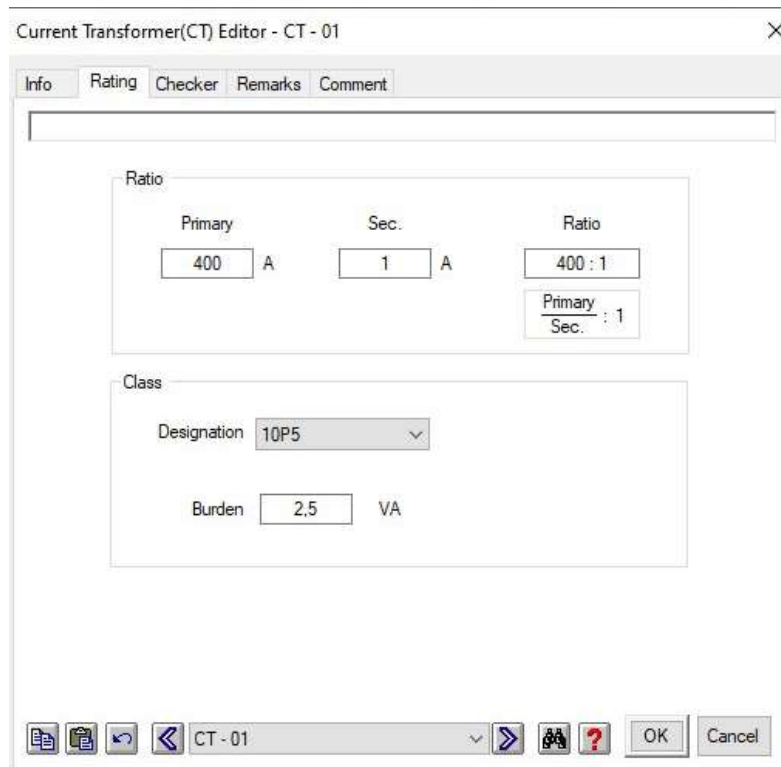
Untuk *setting* CB pertama kita buka tab *library* kemudian kita pilih jenis CB yang kita inginkan disini saya memilih jenis CB yang dibuat oleh perusahaan ABB model 121PM40 yang digunakan pada rating tegangan 24 kV kemudian yang perlu diperhatikan lagi adalah setting besarnya arus Cont Amp yang mana menurut SPLN pada kabel berpeluas penampang 240 mm² memiliki KHA sebesar 625 A kemudian untuk besarnya setting arus continiusnya yakni sebesar 80% dari KHA yakni 480A. Gambar *setting circuit breaker* dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.20 Setting Circuit Breaker Sisi Outgoing
 Sumber: Penulis, 2020

4.10.3 Setting Untuk Current Transformer

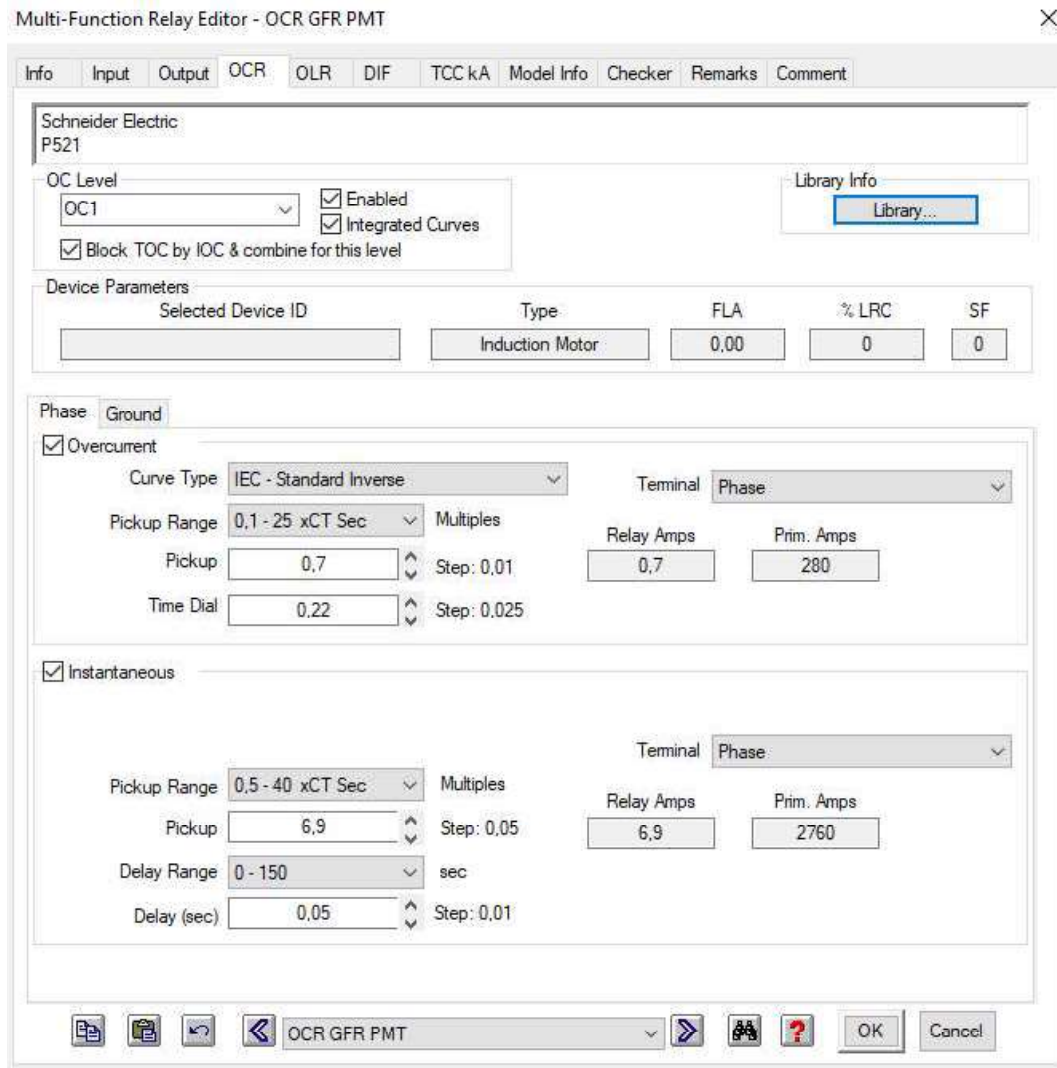
Untuk *setting* daripada *Current transformer* kita sesuaikan dengan data yang diperoleh dari PLN APD SUMUT dimana untuk *Current transformer* untuk mengerjakan *relay* PMT *Incoming* digunakan *current transformer* yang berasio 2000:1 sedangkan pada sisi PMT *Outgoing* digunakan *current transformer* dengan ukuran 400 : 1. *Setting* untuk CT dapat dilihat pada gambar 4.21.



Gambar 4.21 Setting Current Transformer Sisi PMT Outgoing
Sumber: Penulis, 2020

4.10.4 Setting Untuk Over Current Relay dan Ground Fault Relay

Untuk *setting* OCR dan GFR hal hal yang perlu diperhatikan adalah pertama tama kita pilih jenis OCR yang akan kita gunakan pada *library* OCR yang sudah ada ,disini saya memilih OCR merek Schneider Electric model P521 karena untuk model MICOM 123 tidak di sediakan oleh ETAP.Pada *setting* OCR ini kita harus atur pada tab output dimana OCR ini akan kita koordinasikan dengan PMT *Incoming* dan PMT *Outgoing* yang mana ada sebuah arus yang melebihi arus *pick up* OCR akan membuat PMT menjadi *trip*.Relay ini saya gunakan untuk mengamankan gangguan 1 fasa ke tanah,antar fasa,dan 3 fasa pada masing-masing daerah.Untuk *setting* OCRnya dapat kita lihat sebagai berikut :



Gambar 4.22 *Setting Arus Pick Up Pada OCR Untuk Mengerjakan PMT Outgoing*

Sumber: Penulis, 2020

Info Input Output **OCR** OLR DIF TCC kA Model Info Checker Remarks Comment

Schneider Electric
P521

OC Level: OC1 Enabled Integrated Curves
 Block TOC by IOC & combine for this level

Library Info
Library...

Device Parameters

Selected Device ID	Type	FLA	% LRC	SF
	Induction Motor	0,00	0	0

Phase Ground

Overcurrent

Curve Type: IEC - Standard Inverse Terminal: Ground

Pickup Range: 0,01 - 8 xCT Sec Multiples

Pickup: 0,04 Step: 0,005 Relay Amps: 0,04 Prim. Amps: 16

Time Dial: 0,628 Step: 0,025

Instantaneous

Pickup Range: 0,5 - 40 xCT Sec Multiples Terminal: Ground

Pickup: 8 Step: 0,01 Relay Amps: 8 Prim. Amps: 3200

Delay Range: 0 - 150 sec

Delay (sec): 0,03 Step: 0,01

OCR GFR PMT OK Cancel



Gambar 4.23 *Setting Arus Pick Up GFR Untuk Mengerjakan PMT Outgoing*
Sumber: Penulis, 2020

Recloser - RECLOSER L-01

Info	Rating	Controller	Reliability	TCC kA	Model Info	Interlock	Checker	Remarks	Comment
S&C Electric Company		Electronic		25 kA @ 38 kV	Electronic				
Vista (36kV)		Three Phase							
S&C Electric Company									
Vista (SEL Relay Curves)									
<p>Controller Info</p> <p>Electronic - Microprocessor Info... Controller Lib...</p> <p>Manufacturer: S&C Electric Company Model: Vista (SEL Relay Curves)</p>									
<p>Operation</p> <p>Level: TCC <input checked="" type="checkbox"/> Enabled Sequence</p>									
<p>Phase Ground TCC Group: All</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Overcurrent</p> <p>Curve Type: C1 - Standard Inverse</p> <p>Trip Range: 100 - 2400 Primary Amps</p> <p>Trip: 200 Step: 1 Modifiers</p> <p>Time Dial: 0.175 Step: .01</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> High Current</p> <p>Trip Range: 200 - 13200 Primary Amps</p> <p>Trip: 1200 Step: 20 Oper./ Lockout</p> <p>Delay Range: 0 - 0 sec</p> <p>Delay (sec): 0</p>									
<p>RECLOSER L-01 OK Cancel</p>									



Gambar 4.24 Setting Arus Pick Up OCR Untuk Mengerjakan RecloserL-01
Sumber: Penulis, 2020

Recloser - RECLOSER L-01

Info	Rating	Controller	Reliability	TCC kA	Model Info	Interlock	Checker	Remarks	Comment
S&C Electric Company		Electronic	25 kA @ 38 kV						
Vista (36kV)		Three Phase							
S&C Electric Company									
Vista (SEL Relay Curves)									
Controller Info									
Electronic - Microprocessor		Info...	Controller Lib...						
Manufacturer		S&C Electric Company	Model		Vista (SEL Relay Curves)				
Operation									
Level		TCC	<input checked="" type="checkbox"/> Enabled		Sequence				
<hr/>									
Phase		Ground	TCC Group		All				
<input checked="" type="checkbox"/> Overcurrent									
Curve Type		C1 - Standard Inverse							
Trip Range		50 - 400 Primary		Amps					
Trip		50		Step: 1		Modifiers			
Time Dial		0.345		Step: .01					
<input checked="" type="checkbox"/> High Current									
Trip Range		200 - 13200 Primary		Amps					
Trip		820		Step: 20		Oper./Lockout			
Delay Range		0 - 0		sec					
Delay (sec)		0							

Gambar 4.25 Setting Arus Pick Up GFR Untuk Mengerjakan RecloserL-01
Sumber: Penulis, 2020

Recloser - RECLOSER L- 02

Info	Rating	Controller	Reliability	TCC kA	Model Info	Interlock	Checker	Remarks	Comment
S&C Electric Company Vista (36kV)		Electronic	25 kA @ 38 kV		Three Phase				
S&C Electric Company Vista (SEL Relay Curves)									
Controller Info									
Electronic - Microprocessor		Info...		Controller Lib...					
Manufacturer		S&C Electric Company		Model		Vista (SEL Relay Curves)			
Operation									
Level		TCC		<input checked="" type="checkbox"/> Enabled		Sequence			
Phase Ground									
TCC Group		All							
<input checked="" type="checkbox"/> Overcurrent									
Curve Type		C1 - Standard Inverse							
Trip Range		50 - 1200 Primary		Amps					
Trip		144		Step: 1		Modifiers			
Time Dial		0.0675		Step: .01					
<input checked="" type="checkbox"/> High Current									
Trip Range		200 - 13200 Primary		Amps					
Trip		620		Step: 20		Oper./ Lockout			
Delay Range		0 - 0		sec					
Delay (sec)		0							

RECLOSER L- 02

OK Cancel

Gambar 4.26 Setting Arus Pick Up OCR Untuk Mengerjakan RecloserL-02
Sumber: Penulis, 2020

Recloser - RECLOSER L- 02

Info	Rating	Controller	Reliability	TCC kA	Model Info	Interlock	Checker	Remarks	Comment
S&C Electric Company		Electronic		25 kA @ 38 kV					
Vista (36kV)		Three Phase							
S&C Electric Company									
Vista (SEL Relay Curves)									
Controller Info									
Electronic - Microprocessor		Info...	Controller Lib...						
Manufacturer		S&C Electric Company	Model		Vista (SEL Relay Curves)				
Operation									
Level		TCC	<input checked="" type="checkbox"/> Enabled		Sequence				
Phase Ground									
TCC Group All									
<input checked="" type="checkbox"/> Overcurrent									
Curve Type		C1 - Standard Inverse							
Trip Range		50 - 400 Primary		Amps					
Trip		50		Step: 1		Modifiers			
Time Dial		0.107		Step: .01					
<input checked="" type="checkbox"/> High Current									
Trip Range		200 - 13200 Primary		Amps					
Trip		388		Step: 20		Oper./ Lockout			
Delay Range		0 - 0		sec					
Delay (sec)		0							

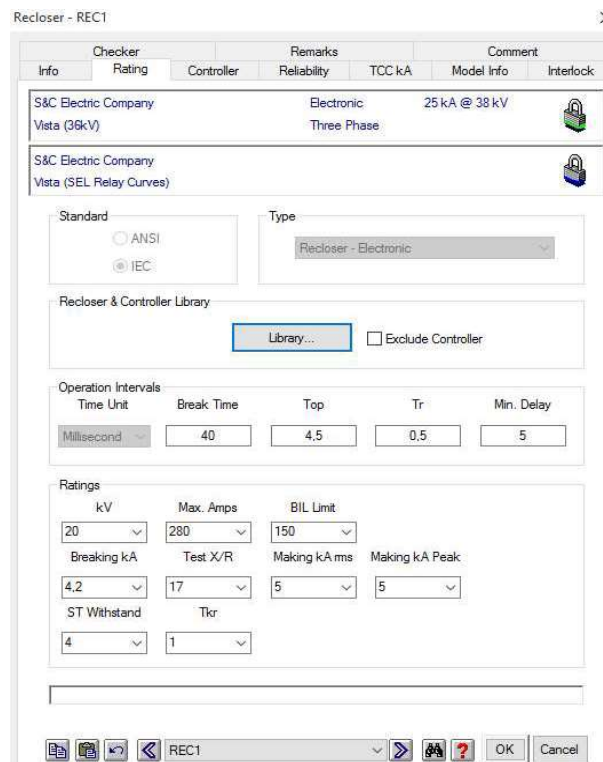
Gambar 4.27 Setting Arus Pick Up GFR Untuk Mengerjakan Recloser L-02

Sumber: Penulis, 2020

4.10.5 Setting Untuk Recloser

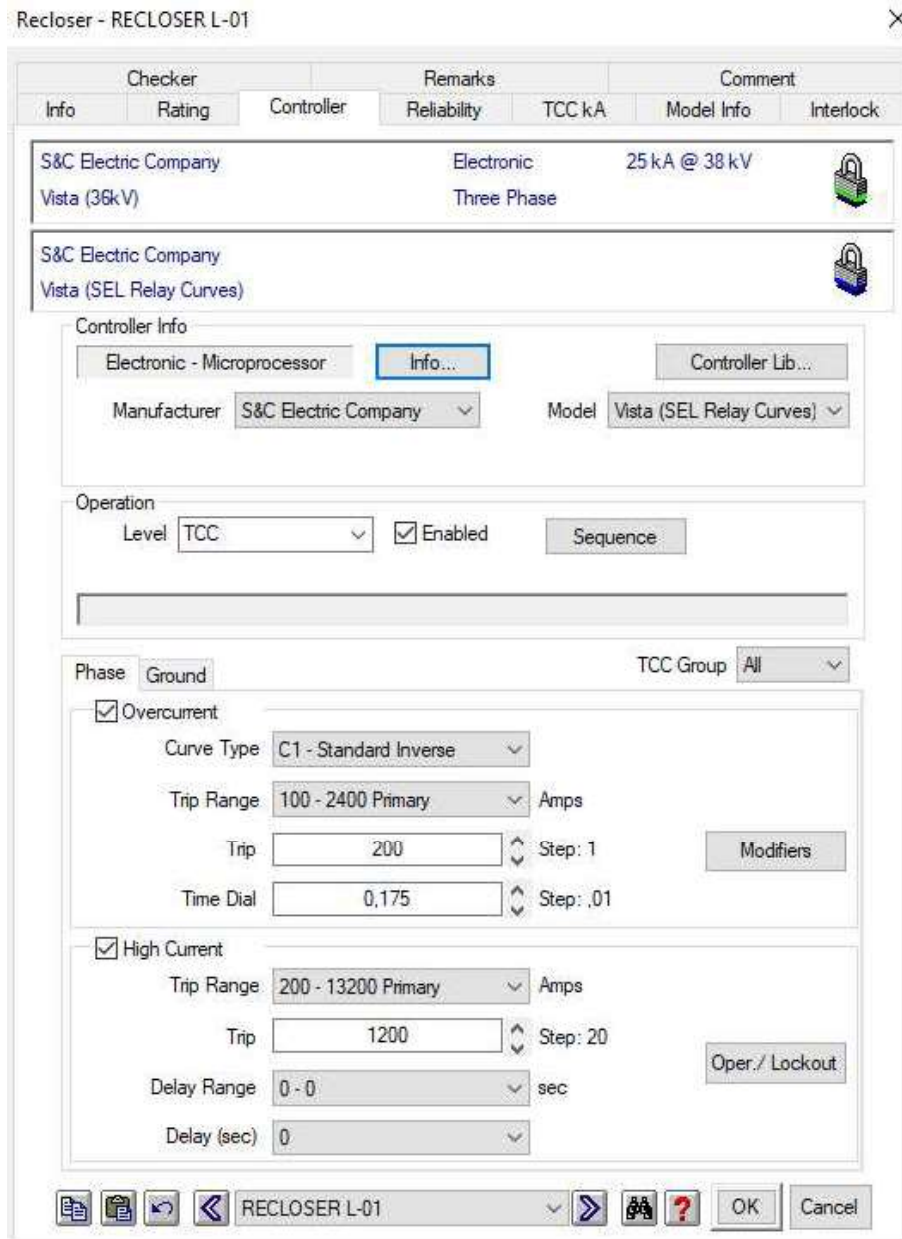
Pada *system* jaringan di penyulang YB-02 terdapat 2 buah *Recloser* dimana wilayah kerjanya untuk mengamankan jaringan dari, pada masing-masing

Recloser terdapat *controller box* yang digunakan untuk *setting Recloser* tersebut. Pertama saya memilih jenis *Recloser* yang sudah disediakan pada *library Recloser* dengan merek *S n C Electric Company* model Vista dengan rating 20 kV, jenis *control box* nya merk *SnC Electric Company* tipe *microprocessor* model Vista (SEL Relay Curves) kemudian hal – hal yang perlu diperhatikan dalam *mengsetting Recloser* yakni BIL LIMIT / Tes Insulasi dasar pada jaringan tegangan menengah sebesar 125 kV maksudnya adalah peralatan proteksi ini apabila terkena arus gangguan yang di sebabkan oleh adanya surja petir *Recloser* mampu menahan arus gangguan tersebut pada saat periode sub peralihan. Untuk itu mari kita lihat gambar 4.28, 4.29, 4.30, 4.31, dan 4.32 di bawah ini untuk pemilihan jenis *Recloser* dan *settingnya*.



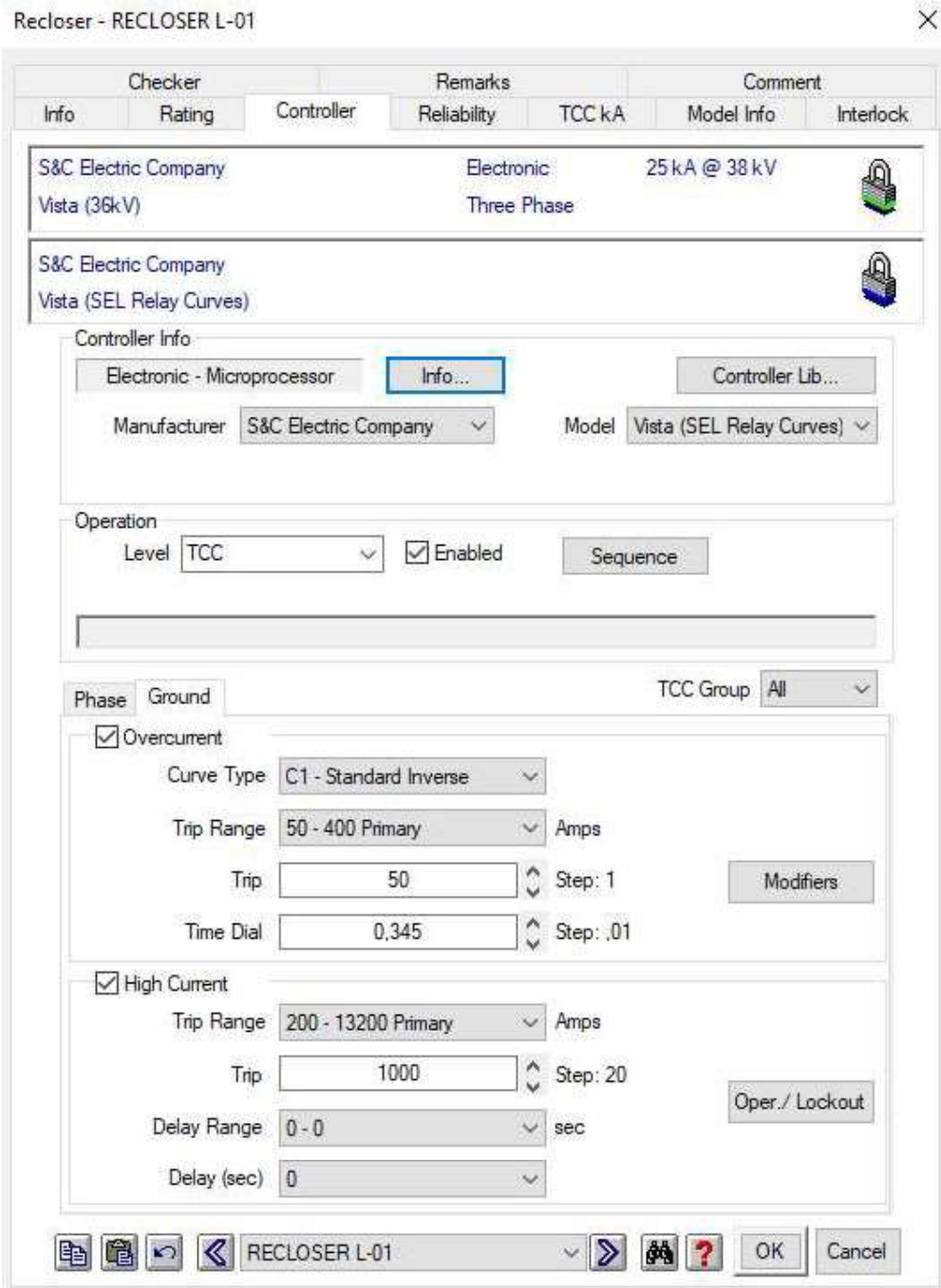
Gambar 4.28 Setting Rating Recloser

Sumber: Penulis, 2020

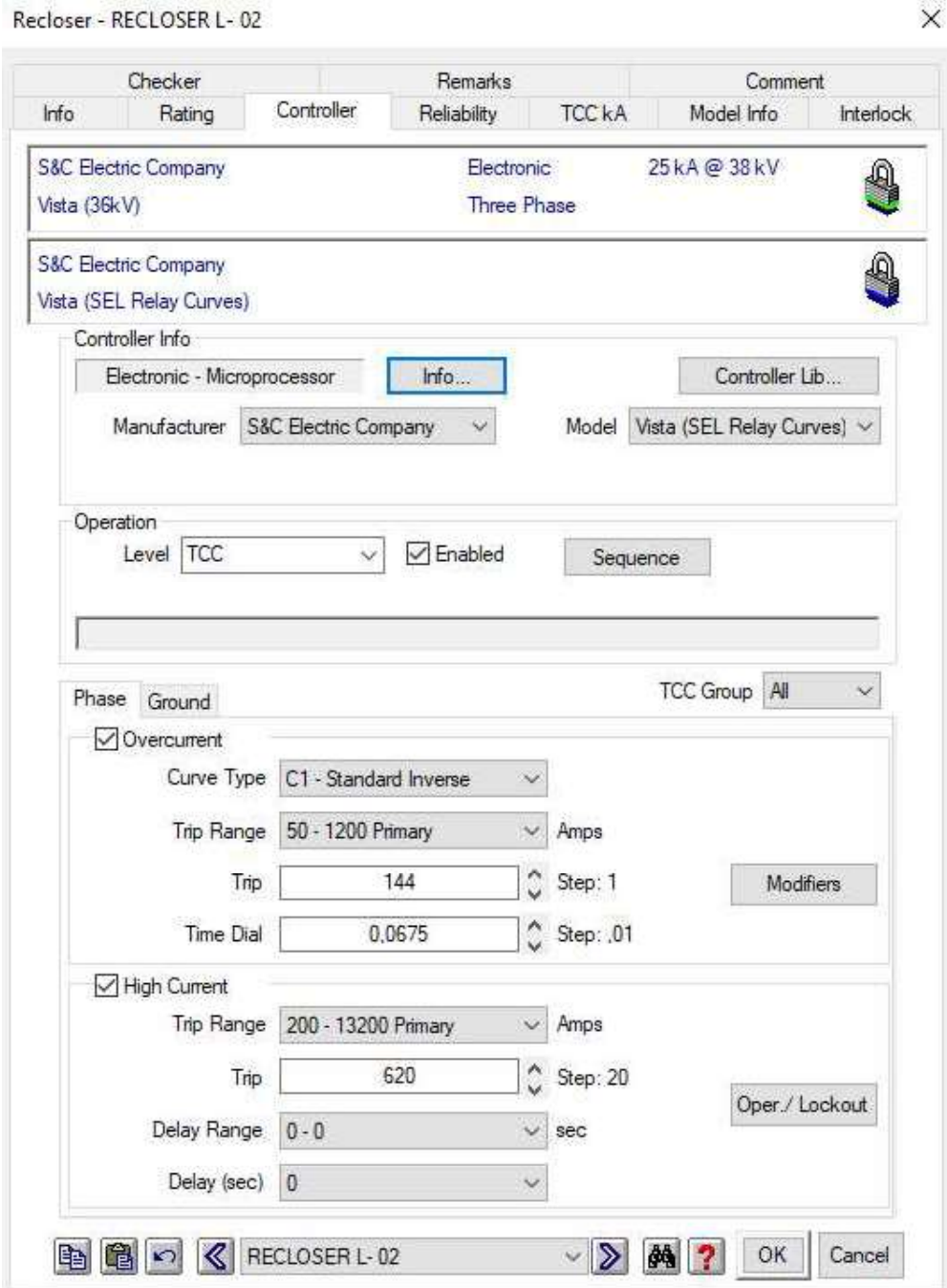


Gambar 4.29 Setting OCR Pada RecloserL-01

Sumber: Penulis, 2020



Gambar 4.30 Setting GFR Pada Recloser L-01
Sumber: Penulis, 2020



Gambar 4.31 Setting OCR Pada Recloser L-02
Sumber: Penulis, 2020

Checker		Remarks		Comment	
Info	Rating	Controller	Reliability	TCC-kA	Interlock
S&C Electric Company Vista (36kV)			Electronic Three Phase	25 kA @ 38 kV	
S&C Electric Company Vista (SEL Relay Curves)					

Controller Info

Electronic - Microprocessor Info... Controller Lib...

Manufacturer: S&C Electric Company Model: Vista (SEL Relay Curves)

Operation

Level: TCC Enabled Sequence

Phase Ground TCC Group: All

Overcurrent

Curve Type: C1 - Standard Inverse

Trip Range: 50 - 400 Primary Amps

Trip: 50 Step: 1 Modifiers

Time Dial: 0,107 Step: .01

High Current

Trip Range: 200 - 13200 Primary Amps

Trip: 388 Step: 20 Oper./ Lockout

Delay Range: 0 - 0 sec

Delay (sec): 0

RECLOSER L- 02 OK Cancel

Gambar 4.32 Setting GFR Pada Recloser L-02

Sumber: Penulis, 2020

4.10.6 Simulasi Hubung Singkat pada Tiap – Tiap Lokasi

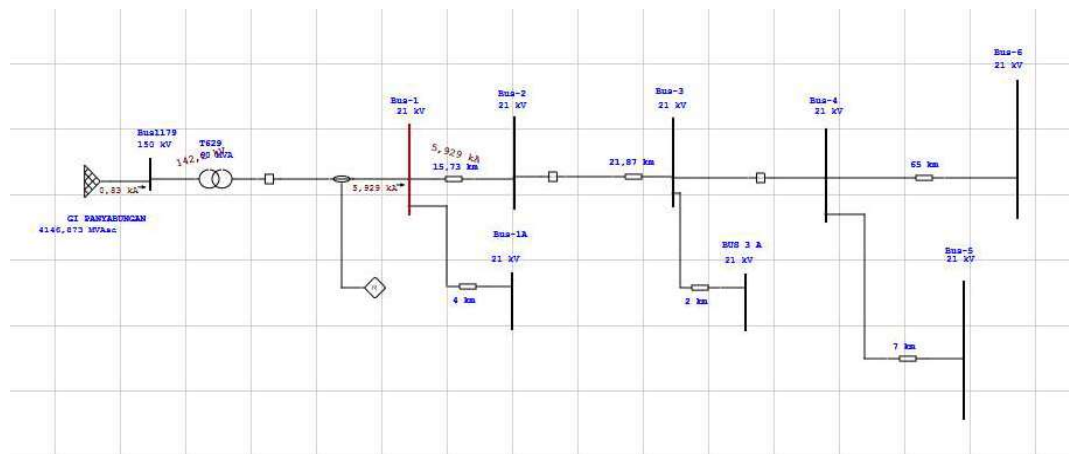
Pada sub bab ini akan dilakukan simulasi hubung singkat pada tiap – tiap lokasi mulai dari lokasi 1, lokasi 2 dan lokasi 3. Kemudian simulasi hubung singkat yang akan dilakukan untuk masing – masing lokasi adalah hubung singkat 3 fasa, hubung singkat antar fasa, hubung singkat 1 fasa ke tanah.

4.10.6.1 Simulasi Hubung Singkat Pada Daerah Lokasi 1

Pada sub bab ini akan di tampilkan simulasi gangguan pada lokasi 1 yang mana panjang lokasi 1 dari PMT *outgoing* yakni 19730 m dan akan ada 3 jenis gangguan yang disimulasikan yakni gangguan 1 fasa ke tanah, gangguan antar fasa dan gangguan 3 fasa.

a. Simulasi Hubung Singkat Gangguan 3 Fasa Pada lokasi 1 :

Simulasi hubung singkat gangguan 3 fasa pada lokasi 1 akan dilakukan pada bus 1. Pada simulasi gangguan 3 fasa ini nantinya akan terlihat besarnya arus gangguan yang terjadi pada bus 1. Untuk lebih jelasnya gambar 3.37 merupakan hasil simulasi gangguan 3 fasa pada lokasi 1 :



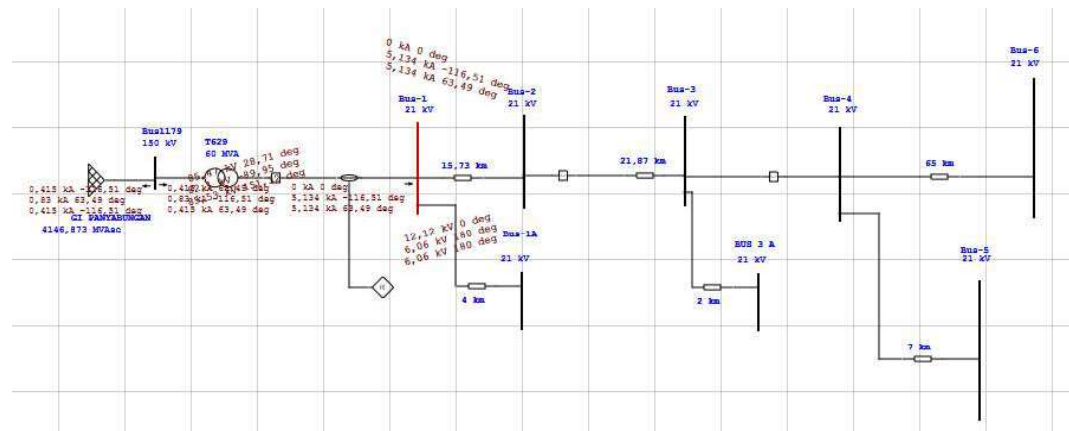
Gambar 4.33 Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 1

Sumber: Penulis, 2020

Dari gambar diatas didapatkan hasil bahwa ketika terjadi hubung singkat pada bus 1 arus hubung singkat yang terjadi sebesar 5,929 Ka

b. Simulasi Hubung Singkat Gangguan Antar Fasa Pada lokasi 1 :

Simulasi hubung singkat gangguan antar fasa pada lokasi 1 akan dilakukan pada bus 1. Pada simulasi gangguan antar fasa ini nantinya akan terlihat besarnya arus gangguan yang terjadi pada bus 1. Untuk lebih jelasnya gambar 3.38 merupakan hasil simulasi gangguan antar fasa pada lokasi 1 :



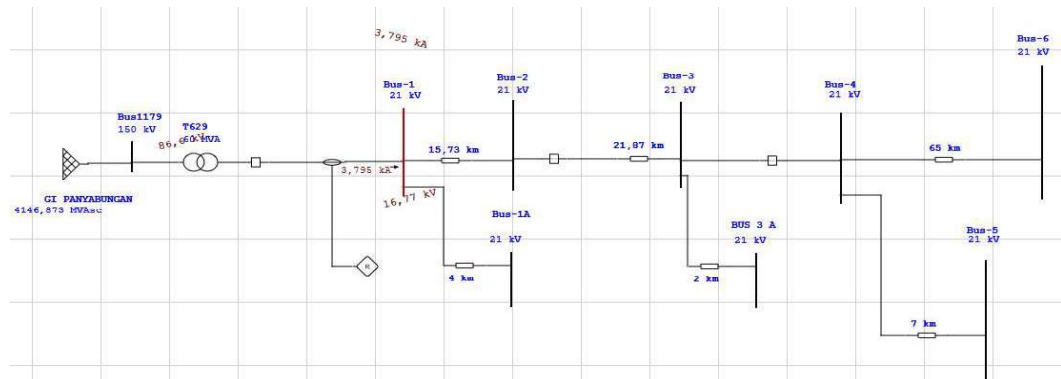
Gambar 4.34 Simulasi Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Pada Lokasi 1

Sumber: Penulis, 2020

Dari gambar 4.34 diatas didapatkan hasil bahwa ketika terjadi hubung singkat pada bus 1 arus hubung singkat yang terjadi sebesar 5,134 Ka

c. Simulasi Hubung Singkat Gangguan 1 Fasa ke Tanah pada Lokasi 1 :

Simulasi hubung singkat gangguan antar fasa pada lokasi 1 akan dilakukan pada bus 1. Pada simulasi gangguan antar fasa ini nantinya akan terlihat besarnya arus gangguan yang terjadi pada bus 1. Untuk lebih jelasnya gambar 3.39 merupakan hasil simulasi gangguan antar fasa pada lokasi 1 :



Gambar 4.35 Simulasi Gangguan 1 Fasa ke Tanah Pada Lokasi 1
Sumber: Penulis, 2020

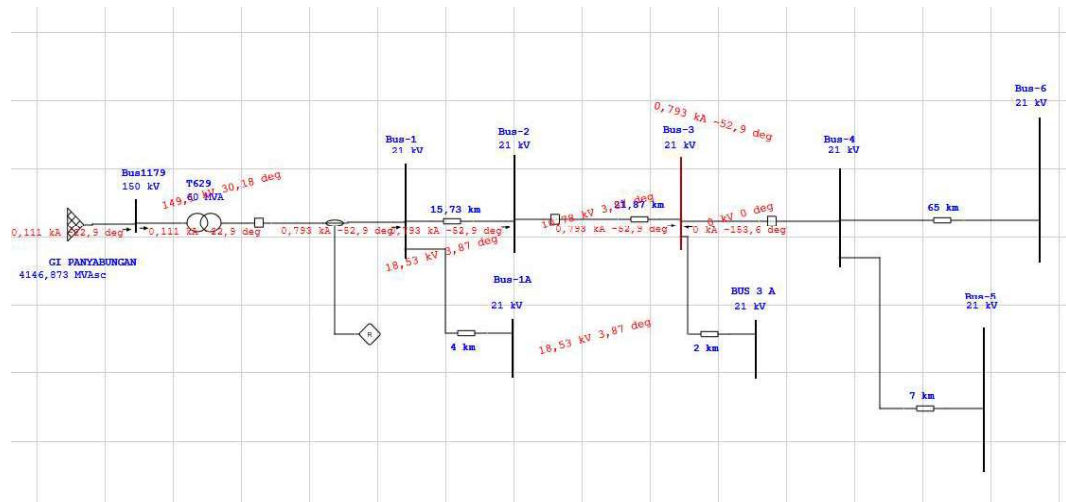
Dari gambar 4.35 diatas didapatkan hasil bahwa ketika terjadi hubung singkat satu fasa ketanah pada bus 1 arus hubung singkat yang terjadi sebesar 3,88 kA.

4.10.6.2 Simulasi Gangguan Hubung Singkat Pada Lokasi 2

Pada sub bab ini akan di tampilkan simulasi gangguan pada lokasi 2 yang mana panjang lokasi 2 dari PMT *outgoing* yakni 41250 m dan akan ada 3 jenis gangguan yang akan disimulasikan yakni gangguan 1 fasa ke tanah, gangguan antar fasa dan gangguan 3 fasa. Gangguan tersebut akan disimulasikan pada bus 3.

a. Simulasi Hubung Singkat Gangguan 3 Fasa Pada lokasi 2 :

Simulasi hubung singkat gangguan 3 fasa pada lokasi 2 akan dilakukan pada bus 3. Pada simulasi gangguan 3 fasa ini nantinya akan terlihat besarnya arus gangguan yang terjadi. Untuk lebih jelasnya gambar 4.36 merupakan hasil simulasi gangguan hubung singkat 3 fasa pada lokasi 2 :



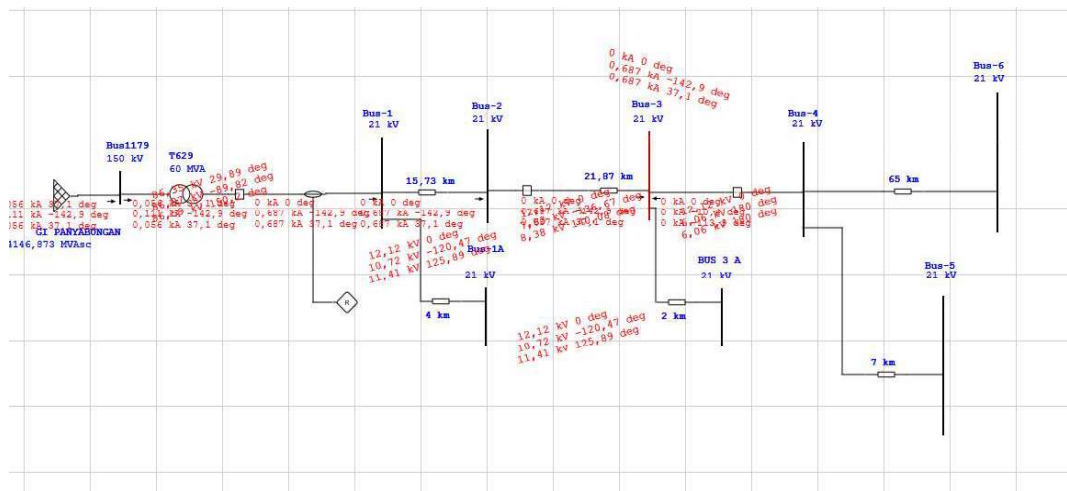
Gambar 4.36 Simulasi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 2

Sumber: Penulis, 2020

Dari gambar 4.36 diatas didapatkan hasil bahwa ketika terjadi hubung singkat satu fasa ketanah pada bus 4 arus hubung singkat yang terjadi sebesar 0,793 kA.

b. Simulasi Hubung Singkat Antar Fasa Pada Lokasi 2 :

Simulasi gangguan hubung singkat antar fasa pada lokasi 2 akan dilakukan pada bus 3. Pada simulasi gangguan hubung singkat antar fasa ini nantinya akan terlihat besarnya arus gangguan yang terjadi .Untuk lebih jelasnya gambar 4.37 merupakan hasil simulasi gangguan antar fasa pada lokasi 2 :



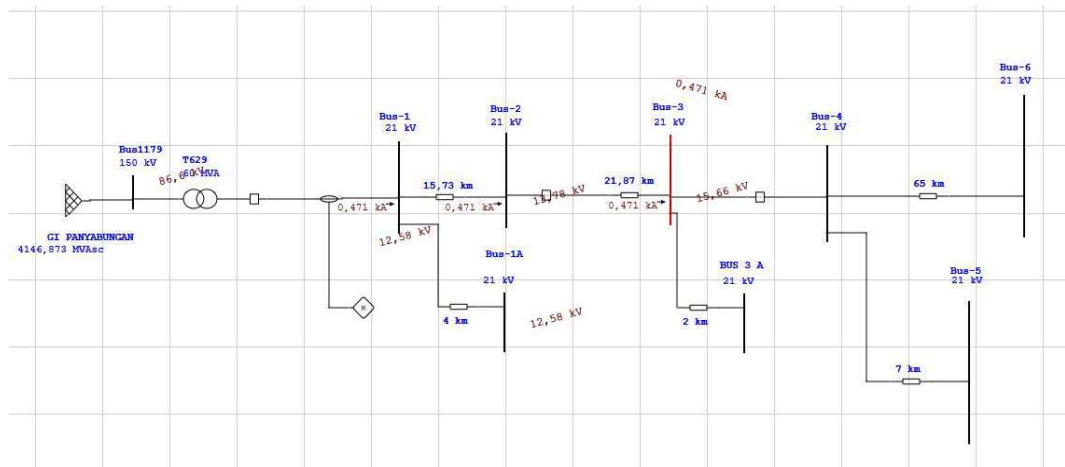
Gambar 4.37 Simulasi Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Pada Lokasi 2

Sumber: Penulis, 2020

Dari gambar 4.37 diatas didapatkan hasil bahwa ketika terjadi hubung singkat antar pada bus 4 arus hubung singkat yang terjadi sebesar 0,687 kA.

c. Simulasi Hubung Singkat Gangguan 1 Fasa ke Tanah Pada Lokasi 2 :

Simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah pada lokasi 2 akan dilakukan pada bus 3. Pada simulasi gangguan 1 fasa ke tanah ini nantinya akan terlihat besarnya arus gangguan yang terjadi. Untuk lebih jelasnya gambar 4.38 merupakan hasil simulasi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada lokasi 2 :



Gambar 4.38 Simulasi Hubung Singkat Gangguan 1 Fasa ke Tanah Pada Lokasi 2

Sumber: Penulis, 2020

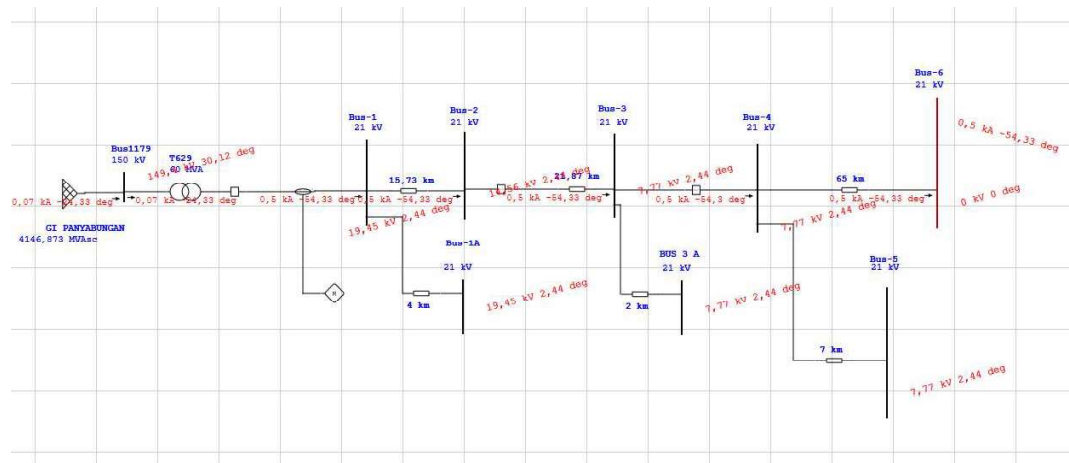
Dari gambar 4.38 diatas didapatkan hasil bahwa ketika terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada bus 3 di lokasi 2 besarnya arus hubung singkat yang terjadi sebesar 0,471 kA.

4.10.6.3 Simulasi Gangguan Hubung Singkat Pada Lokasi 3

Pada sub bab ini akan di tampilkan simulasi gangguan pada lokasi 3 yang mana panjang lokasi 3 dari PMT *outgoing* yakni 62500 m dan akan ada 3 jenis gangguan yang disimulasikan yakni gangguan 1 fasa ke tanah, gangguan antar fasa dan gangguan 3 fasa. gangguan tersebut akan disimulasikan pada bus 6.

a. Simulasi Hubung Singkat Gangguan 3 Fasa Pada lokasi 3 :

Simulasi hubung singkat gangguan 3 fasa pada lokasi 3 akan dilakukan pada bus 6. Pada simulasi gangguan 3 fasa ini nantinya akan terlihat besarnya arus gangguan yang terjadi pada bus 6. Untuk lebih jelasnya gambar 4.39 merupakan hasil simulasi gangguan 3 fasa pada lokasi 3 :



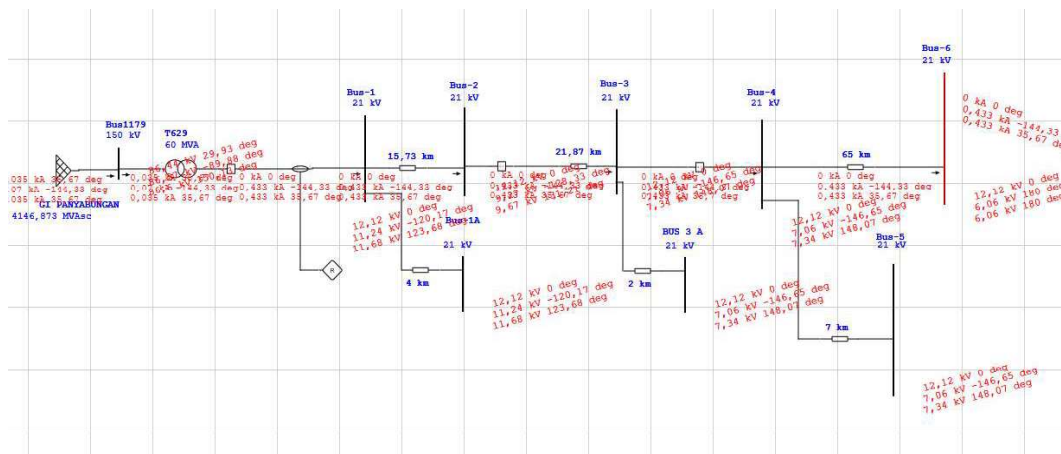
Gambar 4.39 Simulasi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 3

Sumber: Penulis, 2020

Dari gambar 4.39 diatas didapatkan hasil bahwa ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 6 di lokasi 3 besarnya arus hubung singkat yang terjadi sebesar 0,5 kA.

b. Simulasi Hubung Singkat Antar Fasa Pada Lokasi 3 :

Simulasi hubung singkat antar fasa pada lokasi 3 akan dilakukan pada bus 8. Pada simulasi gangguan antar fasa ini nantinya akan terlihat besarnya arus gangguan yang terjadi. Untuk lebih jelasnya, gambar 4.40 merupakan hasil simulasi gangguan antar fasa pada lokasi 3 :



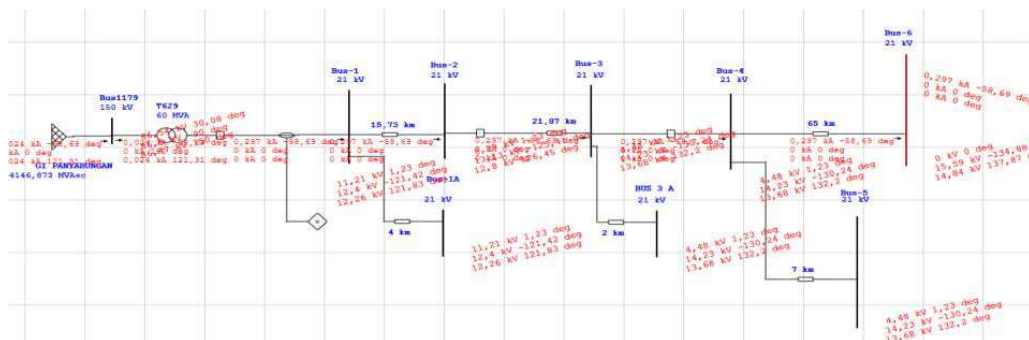
Gambar 4.40 Simulasi Hubung Singkat Gangguan Antar Fasa Pada Lokasi 3

Sumber: Penulis, 2020

Dari gambar 4.40 diatas didapatkan hasil bahwa ketika terjadi gangguan hubung singkat antar fasa pada bus 6 di lokasi 3 besarnya arus hubung singkat yang terjadi sebesar 0,433 kA.

c. Simulasi Hubung Singkat Gangguan 1 Fasa ke Tanah Pada Lokasi 3 :

Simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah pada lokasi 3 akan dilakukan pada bus 6. Pada simulasi gangguan satu fasa ke tanah ini nantinya akan terlihat besarnya arus gangguan yang terjadi. Untuk lebih jelasnya gambar 4.41 merupakan hasil simulasi gangguan satu fasa ke tanah pada lokasi 3 :



Gambar 4.41 Simulasi Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Sumber: Penulis, 2020

Dari gambar 4.41 diatas didapatkan hasil bahwa ketika terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada bus 6 di lokasi 3 besarnya arus hubung singkat yang terjadi sebesar 0,297 kA.

4.10.7 Koordinasi pengaman pada penyulang YB-02

Pada penyulang YB-02 digunakan beberapa pengaman jaringan diantaranya PMT *Outgoing*, *Recloser L-01* dan *Recloser L-02*. Setiap pengaman ditempatkan pada setiap daerah pengamanan. Hal ini bertujuan agar dapat melokalisir lokasi gangguan, sehingga keandalan dari suatu jaringan dapat menjadi lebih baik. Agar dapat membuktikan bahwa koordinasi pengaman pada penyulang YB-02 yang telah saya setting berdasarkan perhitungan saya apakah sudah bekerja dengan baik atau belum, maka harus dilakukan simulasi di setiap daerah pengamanan, agar dapat mengetahui apakah ada kesalahan koordinasi dari pengaman pada penyulang YB-02.

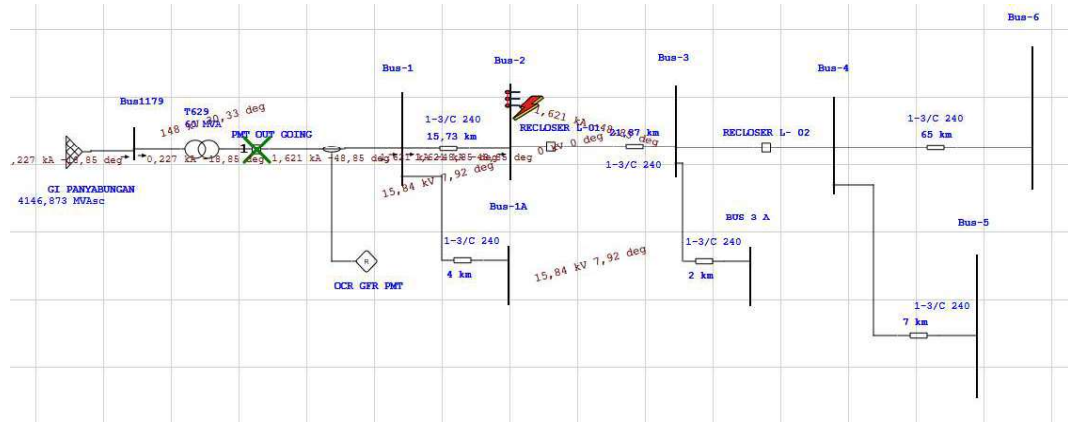
4.10.7.1 Simulasi Koordinasi Peralatan Proteksi Dalam Mengamankan Gangguan 3 Fasa

Pada sub bab ini saya akan mensimulasikan gangguan antar fasa pada 3 lokasi yaitu lokasi 1, lokasi 2, dan lokasi 3.

a) Simulasi Koordinasi Peralatan Proteksi Dalam Mengamankan Gangguan 3 Fasa Pada Lokasi 1

Pada simulasi kali ini yang akan saya lakukan adalah melakukan simulasi hubung singkat 3 fasa pada lokasi 1 dimana ujung lokasi 1 terletak pada bus 2. Pada lokasi 1 jika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa yang akan mengamankan adalah PMT *Outgoing*. Gambar 3.69 berikut ini adalah

simulasi koordinasi pengaman pada daerah 1 dalam mengamankan gangguan 3 fasa :



Gambar 4.42 Simulasi Koordinasi Peralatan Proteksi Dalam Mengamankan Gangguan 3 Fasa Pada Lokasi 1
Sumber: Penulis, 2020

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus-2

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 06-09-2020

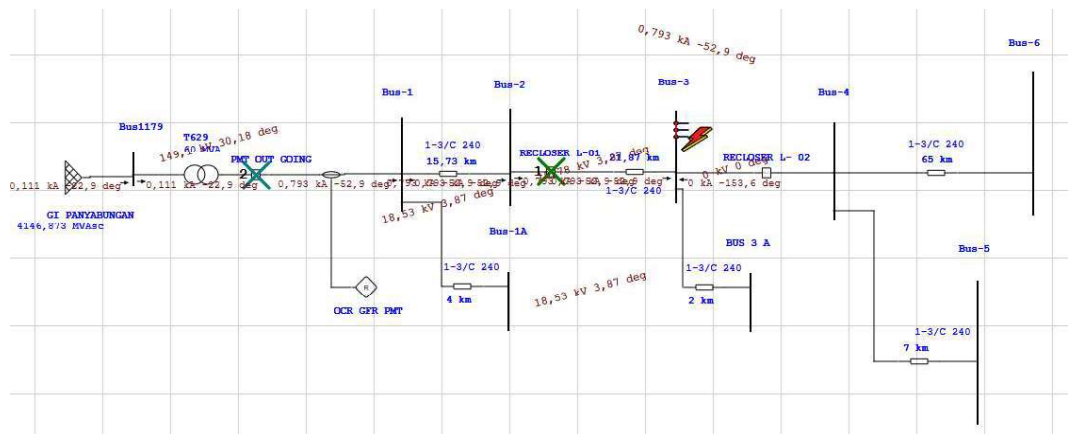
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
862	OCR GFR P...	1,621	862		Phase - OC1 - 51
927	PMT OUT ...	65,0			Tripped by OCR GFR PMT Phase - OC1 - 51

Gambar 4.43 Laporan Analisa Hubung Singkat Pada Etap Jika Terjadi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 1
Sumber: Penulis, 2020

Dari data diatas didapatkan hasil bahwa ketika terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 2 arus hubung singkat yang terjadi sebesar 1,693 kA. Arus hubung singkat yang terjadi pada bus 2 melebihi setting arus pick up pada OCR sehingga OCR akan bekerja dengan waktu kerja 0,8 sek. Selain itu dari data laporan hubung singkat diatas dapat kita lihat pula waktu kerja membukanya PMT outgoing sebesar 0,9 sek. Hal ini membuktikan bahwa koordinasi peralatan proteksi pada lokasi 3 sudah baik.

b) Simulasi Koordinasi Peralatan Proteksi dalam Mengamankan Gangguan 3 Fasa Pada Lokasi 2

Pada simulasi kali ini yang akan saya lakukan adalah melakukan simulasi hubung singkat 3 fasa pada lokasi 2 dimana ujung lokasi 2 terletak pada bus 3. Pada lokasi 2 jika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa yang akan mengamankan adalah *Recloser* L-01 sedangkan *PMT Outgoing* sebagai *back up*. Gambar 4.44 berikut ini adalah simulasi koordinasi pengaman pada daerah 2 dalam mengamankan gangguan 3 fasa :



Gambar 4.44 Simulasi Koordinasi Peralatan Proteksi Dalam Mengamankan Gangguan 3 Fasa Pada Lokasi 2

Sumber: Penulis, 2020

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus-3

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 06-09-2020

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
917	RECLOSER...	0,793	877	917	1st Operation Phase TCC TOC
1464	OCR GFR P...	0,793	1464		Phase - OC1 - 51
1529	PMT OUT ...		65,0		Tripped by OCR GFR PMT Phase - OC1 - 51

Gambar 4.45 Laporan Analisa Hubung Singkat Pada Etap Jika Terjadi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi

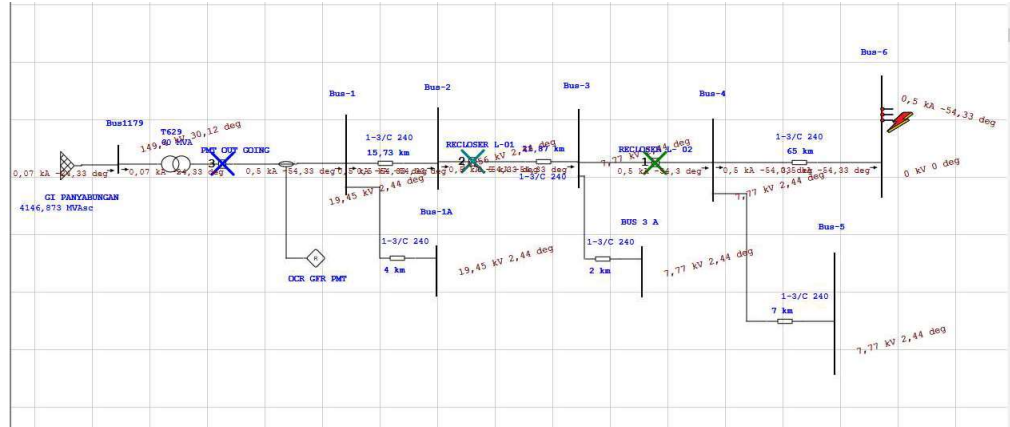
Sumber: Penulis, 2020

Dari data diatas didapatkan hasil bahwa ketika terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 3 arus hubung singkat yang terjadi sebesar 0,793 kA. Arus hubung singkat yang terjadi pada bus 6 melebihi setting arus pick up pada OCR sehingga OCR akan bekerja dengan waktu kerja 0,9 sekon. Selain itu dari data laporan hubung singkat diatas dapat kita lihat pula waktu kerja membukanya PMT outgoing sebesar 1,5 sekon. Hal ini membuktikan bahwa koordinasi peralatan proteksi pada lokasi 2 sudah baik.

c) Simulasi Koordinasi Peralatan Proteksi dalam Mengamankan Gangguan 3 Fasa pada Lokasi 3

Pada simulasi kali ini yang akan saya lakukan adalah melakukan simulasi hubung singkat 3 fasa pada lokasi 3 dimana ujung lokasi 3 terletak pada bus 6. Pada lokasi 3 jika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa yang akan mengamankan adalah *Recloser* L-02 sedangkan *Recloser* L-01 berperan

sebagai *back up* pertama dan PMT *Outgoing* sebagai *back up* ketiga. Gambar 4.46 berikut ini adalah simulasi koordinasi pengaman pada daerah 3 dalam mengamankan gangguan 3 fasa :



Gambar 4.46 Simulasi Koordinasi Peralatan Proteksi Dalam Mengamankan Gangguan 3 Fasa Pada Lokasi 3
Sumber: Penulis, 2020

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus-6

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 06-09-2020

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
415	RECLOSER...	0,5	375	415	1st Operation - Phase - TCC - TOC
1364	RECLOSER...	0,5	1324	1364	1st Operation - Phase - TCC - TOC
2639	OCR GFR P...	0,5	2639		Phase - OC1 - 51
2704	PMT OUT ...		65,0		Tripped by OCR GFR PMT Phase - OC1 - 51

Gambar 4.47 Laporan Analisa Hubung Singkat Pada Etap Jika Terjadi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Lokasi 3
Sumber: Penulis, 2020

Dari data diatas didapatkan hasil bahwa ketika terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 6 arus hubung singkat yang terjadi sebesar 0,5 kA. Arus hubung singkat yang terjadi pada bus 6 melebihi setting arus pick up pada OCR sehingga OCR akan bekerja dengan waktu kerja 0,4 sekon. Selain itu dari data laporan hubung singkat diatas dapat kita lihat pula waktu kerja dari OCR *Recloser* L-01 bekerja dengan waktu kerja yakni 1,364 sekon dan waktu membukanya PMT outgoing sebesar 2,7 sekon. Hal ini membuktikan bahwa koordinasi peralatan proteksi pada lokasi 3 sudah baik.

4.10.8 Koordinasi Relai OCR dan GFR dengan Grafik *Star View*

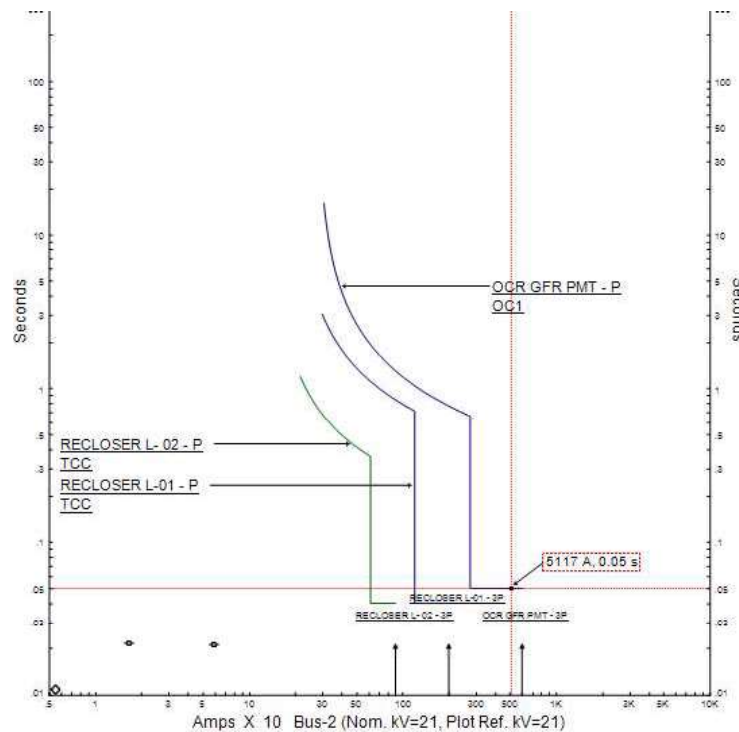
Pada sub bab ini saya akan memberikan penjelasan mengenai koordinasi relai OCR dan GFR untuk mengamankan peralatan – peralatan listrik seperti trafo daya 60MVA ataupun penghantar yang digunakan pada penyulang YB 2 dengan grafik *starview*, dengan grafik *starview* akan memudahkan kita untuk melihat apakah setting pada relay OCR atau GFR sudah di atur dengan baik.

4.10.8.1 Koordinasi Relai OCR dengan Grafik *Star View*

Untuk melihat bagaimana koordinasi relai OCR untuk mengerjakan PMT PMT *Outgoing* dan *Recloser* dalam mengamankan gangguan hubung singkat untuk mengamankan peralatan listrik seperti trafo daya 60 MVA dan penghantar yang digunakan pada penyulang YB-02 dengan grafik *starview* saya akan memberikan analisa berdasarkan gangguan hubung singkat yang terjadi pada tiap – tiap lokasi seperti dibawah ini.

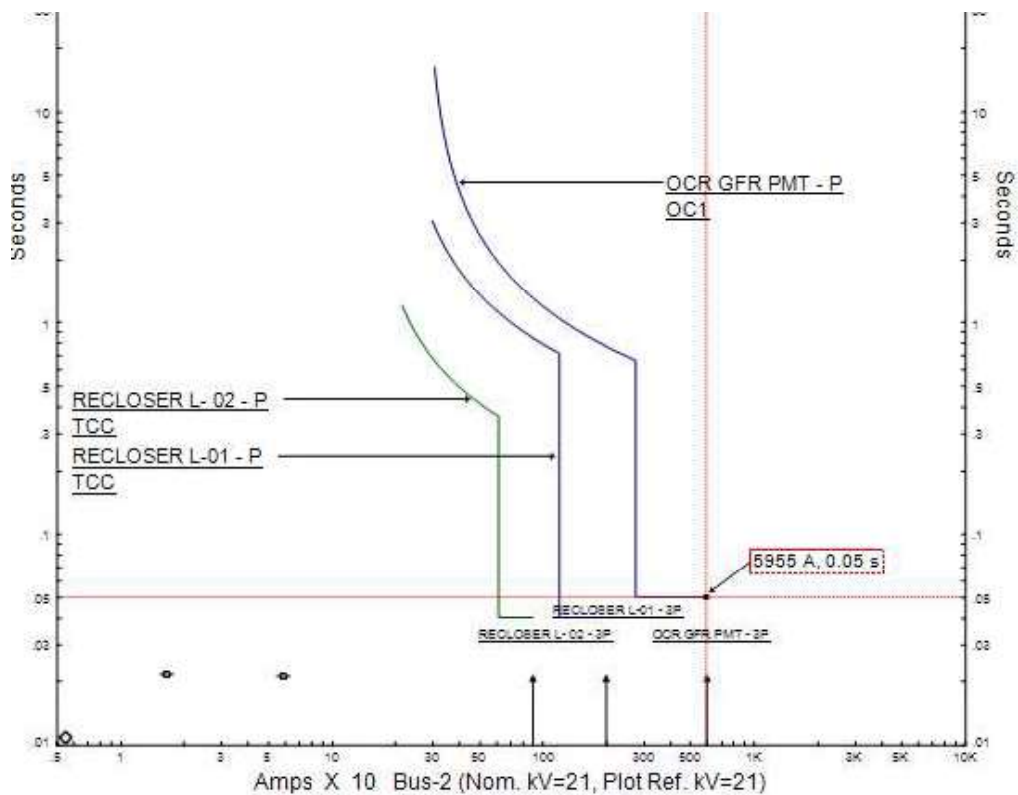
a. Analisa Koordinasi Relay OCR Menggunakan Grafik Starview pada Lokasi 1

Untuk melihat bagaimana koordinasi relay OCR yang terpasang pada tiap - tiap peralatan proteksi seperti PMT *outgoing*, dan *Recloser* saya akan memberikan 2 simulasi gangguan yakni gangguan hubung singkat antar fasa dan hubung singkat 3 fasa yakni gangguan antar fasa dengan arus gangguan sebesar 5,1 kA dan gangguan tiga fasa dengan arus gangguan sebesar 5,9 kA (berdasarkan tabel 3.14) Pada kedua gangguan tersebut koordinasi relay diatas relay yang bekerja adalah relay OCR pada sisi PMT *outgoing* untuk lebih jelasnya pada grafik *starview* gambar 4.48 dan gambar 4.49 dibawah ini:



Gambar 4.48 Grafik Starview Koordinasi Relay OCR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Pada Lokasi 1
Sumber: Penulis, 2020

Pada gambar 3.73 diatas dapat kita lihat apabila terjadi gangguan hubung singkat antar fasa sebesar 5,150 kA pada lokasi 1 yang berkerja adalah relai OCR pada sisi PMT *outgoing* dimana waktu kerjanya 0,07 detik sehingga koordinasi pengaman apabila terjadi gangguan hubung singkat antar fasa pada lokasi 1 sudah baik karena PMT *outgoing* yang berkerja untuk mengamankan gangguan sesuai wilayah kerja dari PMT *outgoing*.



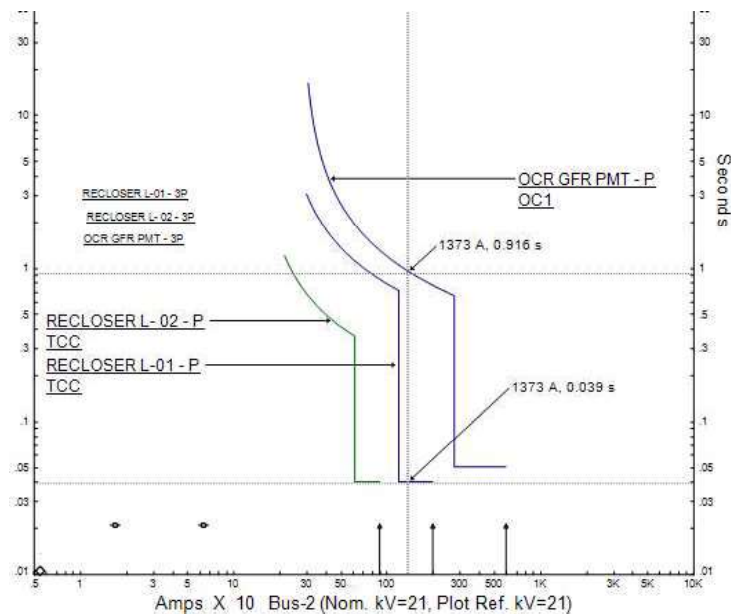
Gambar 4.49 Grafik Starview Koordinasi Relai OCR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Lokasi 1
Sumber: Penulis, 2020

Pada gambar 4.49 diatas dapat kita lihat apabila terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa sebesar 5986 A pada lokasi 1 yang berkerja adalah relay OCR pada sisi PMT *outgoing* dimana waktu kerjanya 0,06 detik sehingga koordinasi pengaman apabila terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa

pada lokasi 1 sudah baik karena PMT *outgoing* yang berkerja untuk mengamankan gangguan sesuai wilayah kerja dari PMT *outgoing*.

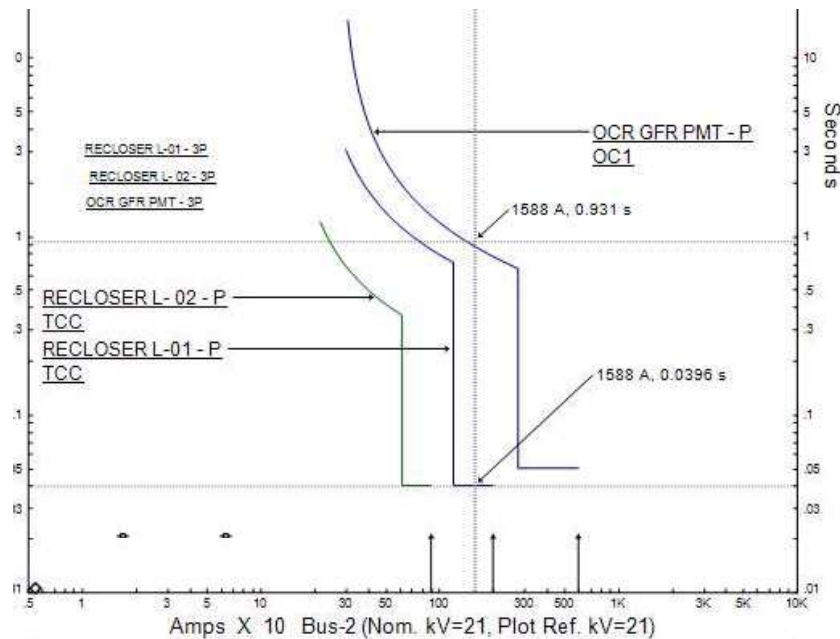
b. Analisa Koordinasi Relay OCR Menggunakan Grafik Starview pada Lokasi 2

Untuk melihat bagaimana koordinasi relay OCR yang terpasang pada tiap - tiap peralatan proteksi seperti PMT *outgoing*, dan *Recloser* saya akan memberikan 2 simulasi gangguan yakni gangguan hubung singkat antar fasa dan hubung singkat 3 fasa yakni gangguan antar fasa dengan arus gangguan sebesar 1373 A dan gangguan tiga fasa dengan arus gangguan sebesar 1563 A. Pada kedua gangguan tersebut koordinasi relay diatas relay yang bekerja adalah relay OCR pada sisi *Recloser* L-01 Dan PMT *outgoing* untuk lebih jelasnya pada grafik *starview* gambar 4.50 dan gambar 4.51 dibawah ini :



Gambar 4.50 Grafik *Starview* Koordinasi Relay OCR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Pada Lokasi 2
Sumber: Penulis, 2020

Pada gambar 4.50 diatas dapat kita lihat apabila terjadi gangguan hubung singkat antar fasa sebesar 1373 A pada lokasi 2 yang berkerja adalah relai OCR pada sisi *Recloser* dimana waktu kerjanya 0,0399 detik sehingga koordinasi pengaman apabila terjadi gangguan hubung singkat antar fasa pada lokasi 2 sudah baik karena *Recloser* yang berkerja untuk mengamankan gangguan sesuai wilayah kerja dari *Recloser*, PMT *outgoing* akan bekerja dengan waktu kerja 0,916 detik apabila *Recloser* mengalami gagal kerja.



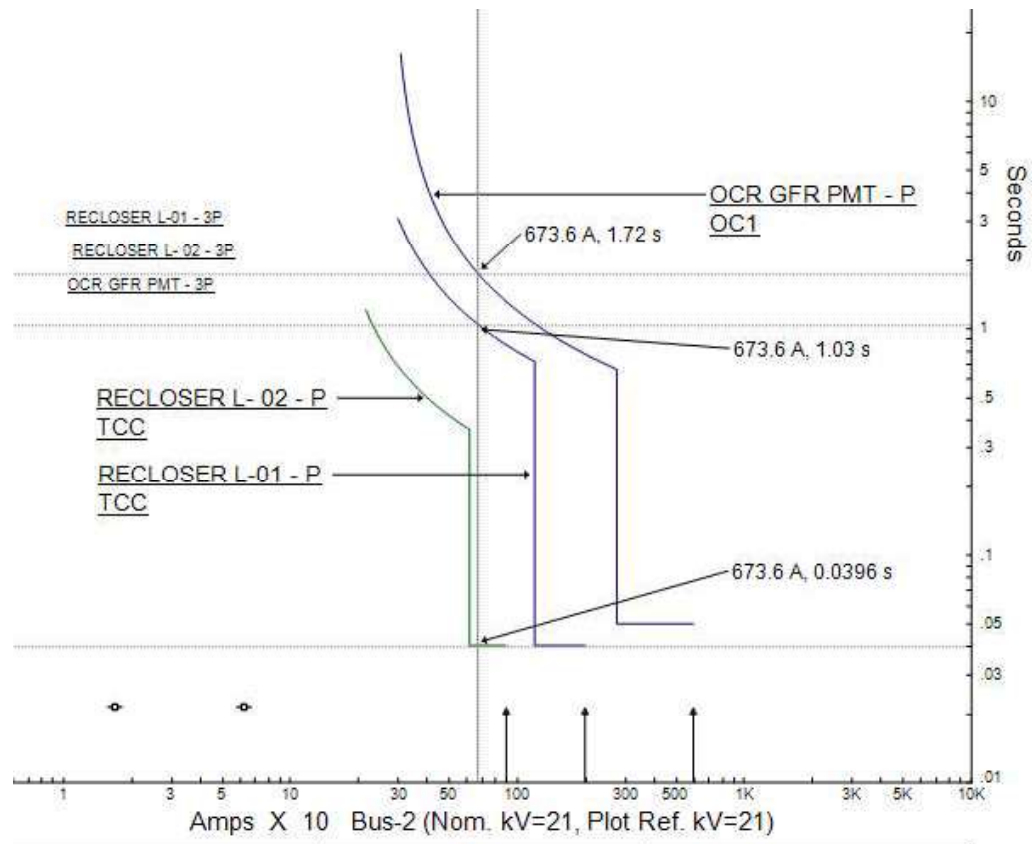
Gambar 4.51 Grafik Starview Koordinasi Relai OCR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Lokasi 2
Sumber: Penulis, 2020

Pada gambar 4.51 diatas dapat kita lihat apabila terjadi gangguan hubung singkat antar fasa sebesar 1588 A pada lokasi 2 yang berkerja adalah relai OCR pada sisi *Recloser* dimana waktu kerjanya 0,00399 detik sehingga

koordinasi pengaman apabila terjadi gangguan hubung singkat antar fasa pada lokasi 2 sudah baik karena *Recloser* yang berkerja untuk mengamankan gangguan sesuai wilayah kerja dari *Recloser*, PMT *outgoing* akan bekerja dengan waktu kerja 0,9 detik apabila *Recloser* mengalami gagal kerja.

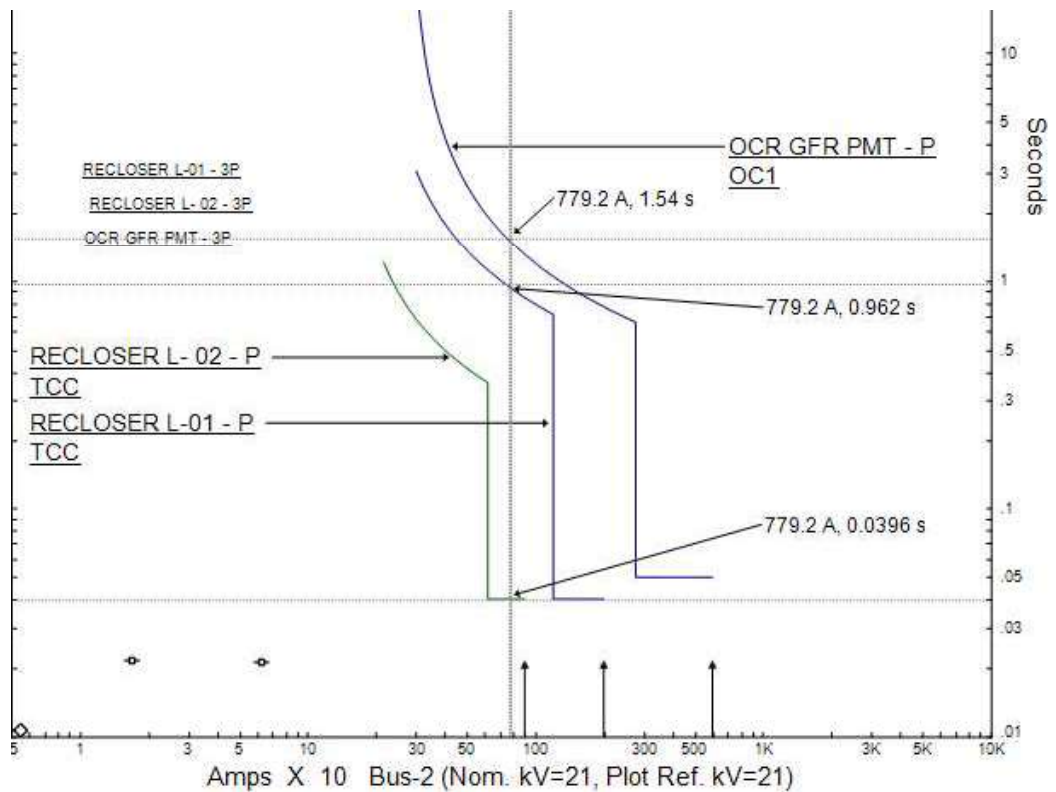
c. Analisa Koordinasi Relai OCR Menggunakan Grafik *Starview* Pada Lokasi 3

Untuk melihat bagaimana koordinasi relai OCR yang terpasang pada tiap - tiap peralatan proteksi seperti PMT *incoming*, PMT *outgoing*, dan *Recloser* saya akan memberikan 2 simulasi gangguan yakni gangguan hubung singkat antar fasa dan hubung singkat 3 fasa yakni gangguan antar fasa dengan arus gangguan sebesar 673 A dan gangguan tiga fasa dengan arus gangguan sebesar 779 A. Pada kedua gangguan tersebut koordinasi relay diatas relai yang bekerja adalah relai OCR pada sisi *Recloser* L02, *Recloser* L01, dan PMT *outgoing*. untuk lebih jelasnya pada grafik *starview* gambar 4.52 dan gambar 4.53 dibawah ini :



Gambar 4.52 Grafik *Starview* Koordinasi Relai OCR dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Pada Lokasi 3
Sumber: Penulis, 2020

Pada gambar 3.77 diatas dapat kita lihat apabila terjadi gangguan hubung singkat antar fasa sebesar 673 A pada lokasi 3 yang berkerja adalah relai OCR pada sisi *Recloser-L02* dimana waktu kerjanya 0,039 detik sehingga koordinasi pengaman apabila terjadi gangguan hubung singkat antar fasa pada lokasi 3 sudah baik karena *Recloser* yang berkerja untuk mengamankan gangguan sesuai wilayah kerja dari *Recloser L-02*, *Recloser L-01* akan mengamankan apabila *Recloser L-02* mengalami kerja dengan waktu kerja 1,03 detik, *PMT outgoing* akan bekerja dengan waktu kerja 1,72 detik apabila *Recloser L-02* dan *L-01* mengalami gagal kerja.



Gambar 4.53 Grafik *Starview* Koordinasi Relai OCR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Lokasi 3
Sumber: Penulis, 2020

Pada gambar 4.53 di atas dapat kita lihat apabila terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa sebesar 779 A pada lokasi 3 yang berkerja adalah relai OCR pada sisi *Recloser* dimana waktu kerjanya 0,0399 detik sehingga koordinasi pengaman apabila terjadi gangguan hubung singkat antar fasa pada lokasi 3 sudah baik karena *Recloser* L-02 yang berkerja untuk mengamankan gangguan sesuai wilayah kerja dari *Recloser* L-02, *Recloser* L-01 akan bekerja dengan waktu kerja 0,96 detik apabila *Recloser* L-02

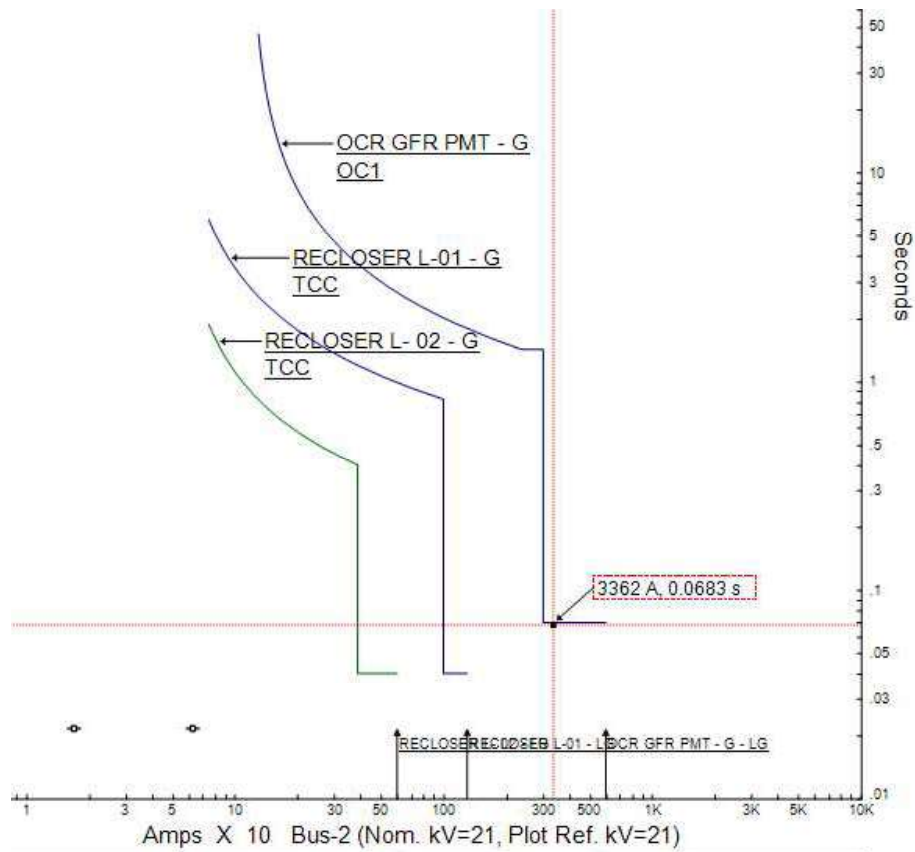
mengalami gagal kerja dan PMT *outgoing* akan bekerja dengan waktu kerja 1,5 detik apabila *Recloser* L-01 mengalami gagal kerja.

4.10.8.2 Koordinasi Relai GFR dengan Grafik *Starview*

Untuk melihat bagaimana koordinasi relai untuk mengerjakan PMT *Outgoing* dan *Recloser* dalam mengamankan gangguan hubung singkat untuk mengamankan peralatan listrik seperti trafo daya 60 MVA dan penghantar yang digunakan pada penyulang YB 2 dengan grafik *starview* saya akan memberikan analisa berdasarkan gangguan hubung singkat yang terjadi pada tiap – tiap lokasi seperti dibawah ini:

a. Analisa Koordinasi Relay GFR Menggunakan Grafik *Starview* pada Lokasi 1

Untuk melihat bagaimana koordinasi relai GFR yang terpasang pada tiap - tiap peralatan proteksi seperti PMT *incoming*, PMT *outgoing*, dan *Recloser* saya akan mensimulasikan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dengan arus gangguan sebesar 4295,62 A. Pada gangguan tersebut koordinasi relai diatas relai yang bekerja adalah relai GFR pada sisi PMT *outgoing* untuk lebih jelasnya pada grafik *starview* gambar 4.54 dibawah ini:



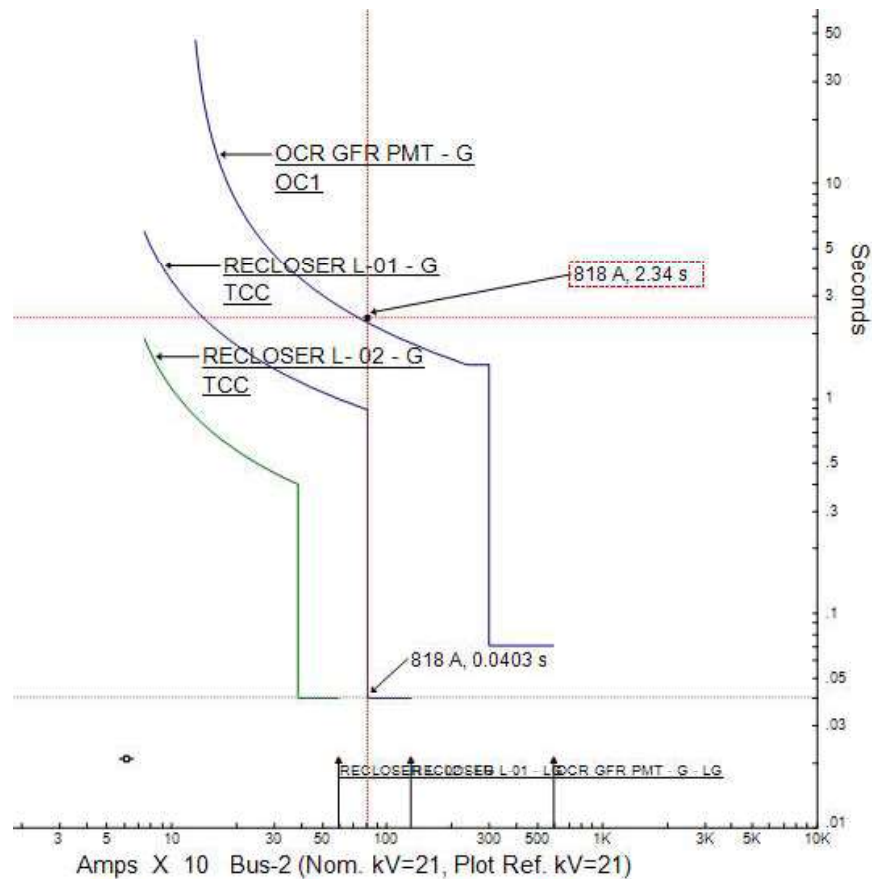
Gambar 4.54 Grafik *Starview* Koordinasi Relai GFR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah Pada Lokasi 1

Sumber: Penulis, 2020

Pada gambar 4.54 diatas dapat kita lihat apabila terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah sebesar 3362 A pada lokasi 1 yang berkerja adalah relai GFR pada sisi PMT *outgoing* dimana waktu kerjanya 0,0683 sekon sehingga koordinasi pengaman apabila terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah pada lokasi 1 sudah baik karena PMT *outgoing* yang berkerja untuk mengamankan gangguan sesuai wilayah kerja dari PMT *outgoing*.

b. Analisa Koordinasi Relai GFR Menggunakan Grafik *Starview* pada Lokasi 2

Untuk melihat bagaimana koordinasi relai GFR yang terpasang pada tiap - tiap peralatan proteksi seperti PMT *outgoing*, dan *Recloser* saya akan mensimulasikan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dengan arus gangguan sebesar 818 A. Pada gangguan tersebut koordinasi relai diatas relai yang bekerja adalah relai GFR pada sisi *Recloser* untuk lebih jelasnya perhatikan pada grafik *starview* gambar 3.80 dibawah ini:.



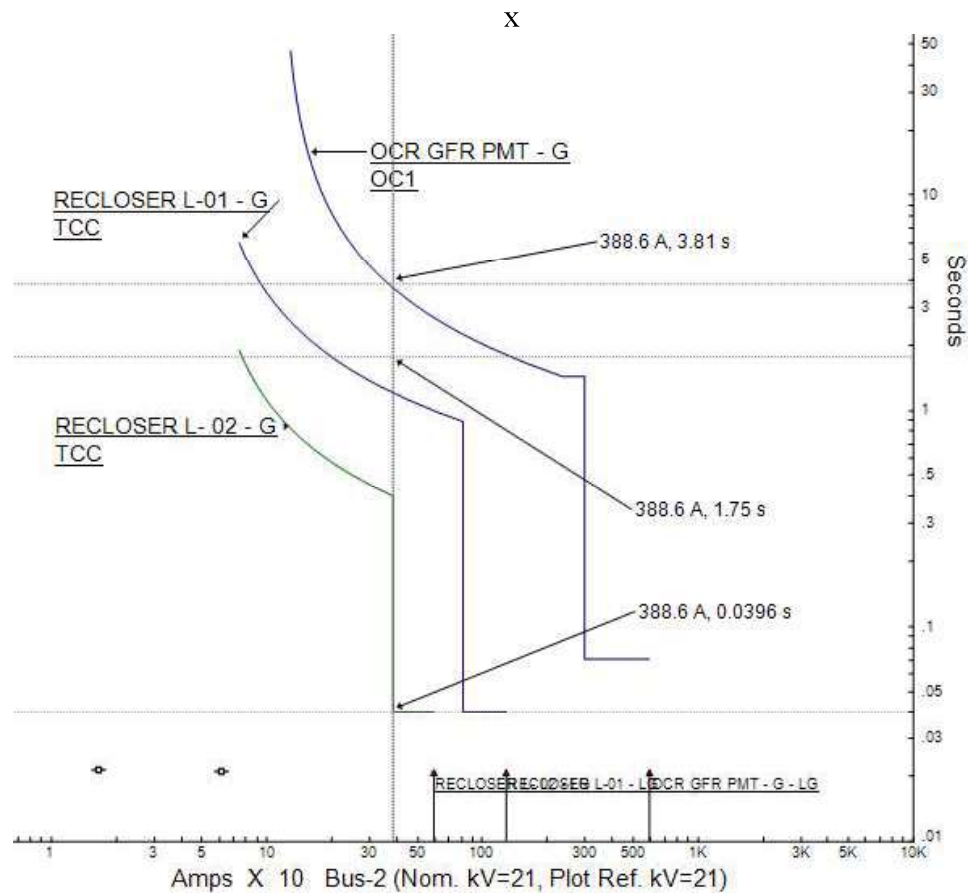
Gambar 4.55 Grafik *Starview* Koordinasi Relai GFR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah Pada Lokasi 2

Sumber: Penulis, 2020

Pada gambar 4.55 diatas dapat kita lihat apabila terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah sebesar 818 A pada lokasi 2 yang berkerja adalah relai GFR pada sisi *Recloser L-01* dimana waktu kerjanya 0,0391 sekon sehingga koordinasi pengaman apabila terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah pada lokasi 2 sudah baik karena *Recloser* yang berkerja untuk mengamankan gangguan sesuai wilayah kerja dari *Recloser L-01* dan PMT *Outgoing* akan bekerja dengan waktu 2,34 detik apabila *Recloser L-01* mengalai gagal Kerja

c. Analisa Koordinasi Relay GFR Menggunakan Grafik Starview Pada Lokasi 3

Untuk melihat bagaimana koordinasi relai GFR yang terpasang pada tiap - tiap peralatan proteksi seperti PMT *outgoing*, dan *Recloser* saya akan mensimulasikan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dengan arus gangguan sebesar 388 A. Pada gangguan tersebut koordinasi relai diatas relai yang bekerja adalah relai GFR pada sisi *Recloser* untuk lebih jelasnya perhatikan pada grafik *starview* gambar 3.83 dibawah ini :



Gambar 4.56 Grafik Starview Koordinasi Relai GFR Dalam Mengamankan Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah Pada Lokasi 3

Sumber: Penulis, 2020

Pada gambar 4.56 diatas dapat kita lihat apabila terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah sebesar 388 A pada lokasi 3 yang berkerja adalah relai GFR pada sisi *Recloser* L-02 dimana waktu kerjanya 0,0391 sekon, sedangkan untuk waktu kerja *Recloser* L-01 1,75 detik apabila *Recloser* L-02 mengalami gagal kerja dan PMT Outgoing untuk waktu kerjanya sebesar 3,81 detik apabil *Recloser* L-01 mengalami gagal kerja sehingga koordinasi pengaman apabila terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah pada lokasi

3 sudah baik karena *Recloser* L-02 yang berkerja untuk mengamankan gangguan sesuai wilayah kerja dari *Recloser* L-02.

4.11 Evaluasi Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Data *Existing*

Dari tabel 4.13, dapat dilihat perbedaan dari hasil perhitungan dan data *existing*. Perbedaan terletak pada pemilihan Iset, Iinstan, dan TMS pada masing masing rele. Dengan hasil diatas, bisa dibuat grafik untuk melihat perbedaan waktu kerja masing masing peralatan proteksi.

Tabel 4.13 Perbandingan *Setting* Hasil Perhitungan dengan Data *Existing*

No	Nama Rele	Bagian Rele	Data <i>Existing</i>	Data Perhitungan
1	OCR PMT <i>outgoing</i>	TMS	0,4	0,22
		ISET	360 A	280 A
		I _{instan}	3600 A	2700 A
2	GFR PMT <i>outgoing</i>	TMS	0,6	0,628
		ISET	25 A	24 A
		I _{instan}	2100 A	1500 A
3	OCR <i>Recloser</i> L-01	TMS	0,2	0,175
		ISET	180 A	210 A
		I _{instan}	1200 A	1000 A
4	GFR <i>Recloser</i> L-01	TMS	0,25	0,345
		ISET	20 A	24 A
		I _{instan}	700 A	600 A

Sumber: Penulis, 2020

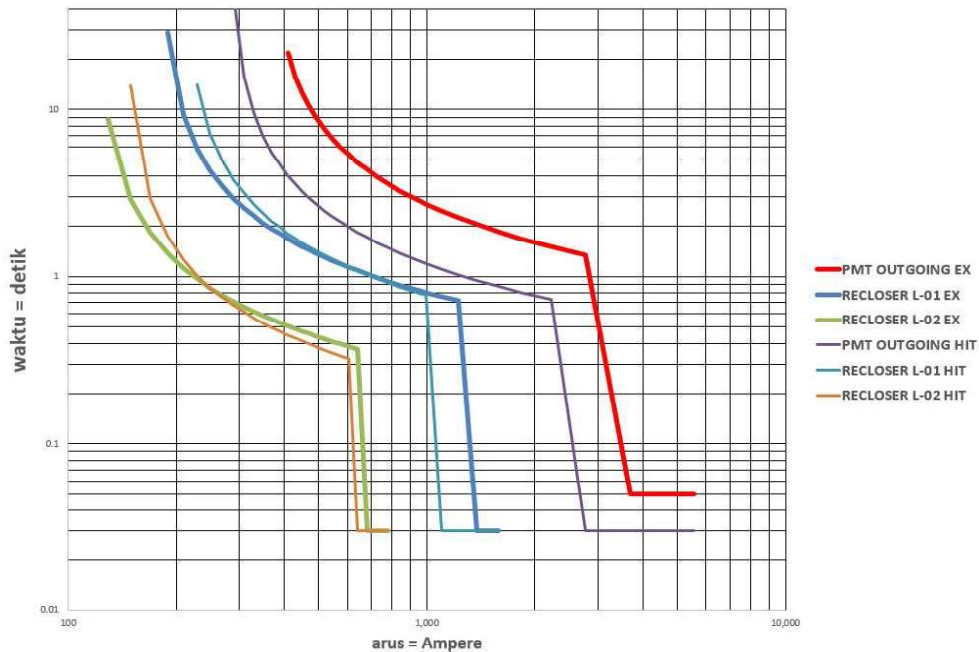
Tabel 4.13 Perbandingan *Setting* Hasil Perhitungandengan Data *Existing*

No	Nama Rele	Bagian Rele	Data <i>Existing</i>	Data Perhitungan
5	OCR <i>Recloser</i> L-02	TMS	0,09	0,0675
		I _{SET}	120 A	144 A
		I _{instan}	680 A	600 A
6	GFR <i>Recloser</i> L-02	TMS	0,09	0,107
		I _{SET}	20 A	24 A
		I _{instan}	350 A	300 A

Sumber: Penulis, 2020

4.12 Evaluasi Perbandingan Hasil Koordinasi *Setting* OCR Perhitungan dengan

Data *Existing*



Gambar 4.57 Kurva perbandingan koordinasi setting proteksi OCR Hasil perhitungan dengan data *Existing*

Sumber: Penulis, 2020

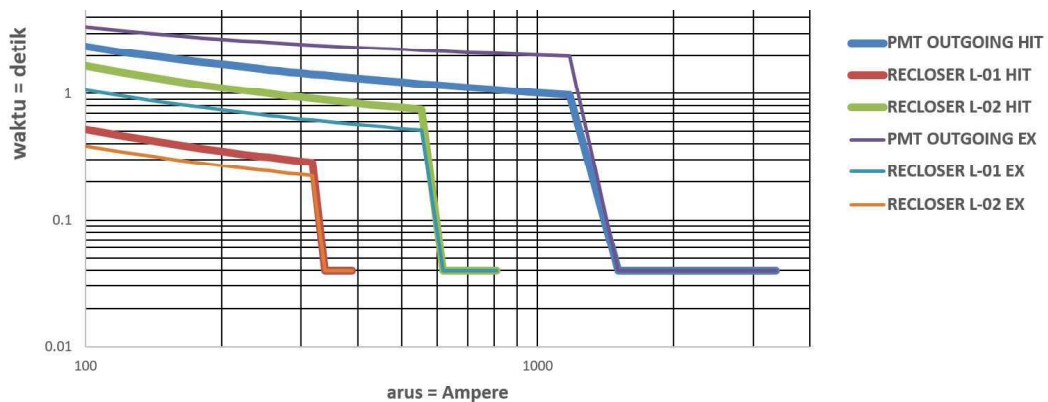
Dari gambar 4.57 diatas terkait perbandingan koordinasi *setting* proteksi OCR hasil perhitungan dengan data *Existing* terlihat adanya perbedaan pada Kurva PMT *Outgoing (Existing)* dengan PMT *Outgoing (Hasil Perhitungan)* dimana pada hasil

perhitungan terlihat lebih sensitive dibandingkan dengan kurva *existing* ini dikarenakan supaya GAP waktu kerja antara *Recloser* L-01 dengan *PMT Outgoing* tidak terlalu jauh sehingga dalam membackup apabila *Recloser* L-01 mengalami gagal kerja dapat dilakukan secara cepat. Kemudian perbedaan yang kedua terletak pada Iset baik pada *Recloser* L-01 dengan *Recloser* L-02. Pada hasil perhitungan Iset yang yang saya gunakan merupakan data pengambilan data beban puncak terbaru sedangkan pada data *existing* merupakan data beban puncak 6 bulan yang lalu.

Dari kedua Kurva diatas dapat disimpulkan bahwa baik data *existing* maupun data hasil perhitungan setting OCR sudah baik dikarenakan masing – masing peralatan proteksi berkoordinasi dengan baik dalam mengamankan gangguan.

4.13 Evaluasi Perbandingan Hasil Koordinasi Setting GFR Perhitungan dengan

Data Existing



Gambar 4.58 Kurva perbandingan koordinasi setting proteksi GFR Hasil perhitungan dengan data Existing

Sumber: Penulis, 2020

Dari gambar 4.58 diatas terkait perbandingan koordinasi setting proteksi GFR hasil perhitungan dengan data *existing* terlihat adanya perbedaan pada Kurva PMT *Outgoing (Existing)* dengan PMT *Outgoing* (Hasil Perhitungan) dimana pada hasil perhitungan terlihat lebih sensitif dibandingkan dengan kurva *existing* ini dikarenakan supaya GAP waktu kerja antara *Recloser* L-01 dengan PMT *Outgoing* tidak terlalu jauh sehingga dalam membackup apabila *Recloser* L-01 mengalami gagal kerja dapat dilakukan secara cepat. Dari perbandingan kedua kurva diatas dapat disimpulkan bahwa baik data *existing* maupun data hasil perhitungan setting GFR sudah baik dikarenakan masing – masing peralatan proteksi berkoordinasi dengan baik dalam mengamankan gangguan.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan dan perhitungan yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan Hasil Analisa perhitungan *manual* yang dibandingkan dengan perhitungan dan simulasi software ETAP, besar nilai arus gangguan hubung singkat di penyulang YB-02 yakni semakin dekat titik gangguan dari pangkal penyulang maka besar arus gangguan hubung singkat semakin besar begitu pula sebaliknya semakin jauh titik gangguan dari pangkal penyulang maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya, baik arus hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat antar fasa, dan hubung singkat tiga fasa.
2. Berdasarkan Hasil Analisa perhitungan *manual* yang dibandingkan dengan perhitungan dan simulasi software ETAP, koordinasi proteksi relay OCR dan GFR dalam mengamankan gangguan hubung singkat yang terjadi sudah berkoordinasi dengan baik. Hal ini ditandai dengan grafik kurva OCR dan GFR masing – masing peralatan proteksi (*Recloser L-01, Recloser L-02, dan PMT Outgoing*) dapat berkoordinasi dengan baik dalam mengamankan gangguan sesuai dengan zona kerjanya masing –masing.

5.2 Saran

Saran yang dapat penulis sampaikan setelah menyusun laporan skripsi sebagai berikut :

1. Berdasarkan simulasi *software* ETAP dapat menjadi acuan perencanaan dalam penentuan *setting relay* OCR dan GFR untuk mengerjakan peralatan proteksi secara akurat.
2. Pertumbuhan beban tiap tahun bertambah, maka perlu dilakukan penentuan *setting* proteksi secara berkala agar kehandalan jaringan PT PLN (Persero) ULP Natal tetap terjaga dan dapat menyalurkan energy listrik secara berkelanjutan.

Demikian skripsi ini dibuat, penulis berharap semoga dapat digunakan sebagaimana mestinya. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat seluas-luasnya terhadap perkembangan ilmu tentang *system* tenaga listrik di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryza, S., Irwanto, M., Lubis, Z., Siahaan, A. P. U., Rahim, R., & Furqan, M. (2018). A Novelty Design Of Minimization Of Electrical Losses In A Vector Controlled Induction Machine Drive. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 300, No. 1, p. 012067). IOP Publishing.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000). Jakarta : Yayasan PUIL.
- Cahyadi, Purwo Prasetyo. 2014. Perhitungan Losses dan Drop Tegangan Akibat dari Perubahan Konfigurasi Jaringan Radial WL1.05 dan WLI.07 Menggunakan Software Etap 7.0.0. Teknik Elektro Universitas Diponegoro.
- Gonen, T. 1986. Electric Power Distribution System Engineering. Mc Graw Hill : Newyork.
- Hamdani, H., Tharo, Z., & Anisah, S. (2019, May). Perbandingan Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Antara Daerah Pegunungan Dengan Daerah Pesisir. In Seminar Nasional Teknik (Semnastek) Uisu (Vol. 2, No. 1, pp. 190-195).
- Handoyo, A. 2005. Analisa Perhitungan Susut Teknik pada PT PLN (Persero). UPJ Semarang Tengah. Jurnal. Tidak diterbitkan. Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
- Handoyo, A. 2011. Analisa Perhitungan Susut Teknis Pada PT PLN (Persero). UPJ Semarang Tengah.
- Putri, M., Wibowo, P., Aryza, S., & Utama Siahaan, A. P. Rusiadi.(2018). An implementation of a filter design passive lc in reduce a current harmonisa. International Journal of Civil Engineering and Technology, 9(7), 867-873.
- Rahmaniar, R. (2019). Model flash-nr Pada Analisis Sistem Tenaga Listrik (Doctoral Dissertation, Universitas Negeri Padang).
- Sari, Hedy Febriana Puspita. 2016. Analisis dan Perbaikan Nilai Susut Teknis Jaringan Tegangan Menengah Pada Feeder 5 Matur PT PLN Rayon Koto. Teknik Elektro Institut Teknologi Padang
- SPLN 1. 1995. Tegangan – Tegangan Standar. Jakarta : PT PLN (Persero).
- SPLN 56-2. 1994. Sambungan Listrik Tegangan Menengah (SUTM). Jakarta : PT PLN (Persero).
- SPLN 64. 1985. Petuniuk Pernilihan dan Penggunaan Pelebu pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah. Jakarta : PT PLN (Persero).

- SPLN 72. 1987. Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Jakarta : PT PLN (Persero).
- Suhadi, dkk. 2008. Teknik Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta : Departemen Pendidikan Nasional.
- Suswanto, Daman. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Padang.
- Tanjung, A. 2015. Analisa Sistem Distribusi 20 kV untuk Memperbaiki Kinerja Sistem Distribusi Menggunakan Electrical Transient Analysis Program. Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning.