

KOORDINASI PROTEKSI PENYULANG KAMPILI DENGAN
PENYULANG EXPRESS PEMBANGKIT BILI-BILI 1 & 2 PADA
GARDU INDUK BORONGLOE



SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Pendidikan Diploma
Empat (D-4) Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Ujung Pandang

NUR FAUZI PAIS
421 17 015

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2021

HALAMAN PENGESAHAN

skripsi ini dengan judul **Koordinasi Proteksi Penyulang Kampili dengan Penyulang Express Pembangkit Bili-Bili 1 & 2 pada Gardu Induk Borongloe** oleh Nur Fauzi Pais NIM 421 17 015 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar,

2021

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Eng. Sarwo Pranoto, S.T., M.Eng.
NIP. 19800620 200501 1 005

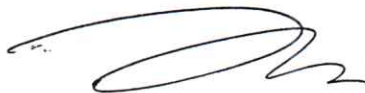
Pembimbing II



Ashar AR, S.T., M.T.
NIP. 19791209 200812 1 001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi D4 Teknik Listrik



Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T.
NIP. 19860404 201504 1 001

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Senin 04 Oktober 2021 tim penguji ujian sidang skripsi telah menerima skripsi mahasiswa:

Nama : Nur Fauzi Pais

NIM : 421 17 015

Jurusan : Teknik Elektro

dengan judul skripsi:







Koordinasi Proteksi Penyulang Kampili dengan Penyulang Express

Pembangkit Bili-Bili 1 & 2 pada Gardu Induk Borongloe

Makassar,

2021

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi:

1. Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D (Ketua) ()
2. Andi Wawan Indrawan, S.ST., M.Eng. (Sekretaris) ()
3. Hamdani, S.T., M.T. (Anggota I) ()
4. Andarini Asri, S.T., M.T. (Anggota II) ()
5. Dr. Eng. Sarwo Pranoto, S.T., M.Eng. (Pembimbing I) ()
6. Ashar AR . S.T., M.T. (Pembimbing II) ()

KATA PENGANTAR

Assalamualikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala berkat, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Koordinasi Proteksi Penyulang Kampili dengan Penyulang Express Pembangkit Bili-Bili 1 & 2 pada Gardu Induk Borongloe”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Diploma IV di Politeknik Negeri Ujung Pandang. Proses penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari banyak pihak. Oleh karena itu melalui kesempatan ini penulis menyampaikan rasa syukur dan berterima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga atas segala dukungan baik berupa moril, materil, motivasi serta doa yang telah diberikan.
2. Prof Ir. Muhammad Anshar, M.si., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Eletro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T selaku Koordinator Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Dr. Eng. Sarwo Pranoto, S.T., M.Eng. sebagai dosen pembimbing I yang mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Ashar AR, S.T., M.T. sebagai dosen Pembimbing II yang sedia memberikan masukan yang berupa kritik dan saran demi mencapai kesempurnaan skripsi ini.
7. Aksan, S.T., M.T, selaku Wali Kelas 4A D4 Teknik Listrik yang senantiasa memberikan dukungan moril selama kuliah.
8. Seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya Program Studi Diploma IV Teknik Listrik.
9. Seluruh Staff Pemeliharaan PT. PLN Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Panakkukang yang telah membantu dan memberikan *support* dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Seluruh teman seperjuangan D4 Listrik kelas A angkatan 2017 yang telah ikut memberikan *support* serta semangat.
11. Seluruh teman seperjuangan di KMP PNUP yang selalu sigap membantu dan memberikan *support*.

Tak lupa penulis menyampaikan permohonan maaf apabila selama penyusunan proposal skripsi ini terdapat kesalahan, baik yang disengaja maupun tidak disengaja. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Sehingga dengan rendah hati mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di penyusunan skripsi. Semoga tulisan ini bermanfaat

Makassar, 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	1
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
SURAT PERNYATAAN	xiii
RINGKASAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Penyaluran dan Distribusi Tenaga Listrik	5
2.2 Gangguan Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.3 Sistem Proteksi	10
2.4 Fungsi Relai Proteksi	12
2.5 Jenis – Jenis Sistem Proteksi	13
2.6 Arus Gangguan Hubung Singkat	14

2.7	Impedansi Jaringan	14
2.8	Karakteristik Kurva Relai.....	17
BAB III METODE PENELITIAN		22
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.2	Teknik Pengumpulan Data	22
3.3	Teknik Literatur.....	22
3.4	Teknik Observasi.....	23
3.5	Teknik Wawancara	23
3.6	Teknik Dokumentasi.....	23
3.7	Teknik Analisis Data.....	23
3.8	Prosedur Penelitian	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		26
4.1.	Data Penelitian.....	26
4.2.	Impedansi Jaringan	28
4.3.	Analisis Arus Hubung Singkat	37
4.4.	Penyetelan Setting Over Current Relay (OCR).....	39
4.5.	Analisis Koordinasi OCR.....	42
BAB V PENUTUP.....		64
5.1.	Kesimpulan.....	64
5.2.	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA		66
LAMPIRAN		68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Single Line Diagram</i> GI Borongloe	6
Gambar 2.2 <i>Single line</i> PLTA Bili-bili	7
Gambar 2.3. Gangguan pada titik K dalam sistem tenaga listrik sederhana	11
Gambar 2.4. <i>oil circuit breaker</i> dan bagian-bagiannya.....	13
Gambar 2.5. karakteristik <i>instantaneous relay</i>	18
Gambar 2.6 Karakteristik <i>Definite Time Relay</i>	18
Gambar 2.7 Karakteristik Rele OCR berdasarkan standar IEC 602055	21
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> prosedur penelitian.....	25
Gambar 4.9 pemodelan <i>single line diagram</i> GI Borongloe	48
Gambar 4.10 simulasi <i>fault insertion</i> di titik gangguan 0% dari Gardu Induk	49
Gambar 4.11 Kurva Koordinasi di titik gangguan 0%	50
Gambar 4.12 <i>Sequence Of Operation Events</i> Simulasi Gangguan 0% dari GI dengan Setting PLN	50
Gambar 4.13 simulasi <i>fault insertion</i> di titik gangguan 10% dari GI <i>Borongloe</i>	51
Gambar 4.14 Kurva Koordinasi di titik gangguan 10%	51
Gambar 4.15 <i>Sequence Of Operation Events</i> Simulasi Gangguan 10% dari GI dengan Setting PLN.....	52
Gambar 4.16 simulasi <i>fault insertion</i> di titik gangguan 50% dari GI Borongloe	52
Gambar 4.17 Kurva Koordinasi di titik gangguan 50%	53

Gambar 4.18 <i>Sequence Of Operation Events</i> Simulasi Gangguan 50% dari GI dengan Setting PLN	53
Gambar 4.19 simulasi <i>fault insertion</i> Ihs 3 fasa di titik gangguan 90% dari GI <i>Borongloe</i>	54
Gambar 4.20 Kurva Koordinasi di titik gangguan 90%	54
Gambar 4.21 <i>Sequence Of Operation Events</i> Simulasi Gangguan 90% dari GI dengan Setting PLN	55
Gambar 4.22. simulasi <i>fault insertion</i> Ihs 3 fasa di titik gangguan 0% dari GI Borongloe hasil <i>resetting</i>	55
Gambar 4.23. Kurva Koordinasi hasil <i>resetting</i> di titik gangguan 0%	56
Gambar 4.24. <i>Sequence Of Operation Events</i> Simulasi Gangguan 0% dari GI dengan <i>hasil resetting</i>	56
Gambar 4.25. simulasi <i>fault insertion</i> Ihs 3 fasa di titik gangguan 10% dari GI Borongloe <i>hasil resetting</i>	57
Gambar 4.26. Kurva Koordinasi <i>hasil resetting</i> di titik gangguan 10%	58
Gambar 4.27. <i>Sequence Of Operation Events</i> Simulasi Gangguan 10% dari GI dengan Hasil <i>Resetting</i>	58
Gambar 4.28. simulasi <i>fault insertion</i> Ihs 3 fasa di titik gangguan 50% dari GI Borongloe hasil <i>resetting</i>	58
Gambar 4.29. Kurva Koordinasi hasil <i>resetting</i> di titik gangguan 50%	59
Gambar 4.30. <i>Sequence Of Operation Events</i> Simulasi Gangguan 50% dari GI dengan Hasil <i>Resetting</i>	59

Gambar 4.31. simulasi <i>fault insertion</i> Ihs 3 fasa di titik gangguan 50% dari GI	
Borongloe hasil <i>resetting</i>	60
Gambar 4.32. Kurva Koordinasi Hasil <i>Resetting</i> di titik gangguan 90%	61
Gambar 4.33 <i>Sequence Of Operation Events</i> Simulasi Gangguan 90% dari GI	
dengan Hasil <i>Resetting</i>	61

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Spesifikasi Generator Unit 1 dan 2 PLTA Bili-bili	26
Tabel 4.2 Spesifikasi <i>Main Transformator</i>	26
Tabel 4.3 Spesifikasi <i>Setting</i> OCR dan GFR.....	27
Tabel 4.4 Data Penyulang.....	27
Tabel 4.5 Impedansi ekivalen Positif penyulang kampili	37
Tabel 4.6 Data Arus Hubung Singkat 3 Fasa Penyulang Kampili Berdasarkan Titik Gangguan.....	38
Tabel 4.7 Data <i>Setting</i> OCR <i>existing</i> PLN dan <i>Resetting</i>	42
Tabel 4.8 Waktu operasi OCR <i>Existing</i> Kubikel Penyulang Kampili	43
Tabel 4.9 Waktu operasi OCR <i>existing</i> kubikel Penyulang Ekspres Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2	44
Tabel 4.10. Waktu operasi OCR Hasil <i>Resetting</i> kubikel Penyulang Kampili	45
Tabel 4.11 Waktu operasi OCR Hasil <i>Resetting</i> kubikel Penyulang Ekspres Bili- Bili 1 dan Bili-Bili 2.....	46
Tabel 4.12 perbandingan <i>Setting Existing</i> dengan Hasil <i>Resetting</i> Koordinasi OCR menggunakan perhitungan <i>Standard Inverse</i>	46
Tabel 4.13 Perbandingan <i>Setting Existing</i> dengan Hasil <i>Resetting</i> Koordinasi OCR menggunakan simulasi <i>fault insertion</i> di <i>Software</i> ETAP 12.6.....	61
Tabel 4.14 Persentase Kesalahan Koordinasi setting eksisting OCR Simulasi terhadap hasil Perhitungan manual	62
Tabel 4.15 Persentase kesalahan simulasi koordinasi <i>resetting</i> OCR terhadap hasil perhitungan manual.....	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Arus Hubung Singkat GI Borongloe	68
Lampiran 2 . Data Teknis Trafo GI Borongloe	68
Lampiran 3. Data Penyulang Kampili.....	69
Lampiran 4. tabel Penghantar AAAC (SPLN: 64: 1985).....	69
Lampiran 5. data Generator dan Trafo PLTA Bili-Bili.....	70
Lampiran 6. Setting Relai Penyulang di GI Borongloe	71
Lampiran 7. Single Line Diagram GI Borongloe	72
Lampiran 8. Single Line SUTM 20 kV Makassar dan sekitarnya	73

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Fauzi Pais

NIM : 42117015

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **“Koordinasi Proteksi Penyulang Kampili dengan Penyulang Express Pembangkit Bili-Bili 1 & 2 pada Gardu Induk Borongloe”** merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar,



Nur Fauzi Pais
NIM. 42117015

RINGKASAN

Proteksi merupakan suatu sistem pengamanan pada sistem tenaga listrik yang terpasang pada sistem pembangkitan, transmisi, dan distribusi tenaga listrik dari gangguan. Permasalahan yang seringkali dijumpai pada Penyulang 20 kV adalah terjadinya gangguan hubung singkat. Jika penyetelan koordinasi proteksi pada penyulang kurang baik, maka ketika terjadi gangguan pada penyulang berpotensi mengakibatkan pemadaman yang meluas. Seperti kasus pada Gardu Induk Borongloe, terjadi gangguan arus lebih pada Penyulang Kampili akan tetapi gangguan ini juga mengakibatkan PMT Penyulang Ekspres Pembangkit Bili-Bili 1 & 2 ikut trip. Sehingga PLTA Bili-Bili tidak menyuplai daya ke sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi koordinasi proteksi OCR pada kubikel Penyulang kampili dengan Penyulang Ekspres Bili-Bili 1 & 2.

Dalam penelitian ini parameter yang dibutuhkan adalah *setting* eksisting OCR, data teknis Trafo, data penghantar, dan data sumber. Data-data tersebut diperoleh dengan teknik literatur, observasi, dokumentasi, dan wawancara. Kemudian akan dianalisis dengan metode perhitungan manual dan simulasi pada *software* ETAP 12.6.

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa koordinasi eksisting PLN, OCR kubikel penyulang Kampili bekerja di detik 0,465 detik, sedangkan Penyulang Ekspres pembangkit Bili-Bili 1 & 2 bekerja di detik 0,392. Hasil koordinasi *resetting*, OCR kubikel penyulang Kampili bekerja di detik 0,298 detik, sedangkan Penyulang Ekspres pembangkit Bili-Bili 1 & 2 bekerja di detik 0,695 detik.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proteksi merupakan suatu sistem pengamanan pada sistem tenaga listrik yang terpasang pada sistem pembangkitan, transmisi, dan distribusi tenaga listrik. Tujuan dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan atau beban lebih dan memisahkan bagian yang teridentifikasi tersebut dari bagian yang masih normal agar meminimalisir kerusakan atau kerugian yang lebih besar (Sarimun, 2012 : 1).

Pada dasarnya gangguan adalah suatu keadaan sistem yang tidak normal yang terjadi dalam sistem tenaga yang menyebabkan terganggunya aliran arus normal yang mengalir pada rangkaian tersebut. Hal itu dapat terjadi dikarenakan adanya berbagai faktor seperti gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab lainnya. Salah satu gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan hubung singkat.

Permasalahan yang seringkali dijumpai pada Penyulang 20 kV adalah terjadinya gangguan hubung singkat. Jika penyetelan koordinasi proteksi pada penyulang kurang baik, maka ketika terjadi gangguan pada penyulang berpotensi mengakibatkan pemadaman yang meluas. Seperti halnya kasus pada Gardu induk borongloe, terjadi gangguan arus lebih pada Penyulang Kampili akan tetapi gangguan ini juga mengakibatkan PMT Penyulang Ekspres Pembangkit Bili-Bili 1 & Bili-Bili 2 ikut trip. Sehingga PLTA Bili-Bili tidak menyuplai daya ke sistem. Secara ideal, setelah proteksi harus berdasarkan standard IEEE 242-1986 dan IEC 60255 dimana selisih waktu antar proteksi minimal 0,2-0,5s sehingga pada saat

terjadi gangguan maka *back up protection* bisa memberikan waktu kepada *main protection* bekerja lebih dahulu (IEEE, 2001:575).

Berdasarkan permasalahan di atas maka penulis akan melakukan penelitian mengenai koordinasi proteksi OCR pada Penyulang Kampili dengan Penyulang ekspres pembangkit Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 pada gardu induk borongloe.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada pemaparan latar belakang di atas, maka penulis tertarik untuk membuat karya tulis ilmiah yang dituliskan dalam bentuk skripsi. Dari permasalahan tersebut diperoleh sub permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana koordinasi proteksi OCR eksisting pada kubikel Penyulang kampili dengan Penyulang ekspres pembangkit Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 pada Gardu Induk Borongloe ketika mengalami arus gangguan hubung singkat ?
2. Bagaimana hasil perhitungan resetting proteksi OCR kubikel Penyulang kampili dengan Penyulang ekspres pembangkit Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 pada Gardu Induk Borongloe ?
3. Bagaimana koordinasi hasil perhitungan resetting proteksi OCR kubikel Penyulang kampili dengan Penyulang ekspres pembangkit Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 pada Gardu Induk Borongloe ketika mengalami arus gangguan hubung singkat ?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Agar dapat dicapainya sasaran yang diharapkan, penulis menetapkan batasan ruang lingkup penelitian adalah tentang koordinasi proteksi OCR kubikel Penyulang Kampili dengan Penyulang Ekspres Pembangkit Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

1. Mengetahui koordinasi proteksi OCR eksisting pada kubikel Penyulang kampili dengan Penyulang ekspres pembangkit Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 pada Gardu Induk Borongloe ketika mengalami arus gangguan hubung singkat.
2. Menghitung resetting proteksi OCR kubikel Penyulang kampili dengan Penyulang ekspres pembangkit Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 pada Gardu Induk Borongloe
3. Menentukan koordinasi hasil perhitungan resetting proteksi OCR kubikel Penyulang kampili dengan Penyulang ekspres pembangkit Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 pada Gardu Induk Borongloe ketika mengalami arus gangguan hubung singkat.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dalam skripsi ini sebagai berikut :

1. Untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan informasi mengenai proteksi, dan

-
2. dapat dijadikan sebagai bahan acuan untuk evaluasi *setting* proteksi pada kubikel Penyulang 20 kV di gardu induk tersebar.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

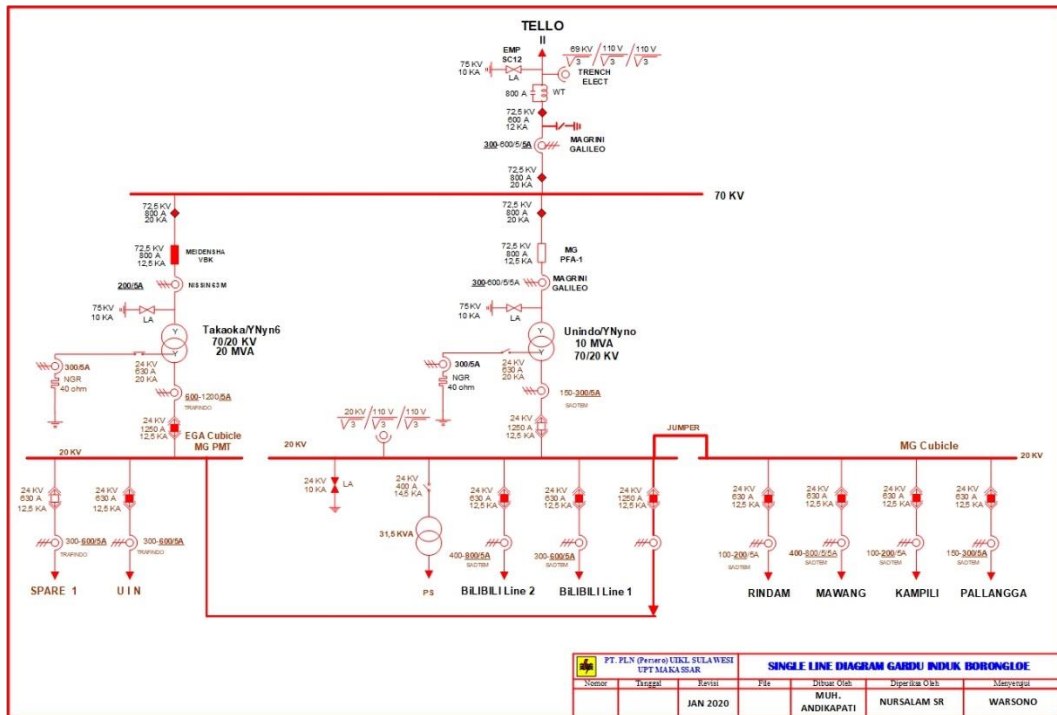
2.1 Sistem Penyaluran dan Distribusi Tenaga Listrik

Sistem merupakan sebuah satu-kesatuan komponen-komponen yang saling berhubungan. Pada sistem penyaluran tenaga listrik secara umum terdapat komponen yang sangat penting yaitu Pembangkit, Transmisi, dan Distribusi. Sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen melalui beberapa tahap yaitu dimulai dari proses pembangkitan kemudian disalurkan ke jaringan transmisi melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi(SUTT) dengan tegangan 30-150 kV atau Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi(SUTET) dengan tegangan 200-500 kV, serta Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT), dan lain-lain menuju ke Gardu Induk (GI). Dari GI tenaga listrik akan disalurkan menggunakan jaringan distribusi dengan Saluran Tegangan Menengah (SUTM) dengan tegangan 20 kV melalui Gardu Distribusi menuju ke jaringan distribusi tegangan menengah melalui Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR), lalu didistribusikan ke konsumen.

2.1.1 Gambaran umum Gardu Induk Borongloe

Gardu Induk Borongloe merupakan gardu induk yang berfungsi menyuplai tenaga listrik ke beban. Gardu Induk Borongloe memiliki satu Trafo tenaga yang menyuplai daya 20 MVA dengan tegangan kerja 70/20 kV kepada sejumlah beban seperti Penyulang Rindam, Mawang, Kampili, Pallangga, dan UIN, dan trafo PS. Selain daripada suplai dari sistem 70 kV yang ada di Gardu Induk Borongloe, terdapat juga suplai tenaga listrik dari sistem 20 kV yang berasal dari PLTA Bili-

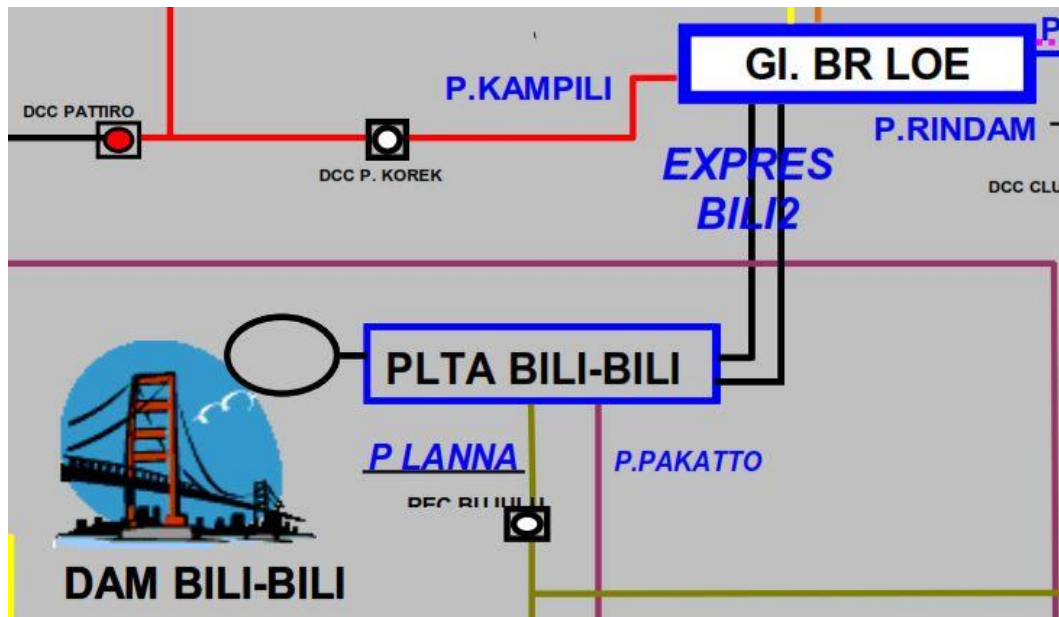
Bili melalui Penyulang Ekspres Pembangkit Bili-Bili 1 & Bili-Bili 2. Berikut gambar 2.1 adalah *Single Line Diagram* Gardu Induk Borongloe.



Gambar 2.1 *Single Line Diagram* GI Borongloe
(sumber : ULTG Panakkukang)

2.1.2 Gambaran Umum PLTA Bili-Bili

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Bili-bili terletak di Desa Bili-bili, kecamatan Manuju Kabupaten Gowa. Pusat listrik Bili-bili memiliki 2 unit Generator yang mulai beroperasi pada tahun 2005 dengan daya total yang terpasang 20,1 MW dengan menggunakan bus line 20 kV. Pusat listrik Bili-bili menyuplai sistem interkoneksi melalui 2 feeder ekspres ke Gardu Induk Borongloe dan 2 feeder konsumen yaitu feeder Lanna dan feeder Pakkatto. Berikut gambar 2.2 adalah single line PLTA Bili-bili.



Gambar 2.2 *Single line* PLTA Bili-bili
(sumber : UP3 Makassar Selatan)

2.2 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Gangguan adalah suatu keadaan sistem yang tidak normal yang terjadi dalam sistem tenaga yang menyebabkan terganggunya aliran arus normal yang mengalir pada rangkaian tersebut. Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan yang tidak normal yang mana keadaan tersebut dapat mengakibatkan keberlanjutan pelayanan tenaga listrik terganggu (Makmur, 2012: 4). Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik besaran dan jenisnya sangat beragam.

2.2.1 Klasifikasi Gangguan Sistem Tenaga Listrik Secara Umum

Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh 2 faktor, yakni :

1. Gangguan yang berasal dari internal sistem

Penyebab gangguan yang berasal dari internal sistem adalah sebagai berikut :

- a. Arus dan tegangan tidak normal,
- b. kesalahan mekanis karena proses penuaan,
- c. overload,
- d. pemasangan yang kurang baik, dan
- e. kerusakan material seperti kawat putus, isolator pecah, dan kegagalan isolasi atau kabel cacat isolasinya.

2. Gangguan yang berasal dari eksternal sistem

Penyebab gangguan yang berasal dari eksternal sistem adalah sebagai berikut :

- a. Faktor pengaruh cuaca seperti angin, hujan, atau surja petir.
Gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan *over voltage* dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena isolasi peralatan mengalami kebocoran (*breakdown*), dan
- b. faktor pengaruh lingkungan seperti pohon, hewan, dan benda-benda asing lainnya.

2.2.2 Berdasarkan Lama Waktu Gangguan

Jika dilihat dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat di klasifikasikan menjadi :

1. Gangguan *transient* (temporer), gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya atau memutuskan sesaat rangkaian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan

segera, baik hilang sendiri atau karena kinerja alat pengaman maka dapat berubah menjadi gangguan permanen, dan

2. gangguan permanen, gangguan yang untuk membebaskannya dibutuhkan tindakan perbaikan pada alat pengaman dan menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

2.2.3 Sebab-sebab Timbulnya Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Penyebab timbulnya gangguan pada sistem tenaga listrik dan gangguan-gangguan aru lebih yang mungkin terjadi sebagai berikut :

1. Gangguan beban lebih (*overload*)

Gangguan *overload* merupakan bukan gangguan murni, akan tetapi jika dibiarkan berlangsung terus-menerus dapat merusak peralatan listrik yang teraliri oleh arus tersebut. Hal ini disebabkan oleh arus yang mengalir melebihi kemampuan hantar arus dari peralatan listrik. Dimana pengaman listrik seperti relai, *fuse*, atau MCB yang terpasang arus pengenalnya melebihi kemampuan hantar arus peralatan listrik.

2. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang disebabkan oleh bersentuhannya antar fasa atau fasa dengan tanah. Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam sistem tenaga listrik adalah :

- a. Gangguan hubung singkat 3 fasa,
- b. Gangguan hubung singkat 2 fasa, dan
- c. Gangguan hubung singkat 2 fasa atau 1 fasa ke tanah.

Akibat-akibat yang ditimbulkan oleh hubung singkat tersebut pada sistem tenaga listrik adalah:

- a) Berkurangnya stabilitas daya sistem tersebut,
- b) terjadi pemadaman listrik dikarenakan bekerjanya PMT sehingga menghentikan penyaluran listrik ke konsumen, dan
- c) rusaknya peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus-arus yang besar.

3. Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih disebabkan oleh adanya ketidaknormalan pada sistem. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi dikarenakan :

- a. Adanya gangguan petir, dan
- b. gangguan surja hubung, antara lain terjadinya penutupan saluran tak serempak pada PMT tiga fasa, pelepasan beban akibat gangguan, penutupan saluran yang awalnya tidak masuk dalam sistem menjadi masuk dalam sistem, dan sebagainya.

2.3 Sistem Proteksi

Prinsip dasar dari sistem proteksi adalah bagaimana mengamankan atau melindungi sistem tenaga listrik dari suatu kejadian gangguan pada sistem, dengan cara memisahkan sistem dari sistem lainnya yang masih normal dengan cepat dan tepat (Tanyadji, 2015: 11). Maka persyaratan yang harus dimiliki oleh relai proteksi adalah:

2.3.1. Kecepatan (*Speed*)

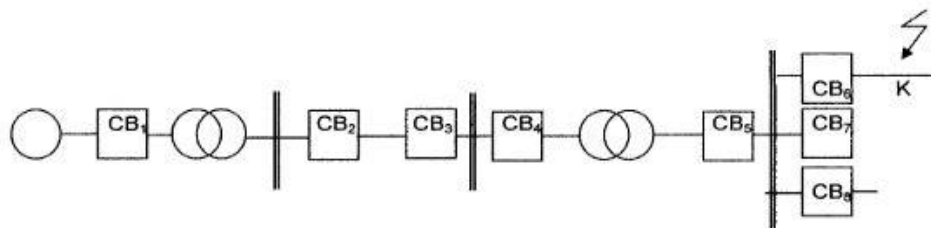
Respon proteksi tersebut harus secepat mungkin memisahkan sistem yang terganggu dari sistem lainnya agar tidak menimbulkan kemunculan bentuk gangguan baru pada sistem lainnya.

2.3.2. Kepekaan (sensitifitas)

Proteksi harus sensitive merespons gangguan yang sedemikian kecil selama gangguan tersebut termasuk dalam tugasnya.

2.3.3. Ketelitian (selektifitas)

Proteksi harus tepat dalam merespon gangguan agar hanya daerah yang terganggu yang terpisah dari sistem, tanpa menyebabkan daerah yang lainnya yang tidak terdampak gangguan ikut terpisah oleh sistem. Dengan demikian, segala tindakannya akan tetap dan akibatnya gangguan dapat dieleminir menjadi sekecil mungkin. seperti gambar 2.3. berikut..



Gambar 2.3. Gangguan pada titik K dalam sistem tenaga listrik sederhana
(Sumber : Alawiy, 2006: 3)

Dalam sistem tenaga listrik sederhana seperti gambar 2.3 apabila terjadi gangguan pada titik K maka hanya CB6 yang bekerja. Adapun CB1, CB2, CB3, CB4, CB5, CB7, dan CB8 tidak bekerja.

2.3.4. Keandalan (realibilitas)

Proteksi akan bekerja sesuai dengan apa yang diharapkan, keandalan sistem proteksi dapat mengacu pada 2 konsep yaitu:

1) Konsep *security*

Bahwa suatu kepastian sistem proteksi tidak akan mengalami kesalahan dalam pengoperasiannya, sehingga ketika terjadi gangguan yang bukan diperuntukkannya maka sistem proteksi tidak akan bereaksi kepadanya, walaupun bagaimana besarnya gangguan tersebut.

2) Konsep *dependability*

Bahwa suatu sistem proteksi pasti akan bereaksi untuk kondisi yang dirasakan sebagai gangguan.

2.3.5. Ekonomis dan Sederhana

Alat proteksi yang digunakan seminimal mungkin yang sederhana dan biaya yang minimum tetapi dapat dicapai fungsi dan tujuan yang ingin dicapai (tanyadji, 2015:12).

2.4 Fungsi Relai Proteksi

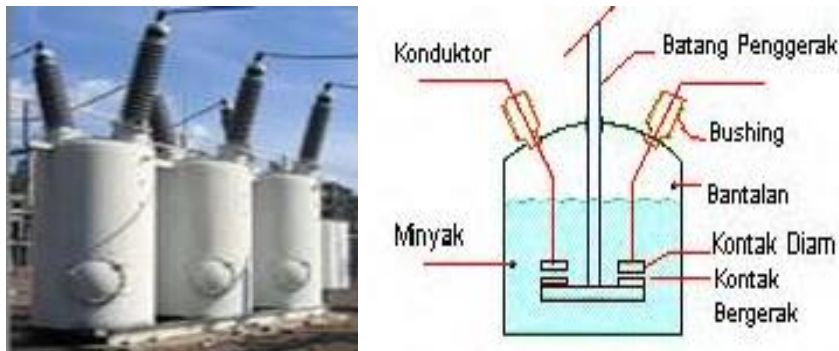
Fungsi relai proteksi dalam sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut:

- 1) Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkannya dengan cepat,
- 2) mengurangi kerusakan yang lebih parah pada peralatan yang terganggu,
- 3) mengurangi pengaruh gangguan ke sistem lain yang tidak terdampak gangguan dalam sistem tersebut serta dapat beroperasi normal dan juga untuk mencegah meluasnya gangguan (Hidayat, 2013: 109).

2.5 Jenis – Jenis Sistem Proteksi

2.5.1 Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus Tenaga merupakan sebuah alat pengaman yang berfungsi untuk memutus rangkaian listrik dengan kondisi apapun, termasuk arus hubung singkat sesuai dengan *ratingnya*. Juga pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal. berikut gambar 2.4 adalah gambar PMT dan bagian bagiannya.



Gambar 2.4. *oil circuit breaker* dan bagian-bagiannya
(sumber : Hakam Rahmatullah, 2012 : 3)

2.5.2 Relai Arus Lebih (*over current relay*)

Relai arus lebih merupakan relai yang bekerja berdasarkan kenaikan arus yang melebihi nilai pengamanan tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga relai ini dapat dipakai sebagai pengaman sistem dari suatu arus lebih. Pada dasarnya relai ini mengamankan sistem dari arus lebih yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat atau beban lebih. Relai arus lebih ini akan bekerja ketika besarnya arus yang masuk melebihi arus kerja yang telah diatur dan dinyatakan menurut kumparan sekunder dari trafo arus. Ketika terjadi gangguan hubung singkat atau beban lebih, relai arus lebih akan memberikan isyarat kepada PMT untuk membuka rangkaian sehingga kerusakan alat akibat dari gangguan dapat diminimalisir.

Relai arus lebih adalah suatu relai proteksi yang dikerjakan oleh suatu besaran arus gangguan akibat hubung singkat yang mengalir pada rangkaian kumparan gerakannya. Ketika besarnya arus dideteksi melebihi batas *settingnya*, maka relai akan bekerja kemudian dalam waktu tertentu akan memberika perintah *trip* ke PMT untuk memisahkan atau mengisolir gangguan tersebut. Relai arus lebih akan memberikan perintah *trip* kepada PMT sesuai dengan karakteristik waktunya.

2.6 Arus Gangguan Hubung Singkat

Untuk menentukan nilai *setting* pada suatu alat *proteksi* OCR maka dibutuhkan suatu perhitungan arus hubung singkat tiga fasa sebagai salah satu parameter penentuan time multiplied setting(tms). Dalam sistem tiga fasa dikenal impedansi postif (Z_1).

$$I_{sc3fasa} = \frac{V_{L-N}}{Z_{1eq}} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

$I_{sc3fasa}$: Arus hubung singkat (Ampere)

V_{L-N} : Tegangan fasa netral sisi sekunder transformator (kilo Volt)

Z_{1eq} : Impedansi ekivalen urutan positif transformator (Ohm)

2.7 Impedansi Jaringan

Pada sistem jaringan distribusi terdapat tiga jenis impedansi yaitu impedansi positif, impedansi negatif dan impedansi nol. Untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat di setiap titik gangguan, maka perlu untuk menghitung impedansi

positif, negatif, atau nol pada generator, sumber, transformator, dan penyulang. sesuai jenis gangguan hubung singkat seperti apa yang ingin didapatkan.

Salah satu parameter yang digunakan untuk mendapatkan impedansi sumber adalah dengan mengetahui nilai MVA_{sc} yang ada pada sumber. Maka MVA_{sc} pada generator dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (sarimun, wahyudi, 2012:82):

$$MVA_{sc} = \frac{E}{X_d''} \times MVA_g \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- MVA_{sc} : daya short circuit Maksimum generator (MVA)
- E : tegangan Generator (kV)
- X_d'' : Impedansi *subtransient* generator (pu)
- MVA_g : Daya Generator (MVA)

Impedansi sumber di sisi primer dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Stevenson, Jr. W.D., 1983:48):

$$X_{primer} = \frac{kV^2}{MVA_{sc}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

- X primer : Impedansi Sumber Primer (Ohm)
- kV : Tegangan Sumber (kilo Volt)
- MVA_{sc} : Data Hubung Singkat (MVA)

Untuk impedansi sumber di sisi sekunder dapat dihitung dengan mengkonversikan impedansi sisi primer ke sisi sekunder. Berikut persamaan 2.4 (Stevenson, Jr. W.D., 1983:48) :

$$X_s = \frac{kV_2^2}{kV_1^2} \times Z \text{ primer} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

Z primer : Impedansi Sumber Primer (Ohm)

Xs : Impedansi Sumber Sekunder (Ohm)

kV₁ : Tegangan Sisi Primer Transformator Daya (kilo Volt)

kV₂ : Tegangan Sisi Sekunder Transformator Daya (kilo Volt)

Setelah mendapatkan nilai reaktansi sumber, selanjutnya dilakukan perhitungan reaktansi positif transformator dengan menggunakan persamaan 2.5 sebagai berikut (Sarimun, Wahyudi, 2012:166) :

$$X_t = (Z\%) \times \frac{KV \text{ sekunder}^2}{MVA \text{ trafo}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

X_t : Impedansi urutan positif negatif transformator (Ohm)

(Z%) : Impedansi transformator tenaga (ohm)

KV sekunder : Tegangan sisi sekunder transformator (kilo Volt)

MVAtrafo : Daya Transformator (MVA)

Untuk menghitung impedansi penghantar pada penyulang, hal yang harus diketahui yaitu jenis, ukuran serta impedansi penghantarnya. Berikut persamaan 2.6 yang digunakan dalam menghitung besar impedansi penghantar pada penyulang. (Sarimun, Wahyudi, 2012:167):

$$Z_{\text{penyulang}} = \text{Panjang Penyulang} \times Z_{\text{penghantar}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

$Z_{\text{penyulang}}$: Impedansi Penyulang (Ohm)

$Z_{\text{penghantar}}$: Impedansi Jenis Penghantar (Ohm)

Selanjutnya melakukan perhitungan nilai impedansi ekuivalen urutan positif dari titik gangguan sampai sumber. Untuk nilai impedansi ekuivalen positif dan negatif langsung dapat menjumlahkan impedansi-impedansi yang ada. Adapun impedansi ekuivalen urutan nol dimulai dari titik gangguan sampai dengan transformator tenaga yang diketanahkan (Mustafa, Desnandi, 2018:45).

2.8 Karakteristik Kurva Relai

Waktu pemutusan rangkaian akibat gangguan merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam menentukan skema proteksi. Hal ini dikarenakan suatu peralatan proteksi harus dikoordinasikan waktunya dengan peralatan proteksi yang lain agar hanya peralatan proteksi yang paling dekat dengan gangguan yang bekerja. Waktu pemutusan peralatan proteksi berkaitan erat dengan karakteristik dari peralatan proteksi tersebut. Karakteristik kerja relai proteksi didasarkan pada waktu kerjanya, yakni :

1) *Instantaneous relay*

Instantaneous relay atau biasa disebut relai arus lebih seketika adalah relai yang dalam setelannya tanpa waktu tunda. Tetapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 20 s/d 100 ms (Tasiam, 2017: 175). Maka pada saat terjadi gangguan yang arus gangguannya melebihi dari penyetelannya, maka akan memberikan perintah kepada PMT untuk trip dalam waktu instant/cepat. Setelah relai ini dapat

di aplikasikan pada *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR).

Karakteristik *instantaneous relay* seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. karakteristik *instantaneous relay*
(Sumber : Alawiy, 2006: 21)

2) *Definite Time Relay*

Definite Time relay atau biasa disebut relai arus lebih waktu tertentu adalah relai yang bekerja memberikan perintah kepada PMT ketika terjadi gangguan yang besar arusnya melebihi penyetelannya, dan jangka waktu kerja relai ini mulai dari *pick-up* sampai kerja relai waktunya ditunda dengan harga tertentu karena tidak dipengaruhi oleh besarnya arus gangguan kurva karakteristik (Tasiam, 2017 : 177).

Definite Time Relay bisa dilihat pada gambar 2.6 .



Gambar 2.6 Karakteristik *Definite Time Relay*
(Sumber : Alawiy, 2006: 22)

3) Relai Arus Lebih Inverse

Relai arus lebih invers merupakan karakteristik yang waktu operasinya berbanding terbalik dengan besar arus gangguan. Relai ini biasanya disebut dengan *Invers Time Delay Over Current Relay*. Semakin besar arus gangguan yang mengalir pada sistem maka semakin cepat waktu operasi relai dalam memisahkan atau mengisolir gangguan. Begitu pun sebaliknya, saat arus gangguan yang di deteksi juga kecil, waktu operasi rele yang dibutuhkan juga semakin lama.

Dalam standar IEC 60255, karakteristik dari waktu *inverse* terbagi menjadi empat tipe kurva proteksi. Empat tipe kurva inverse tersebut adalah sebagai berikut:

a. *Standard Inverse Time*

Karakteristik dari kurva ini menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu operasi relai yang standar, dimuat dengan persamaan (2.7).

$$t = TMS \left(\frac{0,14}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

b. *Very Inverse Time*

Karakteristik dari kurva ini menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu operasi relai yang lebih cepat/tinggi dari *standard inverse*, dimuat dengan persamaan (2.8).

$$t = TMS \left(\frac{1,35}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right) - 1} \right) \dots\dots\dots (2.8)$$

c. *Extremly Inverse Time*

Karakteristik dari kurva ini menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu operasi relai yang lebih cepat/tinggi dari *standard* dan *Very inverse*, dimuat dengan persamaan (2.9).

$$t = TMS \left(\frac{80}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^2 - 1} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

d. *Long Time Inverse*

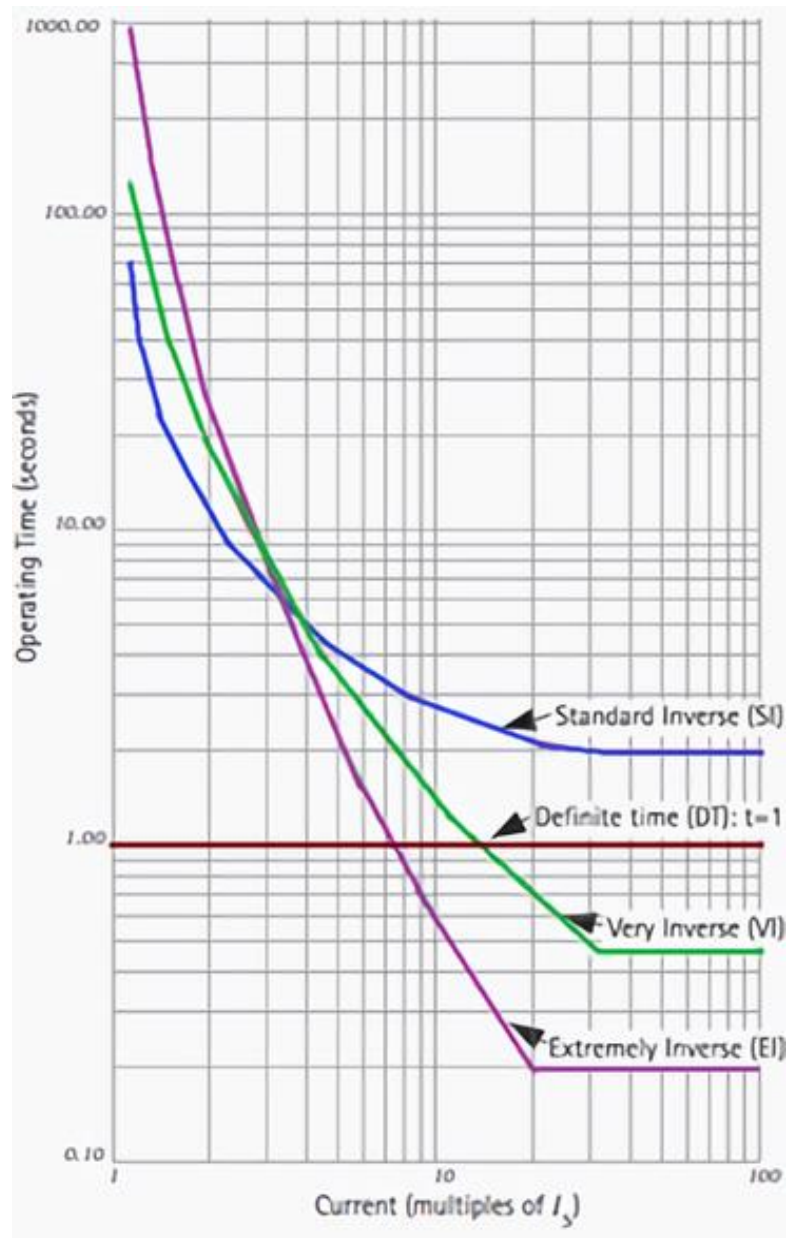
Karakteristik dari kurva ini menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu operasi relai yang lebih lambat/rendah diantara karakteristik kurva yang lain, dimuat dengan persamaan (2.10).

$$t = TMS \left(\frac{120}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right) - 1} \right) \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

- t : waktu operasi (detik)
- TMS : *Time Multiple Setting*
- Ifault* : Arus gangguan (ampere)
- Iset* : Arus setelan primer (ampere)

Berdasarkan standar IEC 60255, berikut merupakan gambaran kurva karakteristik dari empat tipe kurva *inverse*, bisa dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Karakteristik Rele OCR berdasarkan standar IEC 6020555
(Sumber : Syahrial, 2013:79)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan oleh penulis terkait koordinasi proteksi Penyulang Kampili dengan Penyulang ekspres pembangkit Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 pada Gardu Induk Borongloe. Dalam rangka menganalisis dan mengevaluasi arus hubung singkat terkait koordinasi proteksi OCR, maka penulis akan melakukan penelitian di Gardu Induk Borongloe asuhan Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Panakkukang. Penelitian dan pengambilan data direncanakan akan dilakukan dalam kurung waktu kurang lebih 3 bulan, dimulai pada bulan januari sampai dengan Maret 2021.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang akan penulis gunakan sebagai bahan untuk menganalisis dan mengevaluasi koordinasi proteksi pada penyulang Kampili dengan Penyulang pembangkit Bili-Bili 1 & 2 pada GI Borongloe adalah sebagai berikut:

3.3 Teknik Literatur

Teknik literatur dimaksudkan untuk mempelajari referensi melalui buku, jurnal, halaman web, dan juga catatan atau dokumen yang berkaitan dengan laporan tugas akhir ini. Pencarian informasi ini dilakukan untuk memperoleh dasar teori mengenai koordinasi relai proteksi dan beberapa hal yang berkaitan dengan masalah yang akan dianalisis.

3.4 Teknik Observasi

Dalam hal ini penulis akan melakukan observasi secara langsung ke area Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Panakkukang pada Gardu Induk Borongloe untuk menganalisis koordinasi proteksi OCR pada penyulang ekspres Bili-bili 1 dan Penyulang Ekspres Bili-bili 2 terhadap Penyulang kampili. Dari sana dapat diketahui data yang dibutuhkan dalam kegiatan penelitian ini.

3.5 Teknik Wawancara

Pengambilan data dengan teknik wawancara dilakukan dengan memawawancarai pihak yang langsung berkaitan dengan sistem proteksi Penyulang Kampili dengan Penyulang ekspres Pembangkit Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2, untuk mendapatkan data keterangan dari pihak yang berkaitan mengenai koordinasi pada proteksi penyulang tersebut.

3.6 Teknik Dokumentasi

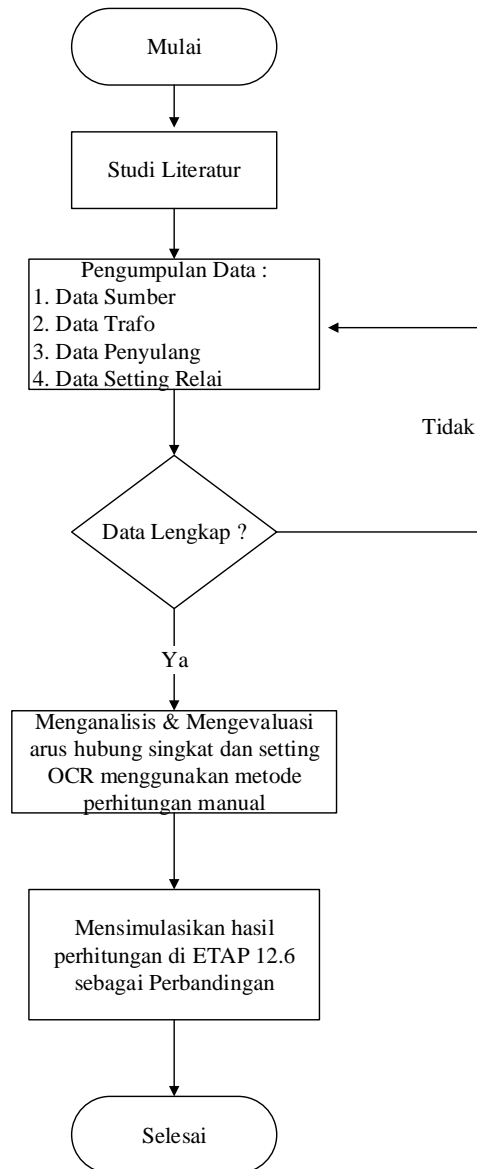
Teknik dokumentasi penulis gunakan sebagai alat untuk mencari data mengenai hal-hal atau variable penelitian dalam bentuk catatan transkrip, agenda, buku, surat kabar, notulen, dan sebagainya. Penulis menggunakan ini untuk memperoleh parameter-parameter yang dibutuhkan terkait koordinasi proteksi penyulang Kampili dengan Penyulang pembangkit Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 pada Gardu Induk Borongloe.

3.7 Teknik Analisis Data

Seperti yang dijelaskan sebelumnya penelitian ini menggunakan 4 Teknik dalam mengumpulkan parameter-parameter yang dibutuhkan terkait koordinasi

proteksi penyulang Kampili dengan Penyulang Ekspres pembangkit Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 pada Gardu Induk Borongloe. Setelah ke-empat Teknik dilakukan untuk mengulas data yang ada, maka penulis akan melakukan pengintegrasian ke dalam teori yang ada, dengan melakukan perbandingan teori dalam hal ini perhitungan manual *resetting* relai berdasarkan persamaan standar IEC 60255 dengan data *existing* yang ada. Kemudian akan dilakukan simulasi pada *software Electrical Transient Analysis Program (ETAP) 12.6* sebagai perbandingan dari hasil perhitungan manual terkait koordinasi proteksi penyulang Kampili dengan Penyulang pembangkit Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 pada Gardu Induk Borongloe.

3.8 Prosedur Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* prosedur penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada analisis koordinasi proteksi Penyulang Kampili dengan Penyulang Ekspres Bili-bili 1 dan Bili-Bili 2 menggunakan perhitungan manual kemudian melakukan simulasi di *software* ETAP 12.6 sebagai perbandingan atas hasil perhitungan. Perhitungan nilai *setting* koordinasi proteksi dan hasil simulasi *fault insertion* di *software* ETAP 12.6 akan diuraikan pada Bab ini.

4.1. Data Penelitian

Dalam melakukan analisis koordinasi proteksi Penyulang Kampili dengan Penyulang Ekspres Bili-bili 1 dan Bili-bili 2 tentunya membutuhkan data teknis dari Generator, Transformator, *setting* relai OCR dan data Penyulang.

Tabel 4.1 Spesifikasi Generator Unit 1 dan 2 PLTA Bili-bili

Spesifikasi	Unit 1	Unit 2
Rated Voltage	6,6 kV	6,6 k,V
Cos phi	0,85	0,85
Daya <i>Output</i>	6,8 MVA	16,1 MVA
Rpm	500	375
X''	0,168	0,168
X ₂	0,177	0,177
X ₀	0,109	0,109

Sumber : ULTG Panakkukang

Tabel 4.2 Spesifikasi *Main Transformer*

Spesifikasi	Trafo Unit 1 PLTA	Trafo Unit 2 PLTA	Trafo Tenaga GI Borongloe
Kapasitas	10 MVA	20 MVA	20 MVA
Impedansi	10 %	11 %	11,9%
Tegangan	6,6/20 kV	6,6/20 kV	70/20kV

Spesifikasi	Trafo Unit 1 PLTA	Trafo Unit 2 PLTA	Trafo Tenaga GI Borongloe
Ground Resistor	40 Ω	40 Ω	40 Ω
MVA _{sc}	-	-	356,486 MVA

Sumber : ULTG Panakkukang

Tabel 4.3 Spesifikasi *Setting* OCR dan GFR

Spesifikasi	Kubikel F.Kampili	Kubikel F. bili-bili 1	Kubikel F. bili-bili 2
<i>Merk</i>	Alstom	GE	GE
<i>Type</i>	MICOM 14NZ	MIF II	MIF II
Karakteristik	SI	SI	SI
<i>I</i> setting OCR	240 A	600 A	600 A
Inominal	200 A	600 A	600 A
Rasio CT	200/5 A	600/5 A	800/5 A
TMS OCR	0,205	0,05	0,05

Sumber : ULTG Panakkukang

Tabel 4.4 Data Penyulang

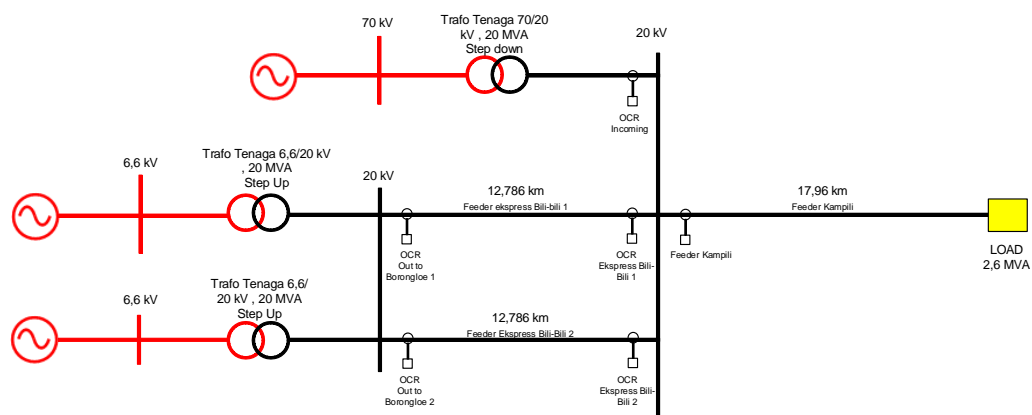
Spesifikasi	Penyulang Kampili	Penyulang Ekspres Bili-bili 1	Penyulang Ekspres Bili-bili 2
Jenis Kawat	AAAC	AAAC	AAAC
Luas Penampang	240 mm ²	240 mm ²	240 mm ²
Panjang Penghantar	17,96 km	12,786 km	12,786 km

Spesifikasi	Penyulang Kampili	Penyulang Ekspres Bili-bili 1	Penyulang Ekspres Bili-bili 2
Impedansi Urutan positif (Ω/km)	$0,1344 + j0,3158$	$0,1344 + j0,3158$	$0,1344 + j0,3158$

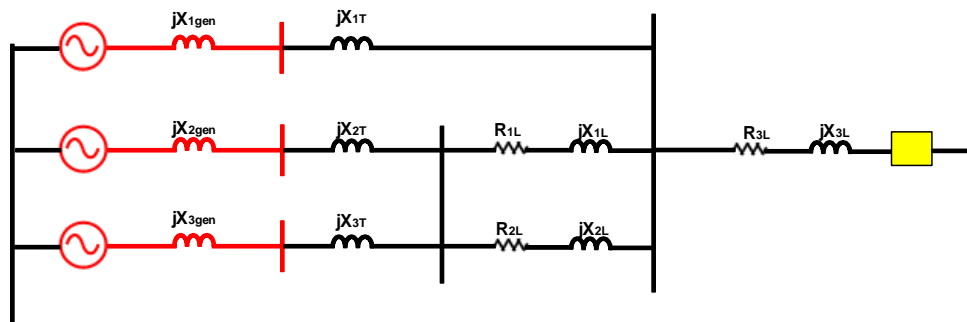
Sumber : PLN UP3 Makassar Selatan

4.2. Impedansi Jaringan

Dalam menentukan *setting* koordinasi proteksi OCR dan GFR antara kubikel penyulang, dibutuhkan perhitungan nilai impedansi jaringan untuk menentukan besar nilai arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa ke tanah dalam jaringan tersebut. Berikut merupakan gambar single line diagram dan rangkaian impedansi jaringan.



Gambar 4.1 *Single Line* diagram jaringan PLTA Bili-Bili ke Penyulang Kampili



Gambar 4.2 Impedansi Jaringan PLTA Bili-Bili ke Penyulang Kampili

4.2.1 Impedansi Sumber

a. Impedansi Sumber di sisi 70 kV (GI Borongloe)

Impedansi sumber ini merupakan nilai tahanan pada sisi 70 kV. Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$\begin{aligned} X_{\text{Primer}} &= \frac{kV^2}{MVA_{sc}} \\ &= \frac{20^2}{356,486} \\ &= j13,746 \Omega \end{aligned}$$

Sedangkan untuk menghitung impedansi pada sisi sekunder dapat menggunakan persamaan di bawah berikut ini :

$$\begin{aligned} X_{s1} &= \frac{kV_2^2}{kV_1^2} \times X_{\text{primer}} \\ &= \frac{20^2}{70^2} \times 13,746 \\ &= j1,122 \Omega \end{aligned}$$

b. Impedansi Sumber di sisi 20 kV (PLTA Bili-Bili)

Impedansi sumber di sisi 20 kV PLTA Bili-Bili di bagi atas dua buah Unit sumber yakni di Generator di Unit 1 dan Unit 2 . Untuk menghitung impedansinya terlebih dahulu menghitung MVA hubung singkat di masing-masing Generator dengan persamaan berikut ini.

1. Generator Unit 1

$$\begin{aligned} MVA_{sc} &= \frac{E}{X''_d} \times MVA_{G1} \\ &= \frac{6,6}{0,168} \times 6,8 = 267,142 MVA_{sc} \end{aligned}$$

2. Generator Unit 2

$$\begin{aligned}MVA_{SC} &= \frac{E}{X''_d} \times MVA_{G2} \\ &= \frac{6,6}{0,168} \times 16,1 \\ &= 632,5 MVA_{sc}\end{aligned}$$

Setelah menghitung MVA hubung singkat di masing-masing generator, maka selanjutnya menghitung impedansi sumbernya di sisi 20 kV dengan menggunakan persamaan berikut ini.

1. Impedansi Sumber Unit 1

$$\begin{aligned}X_{s2} &= \frac{kV^2}{MVA_{sc}} \\ X_{s2} &= \frac{20^2}{267,142} \\ &= j1,497 \Omega\end{aligned}$$

2. Impedansi Sumber Unit 2

$$\begin{aligned}X_{s3} &= \frac{kV^2}{MVA_{sc}} \\ X_{s3} &= \frac{20^2}{632,5} \\ &= j0,632 \Omega\end{aligned}$$

4.2.2 Reaktansi Transformator

1. Reaktansi Transformator 70/20 kV

Pada transformator tenaga di Gardu Induk Borongloe dengan Kapasitas 20 MVA memiliki persentase impedansi sebesar 11,9%, untuk menghitung reaktansi

urutan positif transformator di sisi sekunder 20 kv menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} X_{t1} &= (Z\%) \times \frac{KV \text{ Sekunder}^2}{MVA \text{ Trafo}} \\ &= (11,9\%) \times \frac{20^2}{20} \\ &= j2,38 \Omega \end{aligned}$$

2. Impedansi Transformator 6,6/20kV

transformator tenaga di PLTA Bili-Bili terdapat dua unit, yaitu Trafo Unit 1 dengan kapasitas daya 10 MVA dan Trafo unit 2 dengan kapasitas daya 20 MVA, serta masing-masing memiliki impedansi sebesar 10% dan 11%. Untuk menghitung reaktansi urutan positif transformator di sisi 20 kv menggunakan persamaan sebagai berikut.

a. Reaktansi Transformator Unit 1

$$\begin{aligned} X_{t2} &= (Z\%) \times \frac{kV^2}{MVAtrafo} \\ X_{t2} &= (10\%) \times \frac{20^2}{10} \\ &= j4 \Omega \end{aligned}$$

b. Reaktansi Transformator Unit 2

Urutan Positif/negatif

$$\begin{aligned} X_{t3} &= (Z\%) \times \frac{kV^2}{MVAtrafo} \\ X_{t3} &= (11\%) \times \frac{20^2}{20} \\ &= j2,2 \Omega \end{aligned}$$

4.2.3 Impedansi Penyulang Ekspres Bili-Bili 1 & Penyulang Ekspres Bili-Bili 2

Besar nilai impedansi penyulang berpengaruh terhadap nilai impedansi ekuivalen jaringan yang digunakan untuk menghitung suata arus gangguan hubung singkat. Berdasarkan pada SPLN 64:1985 (*terlampir*) tentang besar tahanan dan reaktansi yang disesuaikan dengan besar penampang dan jari-jari penghantarnya. Dimana panjang penyulang Kampili adalah 12,786 km menggunakan jenis penghantar AAAC 240 mm². berikut merupakan perhitungan nilai impedansi urutan positif (Z_1) dengan menggunakan persamaan 2.6 berikut.

$$\begin{aligned} Z_{1L1} &= L \times (0,1344 + j0,3158) \\ &= 12,786 \times (0,1344 + j0,3158) \\ &= 1,718 + j4,038 \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

$$Z_{1L1} = Z_{1L2}$$

4.2.4 Impedansi Penyulang Kampili

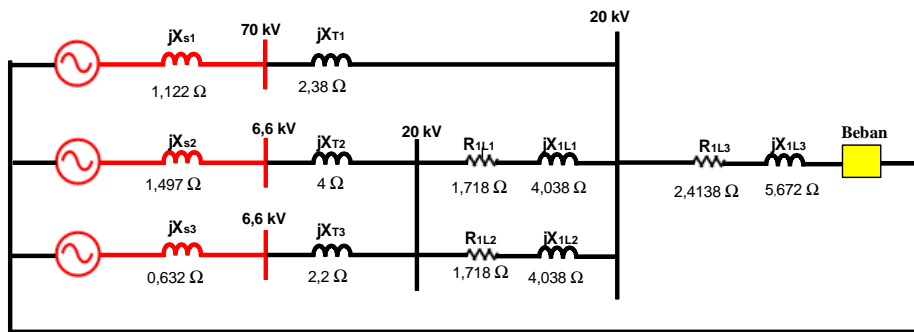
Dari data yang diperoleh, jenis penghantar yang digunakan pada penyulang Kampili menggunakan tipe AAAC 240 mm² dengan panjang penyulang 17,96 km. maka dari itu besar nilai impedansi urutan positif adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Z_{1L3} &= L \times (0,1344 + j0,3158) \\ &= 17,96 \times (0,1344 + j0,3158) \\ &= 2,4138 + j5,672 \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

4.2.5 Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Menentukan nilai impedansi ekuivalen jaringan dengan menyederhanakan rangkaian impedansi antara PLTA Bili-Bili, GI Borongloe, dan Penyulang Kampili

dengan menggunakan metode perhitungan seri dan paralel. Dimana rangkaian yang ingin di sederhanakan seperti gambar-gambar berikut.



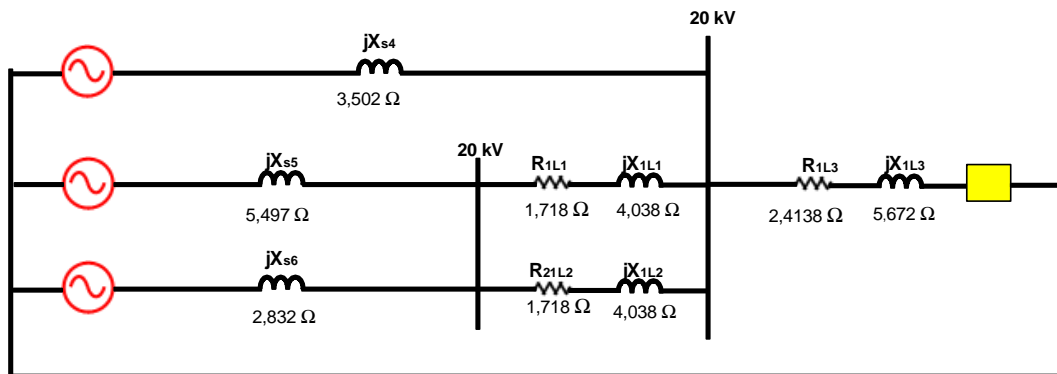
Gambar 4.3 Model rangkaian impedansi jaringan PLTA Bili-Bili, GI Borongloe, dan Penyulang Kampili ke-1

Berdasarkan rangkaian tersebut, masing-masing reaktansi sumber dan trafo ketiga sumber tersebut dapat di seri kan. Berikut di bawah ini perhitungannya.

$$\begin{aligned} X_{s4} &= jX_{1gen} + jX_{1T} \\ &= j1,122 + j2,38 \\ &= j3,502 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{s5} &= jX_{2gen} + jX_{2T} \\ &= j1,497 + j4 \\ &= j5,497 \Omega \end{aligned}$$

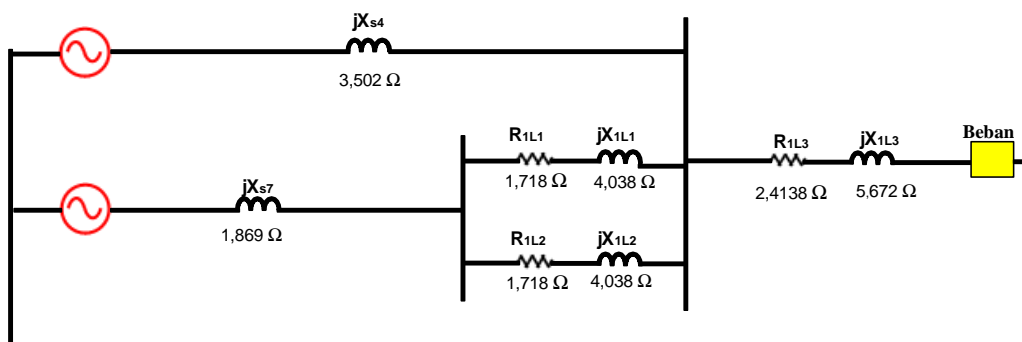
$$\begin{aligned} X_{s6} &= jX_{3gen} + jX_{3T} \\ &= j0,632 + j2,2 \\ &= j2,832 \Omega \end{aligned}$$



Gambar 4.4 Model rangkaian impedansi jaringan PLTA Bili-Bili, GI Borongloe, dan Penyulang Kampili ke-2

Selanjutnya menghitung nilai impedansi sumber di sisi PLTA Bili-Bili dengan memparalelkan jX_{s5} dengan jX_{s6} .

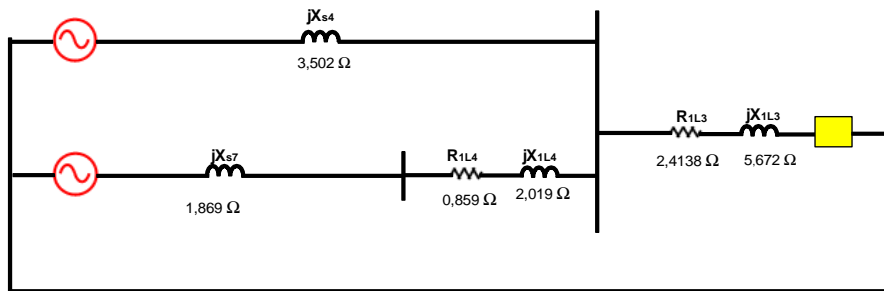
$$\begin{aligned}
 X_{s7} &= \frac{jX_{s5} \times jX_{s6}}{jX_{s5} + jX_{s6}} \\
 &= \frac{(5,497 \times 2,832)}{(5,497 + 2,832)} \\
 &= j1,869 \Omega
 \end{aligned}$$



Gambar 4.5 Model rangkaian impedansi jaringan PLTA Bili-Bili, GI Borongloe, dan Penyulang Kampili ke-3

Selanjutnya menghitung nilai impedansi Penyulang Ekspres Pembangkit Bili-Bili 1 & Bili-Bili 2 dengan memparalelkan kedua impedansi penyulang tersebut. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

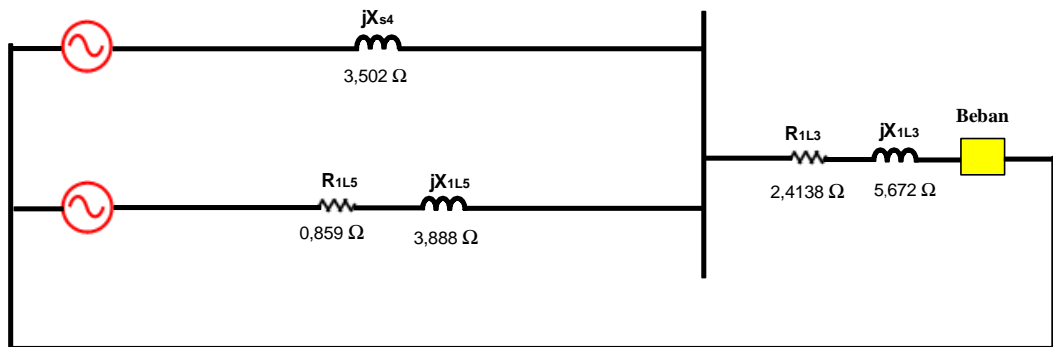
$$\begin{aligned}
Z_{L4} &= \frac{(R_{1L1} + jX_{1L1}) \times (R_{1L2} + jX_{1L2})}{(R_{1L1} + jX_{1L1}) + (R_{1L2} + jX_{1L2})} \\
&= \frac{(1,718 + j4,038) \times (1,718 + j4,038)}{(1,718 + j4,038) + (1,718 + j4,038)} \\
&= \frac{(4,388 \angle 66,95^\circ) \times (4,388 \angle 66,95^\circ)}{(4,388 \angle 66,95^\circ) + (4,388 \angle 66,95^\circ)} \\
&= \frac{19,255 \angle 133,9^\circ}{8,776 \angle 66,95^\circ} \\
&= 2,194 \angle 66,95^\circ \\
&= 0,859 + j2,019
\end{aligned}$$



Gambar 4.6 Model rangkaian impedansi jaringan PLTA Bili-Bili, GI Borongloe, dan Penyulang Kampili ke-4

Selanjutnya menjumlahkan nilai impedansi sumber di sisi PLTA Bili-Bili dengan impedansi total di Penyulang Ekspres Bili-Bili 1 dan Penyulang Ekspres Bili-Bili 2. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

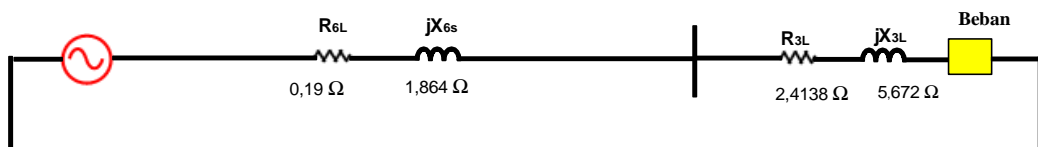
$$\begin{aligned}
Z_{L5} &= jX_{s7} + R_{1L4} + jX_{1L4} \\
&= j1,869 + 0,859 + j2,019 \\
&= 0,859 + j3,888
\end{aligned}$$



Gambar 4.7 Model rangkaian impedansi jaringan PLTA Bili-Bili, GI Borongloe, dan Penyulang Kampili ke-5

Selanjutnya menjumlahkan nilai impedansi di sisi GI Borongloe dengan impedansi di sisi PLTA Bili-Bili dengan menggunakan metode paralel. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Z_s &= \frac{jX_{S4} \times (R_{1L5} + jX_{1L5})}{jX_{S4} + (R_{1L5} + jX_{1L5})} \\
 &= \frac{j3,502 \times (0,859 + j3,888)}{j3,502 + (0,859 + j3,888)} \\
 &= \frac{(3,502 \angle 90^\circ) \times (3,982 \angle 77,54^\circ)}{0,859 + j7,39} \\
 &= \frac{13,945 \angle 167,56^\circ}{7,44 \angle 83,38^\circ} \\
 &= 1,874 \angle 84,18^\circ \\
 &= 0,19 + j1,864
 \end{aligned}$$



Gambar 4.8 Model Rangkaian impedansi pengganti jaringan PLTA Bili-Bili, GI Borongloe, dan Penyulang Kampili ke-6

Setelah melakukan penyederhanaan rangkaian impedansi seperti gambar berikut, dapat dilakukan perhitungan nilai impedansi ekivalen jaringan.

a. Impedansi Urutan Positif Ekivalen Penyulang Kampili

Selanjutnya menghitung nilai impedansi urutan positif (Z_{1eki}). Berikut merupakan perhitungan impedansi urutan positif ekivalen dengan asumsi titik gangguan di jarak 0%, 10%, 50% dan 90%.

Tabel 4.5 Impedansi ekivalen Positif penyulang kampili

% Panjang Penyulang	Impedansi ekivalen penyulang urutan positif (Ω)
0	0,19 + j1,864
10	$Z_{1eki} = Z_s + 10\% \times Z_{1L3}$ $= 0,19 + j1,864 + 10\% \times (2,4138 + j5,6672)$ $= 0,431 + j2,43$
50	1,3969 + j4,6976
90	2,362 + j6,969

b. Impedansi Urutan Positif Penyulang Ekspres Pembangkit Bili-Bili 1 & 2

Selanjutnya menghitung nilai impedansi urutan positif (Z_{1eki}). Berikut merupakan perhitungan impedansi urutan positif ekivalen dengan asumsi titik gangguan di jarak 100% dari PLTA Bili-Bili.

$$Z_{1eki} = 0,859 + j3,888$$

4.3. Analisis Arus Hubung Singkat

Untuk menentukan nilai *setting relay* OCR pada setiap kubikel penyulang, maka perlu untuk dihitung besar nilai arus gangguan hubung singkat 3 fasa dengan mengambil beberapa titik gangguan di sepanjang jaringan Penyulang Kampili, di

asumsikan titik gangguannya di jarak 0%,10%, 50% dan 90% dari gardu induk untuk melihat dan mengetahui koordinasi antara *main protection* dan *back up protection* di masing-masing titik apakah sesuai dengan standar atau tidak, serta menjadi dasar dalam perumusan setting relainya nanti.

Arus hubung singkat tiga fasa dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 2.1, sehingga arus gangguan hubung singkat tiga fasa yang terjadi pada penyulang Kampili pada jarak 0% dari Gardu Induk Borongloe yaitu:

$$\begin{aligned}
 I_{sc3fasa} &= \frac{V_{L-N}}{Z_{1eq}} \\
 &= \frac{11547,01}{\sqrt{(0,19^2 + 1,864^2)}} \\
 &= 6162,8 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dengan persamaan seperti di atas, maka besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa di penyulang Kampili untuk setiap titik gangguan dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data Arus Hubung Singkat 3 Fasa Penyulang Kampili Berdasarkan Titik Gangguan

No.	% Panjang Penyulang	Arus Hubung Singkat Tiga Fasa(A)
1.	0	6162,8
2.	10	4678,8
3.	50	2356,1
4.	90	1569,2

Adapun gangguan arus hubung singkat 3 fasa terjauh di jarak 100% dari PLTA Bili-Bili menuju GI Borongloe adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
I_{sc3fasa} &= \frac{V_{L-N}}{Z_{1eq}} \\
&= \frac{11547,01}{\sqrt{(0,859^2 + 3,888^2)}} \\
&= 2899,9 \text{ A}
\end{aligned}$$

Oleh karena dari PLTA Bili-Bili memiliki 2 line penyulang ekspres menuju GI Borongloe, yaitu Penyulang Ekspres Bili-Bili 1 dan Penyulang Ekspres Bili-Bili 2 dengan panjang dan spesifikasi yang sama. Maka arus hubung singkat yang terjadi di masing-masing penyulang adalah 1449,9 A

4.4. Penyetelan Setting Over Current Relay (OCR)

Koordinasi kinerja OCR antar kubikel penyulang sangat bergantung pada *setting* relai nya. untuk menentukan *setting* relai nya menggunakan arus beban maksimum. Jenis kurva karakteristik relai yang digunakan yaitu *standard inverse* dimana biasanya di *setting* dengan sebesar 1,05 – 1,2 kali arus beban maksimum. Untuk mengefektifkan koordinasi kinerja OCR antara kubikel penyulang maka dimulai menentukan *setting* OCR nya di bagian hilir lalu di bagian hulu. Berikut merupakan *setting* OCR masing-masing di setiap kubikel penyulang.

4.4.1 *Setting* OCR Penyulang Kampili

Berdasarkan data yang diperoleh, arus beban maksimum (I_n) dari penyulang Kampili yaitu 200 A. maka untuk mengetahui arus *setting* nya sebagai berikut.

$$I_{set \text{ Primer}} = 1,2 \times I_n$$

$$= 1,2 \times 200$$

$$= 240 \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ Sekunder}} &= I_{set \text{ primer}} \times \frac{1}{200/5} \\
 &= 200 \times \frac{1}{40} \\
 &= 6 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai tms pada *setting* OCR nya dengan mematok waktu kerja relai yaitu 0,3 detik pada gangguan arus hubung singkat maksimum di Penyulang Kampili. Berikut merupakan perhitungan nilai tms dengan menggunakan persamaan 2.7.

$$\begin{aligned}
 tms &= t \times \left(\frac{\left(\frac{I_f}{I_s} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \right) \\
 &= 0,3 \times \left(\frac{\left(\frac{6162,8}{240} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \right) \\
 &= 0,144
 \end{aligned}$$

4.4.2 *Setting* OCR Penyulang Ekspres Bili-bili 1 dan 2

Berdasarkan data yang diperoleh, arus beban maksimum (I_n) dari penyulang Ekspres Pembangkit Bili-Bili 1 & Bili-Bili 2 yaitu 600 A. maka untuk mengetahui arus *setting* nya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ Primer}} &= 1,2 \times I_n \\
 &= 1,2 \times 600 \\
 &= 720 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Arus setting sekunder pada penyulang Ekspres Bili-Bili 1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Iset Sekunder} &= \text{Iset primer} \times \frac{1}{600/5} \\ &= 720 \times \frac{1}{120} \\ &= 6 \text{ A} \end{aligned}$$

Arus *setting* sekunder pada penyulang Ekspres Bili-Bili 2 adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Iset Sekunder} &= \text{Iset primer} \times \frac{1}{800/5} \\ &= 720 \times \frac{1}{160} \\ &= 4,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai tms pada *setting* OCR nya dengan mematok selisih waktu kerja relai 0,4 detik sehingga ditetapkan 0,7 detik guna selektifitas koordinasi kerja relai berdasarkan standar IEEE 242-1986 dan IEC 60255 dimana *main protection* bekerja 0,2- 0,5 detik lebih cepat daripada *back up protection*. *Ifault* yang digunakan yaitu sumbangan arus hubung singkat maksimum dari Penyulang Ekspres Pembangkit Bili-Bili 1 & Bili-Bili 2 terhadap Penyulang Kampili. Berikut merupakan perhitungan nilai tms dengan menggunakan persamaan (1).

$$tms = t \times \left(\frac{\left(\frac{I_f}{I_s} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \right) = 0,3 \times \left(\frac{\left(\frac{1449,99}{720} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \right) = 0,07$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan hasil *resetting* OCR pada setiap kubikel penyulang. Seperti terlihat pada tabel 4.7 terdapat perbedaan antara data *setting existing* dari PLN dengan hasil *resetting*, untuk itu maka diperlukan perbandingan koordinasi antara keduanya dengan menggunakan perhitungan dan simulasi di ETAP sebagai pembanding dari hasil perhitungan. Berikut merupakan tabel 4.7 data *setting* OCR *existing* dengan hasil *resetting*.

Tabel 4.7 Data *Setting* OCR *existing* PLN dan *Resetting*

No.	Setting OCR	PLN		Resetting	
		Isetting	240 A	Isetting	240 A
1.	Penyulang Kampili	TMS	0,205	TMS	0,143
		Isetting	240 A	Isetting	240 A
2.	Penyulang Ekspres Pembangkit Bili- Bili 1	TMS	0,05	TMS	0,07
		Isetting	600 A	Isetting	720 A
3.	Penyulang Ekspres Pembangkit Bili- Bili 2	TMS	0,05	TMS	0,07
		Isetting	600 A	Isetting	720 A

4.5. Analisis Koordinasi OCR

Analisis Koordinasi OCR dilakukan untuk menguji selektifitas *Setting* OCR berdasarkan titik arus gangguan hubung singkat yang telah ditentukan yaitu 0%, 10%, 50%, dan 90%. Untuk memastikan selektifitas OCR nya, apakah sesuai dengan standar bahwa selisih waktu kerja relai *main protection* dengan *Back up protection* adalah 0,2-0,5 detik. Maka dari itu, digunakan alat untuk menguji

selektifitasnya adalah dengan menggunakan persamaan *standard inverse* dan simulasi di ETAP 12.6.

4.5.1. Analisis Perhitungan koordinasi *Standard Inverse*

Analisis perhitungan untuk membandingkan waktu operasi relai berdasarkan *setting existing* OCR dengan hasil *resetting* OCR menggunakan persamaan standar *inverse*.

a. *Setting* koordinasi *Existing* OCR

Berikut merupakan analisis perhitungan waktu tunda OCR pada kubikel Penyulang Kampili dari titik 0% GI Borongloe ke Penyulang Kampili.

$$\begin{aligned}
 t &= t_{ms} \times \left(\frac{0,14}{\left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) \\
 &= 0,205 \left(\frac{0,14}{\left(\left(\frac{6162,8}{240} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) \\
 &= 0,427 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, maka waktu operasi OCR di masing-masing titik gangguan adalah seperti di tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.8 Waktu operasi OCR *Existing* Kubikel Penyulang Kampili

% jarak Penyulang	Waktu operasi OCR (detik)
10	0,469
50	0,614
90	0,749

Setting Existing OCR pada kubikel Penyulang Ekspres Pembangkit Bili-Bili 1 & Bili-Bili 2. Berikut merupakan analisis perhitungan waktu kerja OCR pada titik 0% dari GI Borongloe ke Penyulang Kampili.

$$\begin{aligned}
 t &= tms \times \left(\frac{0,14}{\left(\left(\frac{Ifault}{Iset} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) \\
 &= 0,205 \left(\frac{0,14}{\left(\left(\frac{1449,9}{600} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) \\
 &= 0,392 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, maka waktu kerja operasi OCR di titik gangguan 10% dengan besar arus hubung singkat 3 fasa 1097 A adalah sebagai berikut.

Tabel 4.9 Waktu operasi OCR *existing* kubikel Penyulang Ekspres Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2

% jarak Penyulang Kampili – GI Borongloe	Waktu operasi OCR (detik)
10	0,576

b. Hasil *Resetting* Koordinasi OCR

Berikut merupakan analisis perhitungan waktu tunda OCR pada kubikel Penyulang Kampili dari titik 0% GI Borongloe ke Penyulang Kampili.

$$\begin{aligned}
 t &= tms \times \left(\frac{0,14}{\left(\left(\frac{Ifault}{Iset} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) \\
 &= 0,143 \left(\frac{0,14}{\left(\left(\frac{6162,8}{240} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) \\
 &= 0,298 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, maka waktu operasi OCR di masing-masing titik gangguan sebagai berikut.

Tabel 4.10. Waktu operasi OCR Hasil *Resetting* kubikel Penyulang Kampili

% jarak Penyulang	Waktu operasi OCR (detik)
10	0,327
50	0,428
90	0,523

Setting Existing OCR pada kubikel Penyulang Ekspres Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 Berikut merupakan analisis perhitungan waktu kerja OCR pada titik 0% dari GI Borongloe ke Penyulang Kampili.

$$t = tms \times \left(\frac{0,14}{\left(\left(\frac{Ifault}{Iset} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right)$$

$$= 0,07 \left(\frac{0,14}{\left(\left(\frac{1449,9}{720} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right)$$

$$= 0,695 \text{ detik}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, maka waktu kerja operasi OCR di titik gangguan 10% dengan besar arus hubung singkat 3 fasa 1097 A adalah sebagai berikut.

Tabel 4.11 Waktu operasi OCR Hasil *Resetting* kubikel Penyulang Ekspres Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2

% jarak Penyulang Kampili – GI Borongloe	Waktu operasi OCR (detik)
10	1,159

Setelah melakukan analisis perhitungan data *setting existing* dan hasil *resetting* koordinasi OCR pada kubikel Penyulang Kampili dengan Kubikel penyulang Bili-Bii 1 dan Penyulang Bili-Bili 2 maka tabel berikut merupakan hasil perbandingan antar penyulang.

Tabel 4.12 perbandingan *Setting Existing* dengan Hasil *Resetting* Koordinasi OCR menggunakan perhitungan *Standard Inverse*

% titik gangguan	<i>Setting Existing</i> PLN (detik)				Hasil <i>Resetting</i> (detik)			
	a	b	c	Δt	a	b	c	Δt
0	0,427	0,392	0,392	0,035	0,298	0,695	0,695	0,397
10	0,469	0,576	0,576	0,107	0,327	1,159	1,159	0,832
50	0,614	-	-	-	0,428	-	-	-

% titik gangguan	Setting Existing PLN (detik)				Hasil Resetting (detik)			
	a	b	c	Δt	a	b	c	Δt
90	0,749	-	-	-	0,523	-	-	-

Keterangan :

a : OCR kubikel Penyulang Kampili

b : OCR kubikel Penyulang Ekspres Bili-Bili 1

c : OCR kubikel Penyulang Ekspres Bili-Bili 2

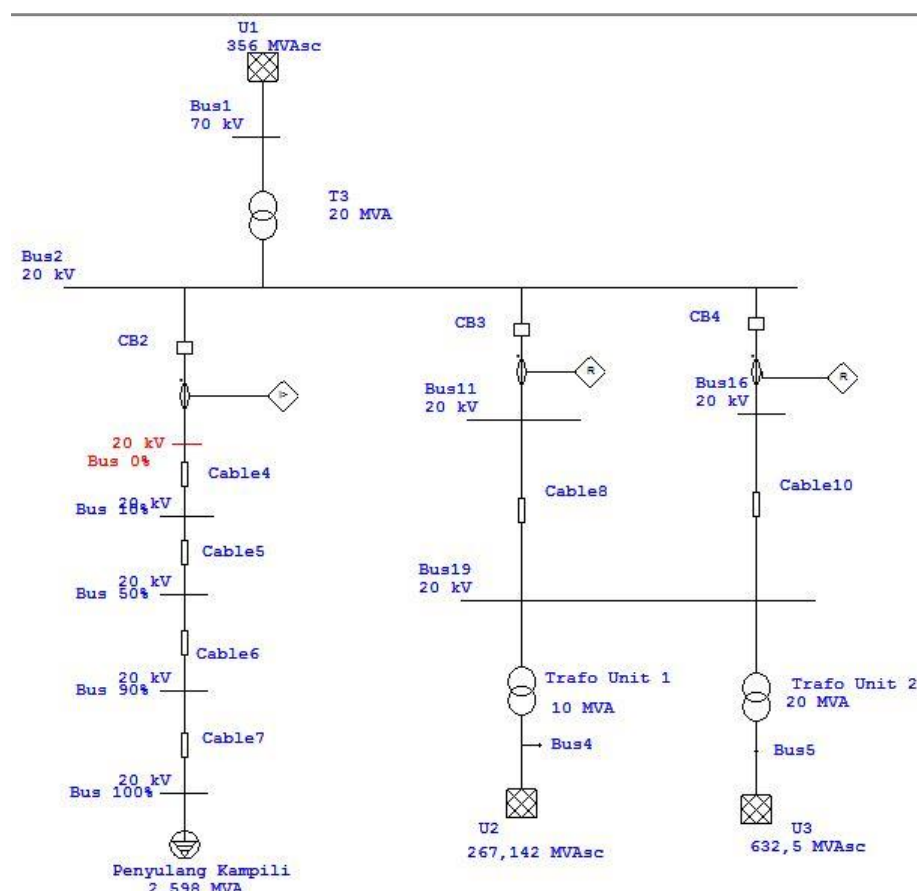
Berdasarkan tabel 4.12, bisa dilihat bahwa pada *setting* koordinasi *existing* yang digunakan PLN ketika terjadi gangguan arus hubung singkat 3 fasa di titik 0%, OCR kubikel Penyulang Ekspres Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 sebagai *back up Protection* lebih dahulu bekerja memerintahkan PMT untuk *Trip* di sisi Kubikel Penyulang Ekspres Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 dengan waktu 0,392 detik, sedangkan OCR kubikel Penyulang kampili sebagai *Main protection* bekerja di waktu 0,427 detik. Sehingga hal ini tidak memenuhi standard IEEE 242-1986 dan IEC 60255 bahwa selisih waktu antar proteksi minimal 0,2-0,5s sehingga pada saat terjadi gangguan maka *back up protection* bisa memberikan waktu kepada *main protection* bekerja lebih dahulu. Pada jarak gangguan 10% juga, koordinasi OCR antara kubikel penyulang belum memenuhi standar karena selisih waktu kerjanya yaitu 0,107.

Pada tabel 4.12 hasil *resetting* koordinasi OCR pada kubikel penyulang dapat dilihat bahwa koordinasinya sudah memenuhi standar. Sebab ketika terjadi gangguan di penyulang Kampili di jarak 0% dan 10%, OCR kubikel Penyulang Kampili sebagai *main protection* bekerja lebih dahulu di detik 0,298 dan 0,327

untuk memerintahkan PMT untuk trip di kubikel Penyulang kampili, sedangkan OCR kubikel Penyulang Ekspres Bili-Bili 1 dan Bili-Bili 2 akan bekerja di detik 0,695 dan 1,159. Selisih waktu kerjanya juga sudah memenuhi standar, dengan selisih waktu di titik gangguan 0% dan 10% masing-masing adalah 0,397 dan 0,832 detik.

4.5.2. Analisis Koordinasi menggunakan software ETAP 12.6

Membuat permodelan *single line diagram* Gardu Induk Borongloe menggunakan *software* ETAP 12.6 untuk memulai analisis perbandingan koordinasi *setting existing* PLN dengan hasil *resetting* koordinasi menggunakan perhitungan. Berikut gambar 1 merupakan gambar pemodelan *single line diagram*.

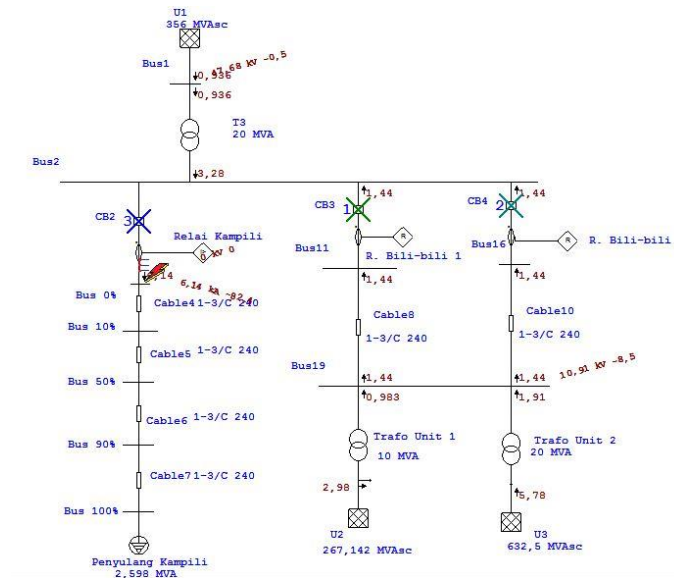


Gambar 4.9 pemodelan *single line diagram* GI Borongloe

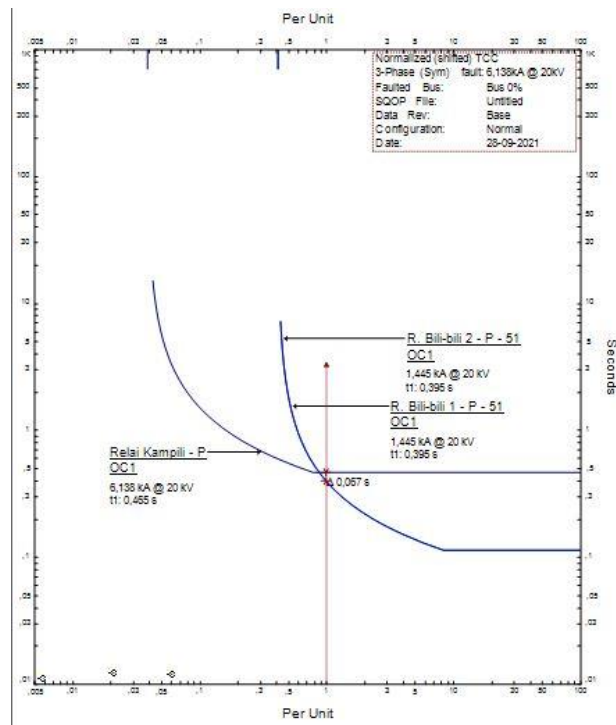
Selanjutnya melakukan simulasi pengujian koordinasi OCR berdasarkan titik gangguan yang telah *ditentukan* seperti yang ada pada tabel 1 untuk melihat apakah hasil perhitungan sudah sesuai dengan hasil simulasi di software ETAP 12.6

a. Koordinasi *setting* OCR eksisting PLN

1. Simulasi gangguan di jarak 0% dari GI Borongloe



Gambar 4.10 simulasi *fault insertion* di titik gangguan 0% dari Gardu Induk



Gambar 4.11 Kurva Koordinasi di titik gangguan 0%

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

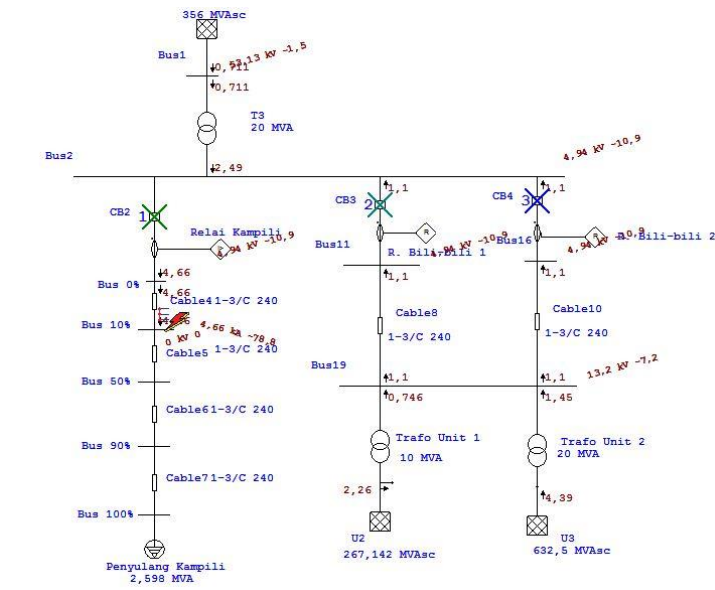
3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus 0%

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 28-09-2021

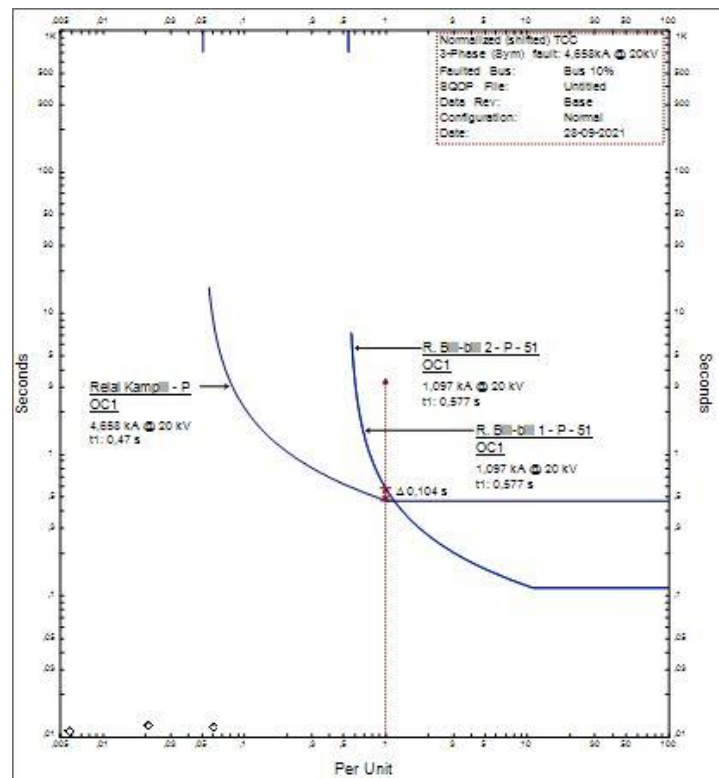
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
395	R. Bili-bili 1	1,445	395		Phase - OC1 - 51
395	R. Bili-bili 2	1,445	395		Phase - OC1 - 51
405	CB3		10,0		Tripped by R. Bili-bili 1 Phase - OC1 - 51
405	CB4		10,0		Tripped by R. Bili-bili 2 Phase - OC1 - 51
465	Relai Kampili	6,138	465		Phase - OC1 - 51
530	CB2		65,0		Tripped by Relai Kampili Phase - OC1 - 51

Gambar 4.12 Sequence Of Operation Events Simulasi Gangguan 0% dari GI dengan Setting PLN

2. Simulasi gangguan di jarak 10% dari GI Borongloe



Gambar 4.13 simulasi *fault insertion* di titik gangguan 10% dari GI Borongloe



Gambar 4.14 Kurva Koordinasi di titik gangguan 10%

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

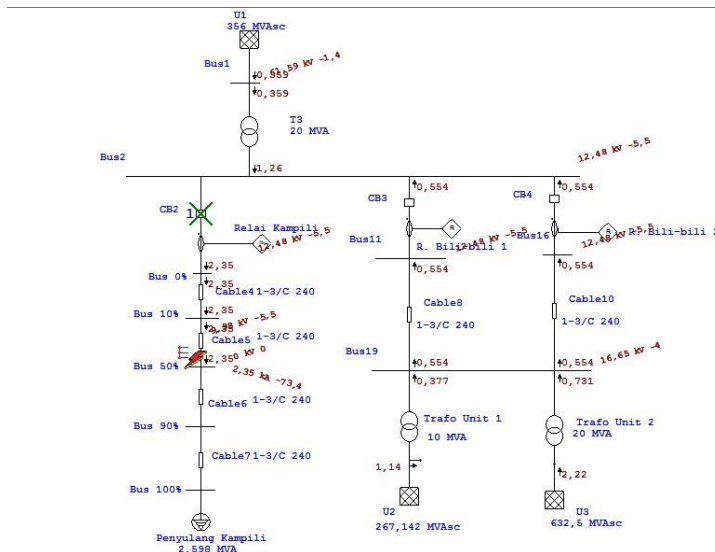
3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus 10%

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 28-09-2021

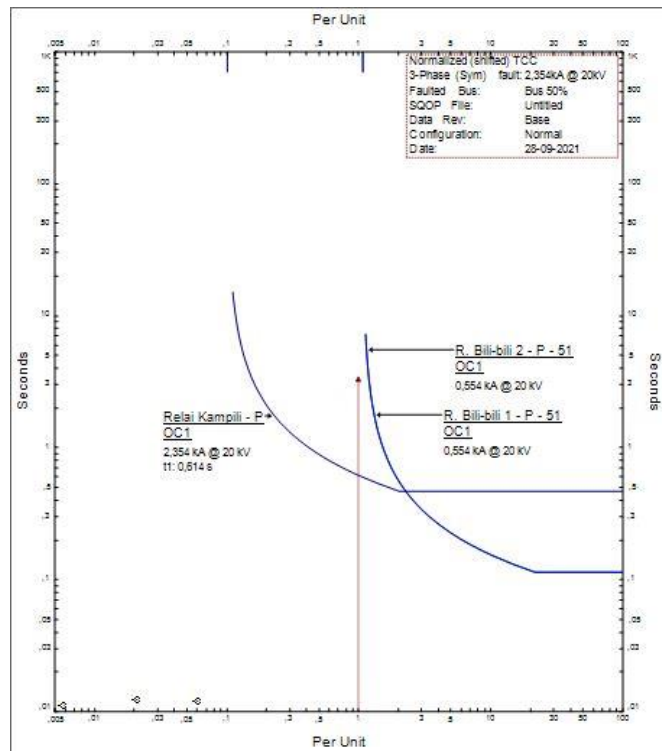
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
470	Relai Kampili	4,658	470		Phase - OC1 - 51
535	CB2		65,0		Tripped by Relai Kampili Phase - OC1 - 51
577	R. Bilir-bili 1	1,097	577		Phase - OC1 - 51
577	R. Bilir-bili 2	1,097	577		Phase - OC1 - 51
587	CB3		10,0		Tripped by R. Bilir-bili 1 Phase - OC1 - 51
587	CB4		10,0		Tripped by R. Bilir-bili 2 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.15 *Sequence Of Operation Events* Simulasi Gangguan 10% dari GI dengan *Setting* PLN

3. Simulasi gangguan di jarak 50% dari GI Borongloe



Gambar 4.16 simulasi *fault insertion* di titik gangguan 50% dari GI Borongloe



Gambar 4.17 Kurva Koordinasi di titik gangguan 50%

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

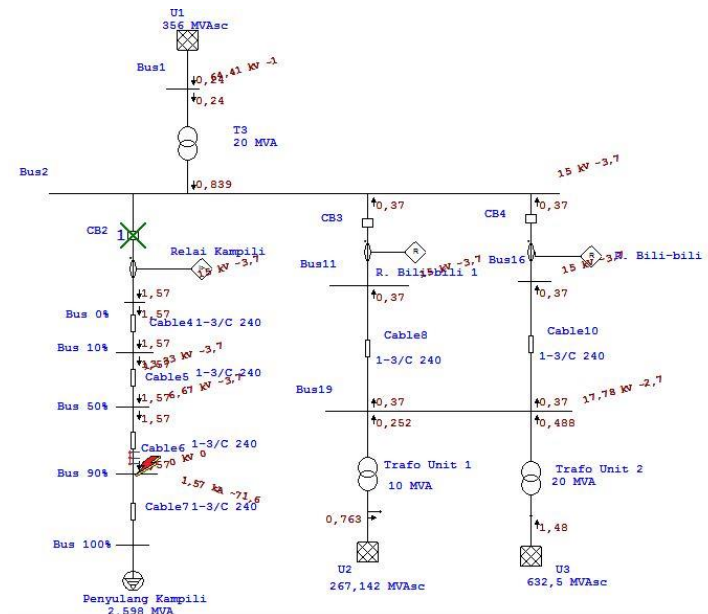
3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus 50%

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 28-09-2021

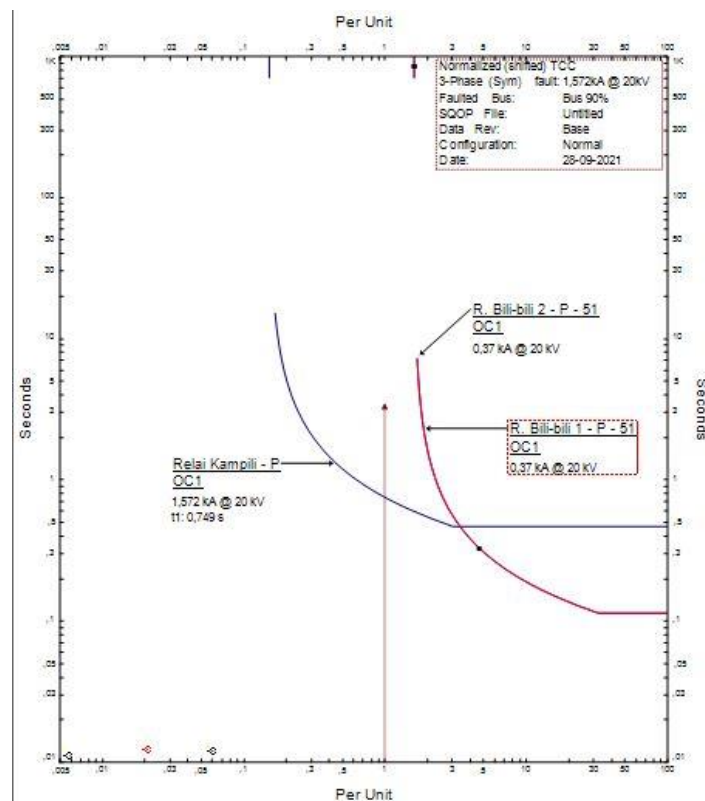
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
614	Relai Kampili	2,354	614		Phase - OC1 - 51
679	CB2		65,0		Tripped by Relai Kampili Phase - OC1 - 51

Gambar 4.18 *Sequence Of Operation Events* Simulasi Gangguan 50% dari GI dengan Setting PLN

4. Simulasi gangguan di jarak 90% dari GI Borongloe



Gambar 4.19 simulasi *fault* insertion Ihs 3 fasa di titik gangguan 90% dari GI Borongloe



Gambar 4.20 Kurva Koordinasi di titik gangguan 90%

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus 90%

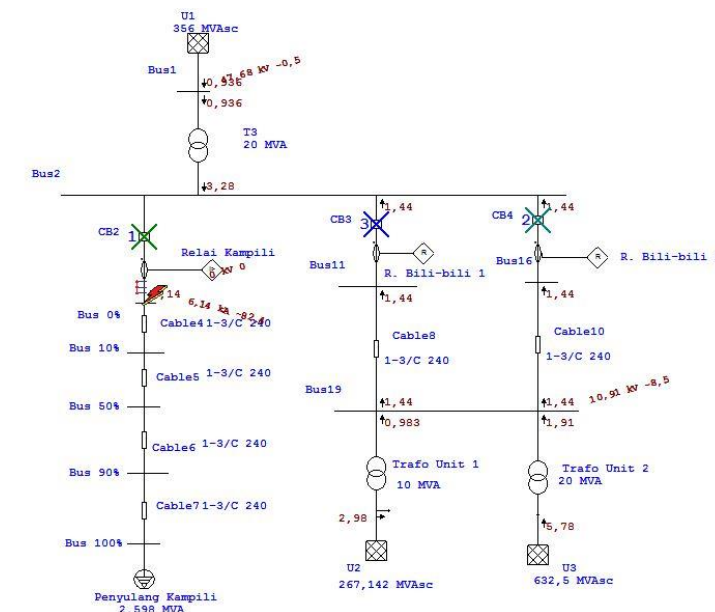
Data Rev.: Base Config: Normal Date: 28-09-2021

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
749	Relai Kampili	1,572	749		Phase - OC1 - 51
814	CB2		65,0		Tripped by Relai Kampili Phase - OC1 - 51

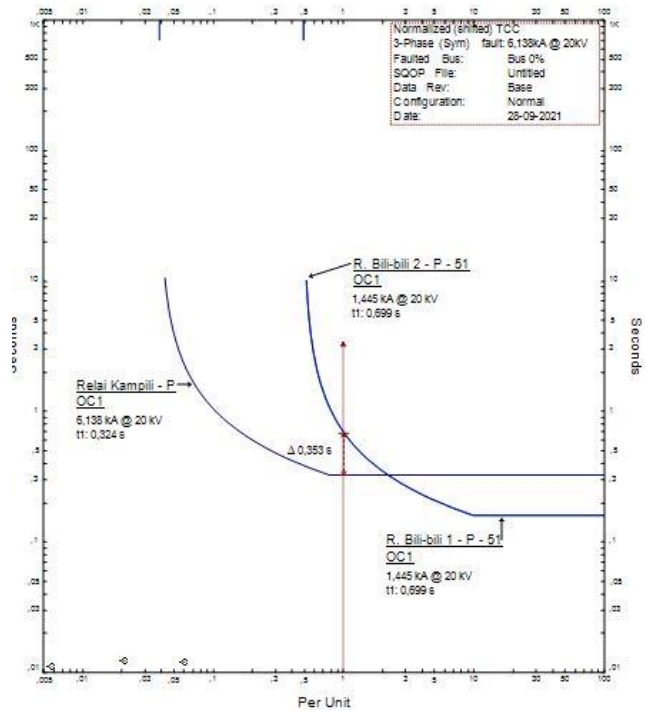
Gambar 4.21 *Sequence Of Operation Events* Simulasi Gangguan 90% dari GI dengan Setting PLN

b. Koordinasi Hasil *Resetting* OCR

1. Simulasi gangguan di jarak 0% dari GI Borongloe



Gambar 4.22. simulasi *fault insertion* Ihs 3 fasa di titik gangguan 0% dari GI Borongloe hasil *resetting*



Gambar 4.23. Kurva Koordinasi hasil *resetting* di titik gangguan 0%

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus 0%

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 28-09-2021

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
324	Relai Kampili	6,138	324		Phase - OC1 - 51
389	CB2		65,0		Tripped by Relai Kampili Phase - OC1 - 51
699	R. Bili-bili 2	1,445	699		Phase - OC1 - 51
699	R. Bili-bili 1	1,445	699		Phase - OC1 - 51
709	CB4		10,0		Tripped by R. Bili-bili 2 Phase - OC1 - 51
709	CB3		10,0		Tripped by R. Bili-bili 1 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.24. *Sequence Of Operation Events* Simulasi Gangguan 0% dari GI dengan *hasil* resetting

Gambar 4.26. Kurva Koordinasi hasil *resetting* di titik gangguan 10%

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

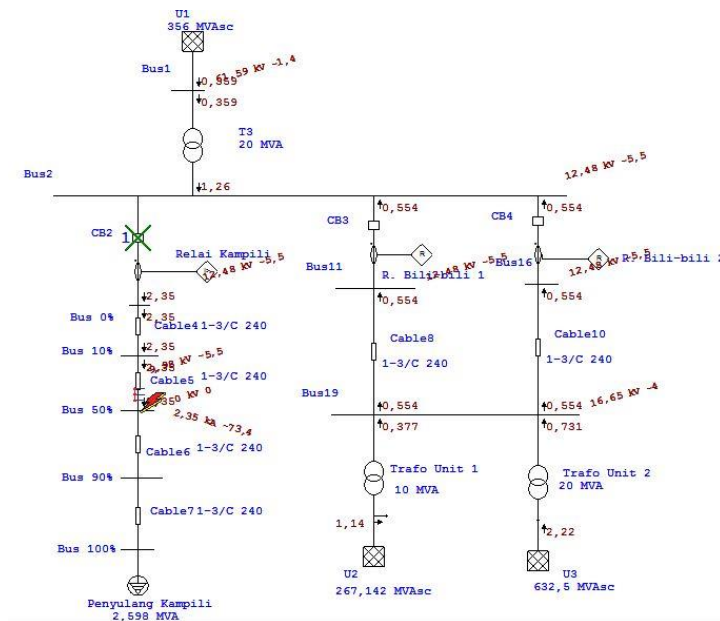
3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus 10%

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 28-03-2021

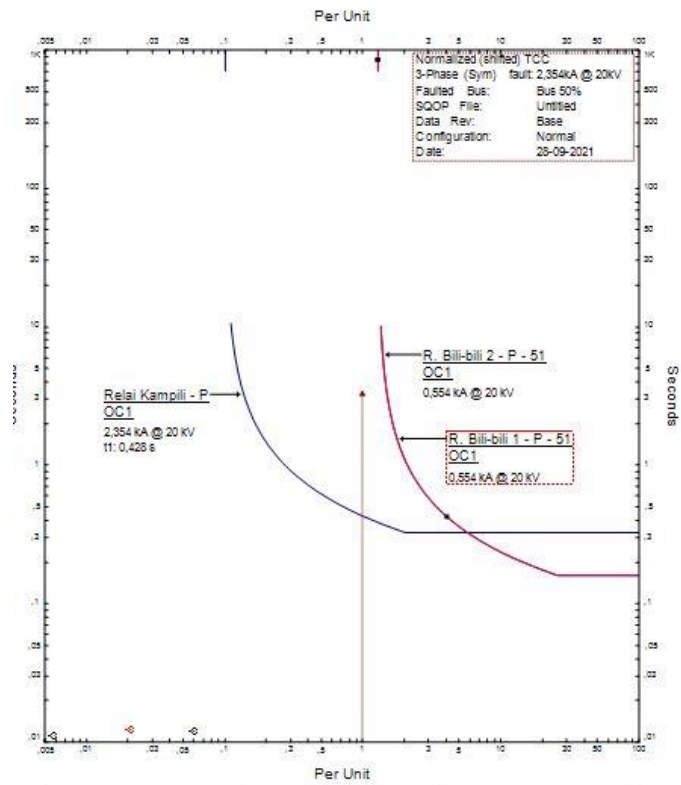
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
328	Relai Kampili	4,658	328		Phase - OC1 - 51
393	CB2		65,0		Tripped by Relai Kampili Phase - OC1 - 51
1160	R. Bil-bili 2	1,097	1160		Phase - OC1 - 51
1160	R. Bil-bili 1	1,097	1160		Phase - OC1 - 51
1170	CB4		10,0		Tripped by R. Bil-bili 2 Phase - OC1 - 51
1170	CB3		10,0		Tripped by R. Bil-bili 1 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.27. *Sequence Of Operation Events* Simulasi Gangguan 10% dari GI dengan Hasil *Resetting*

3. Simulasi gangguan di jarak 50% dari GI Borongloe



Gambar 4.28. simulasi *fault insertion* Ihs 3 fasa di titik gangguan 50% dari GI Borongloe hasil *resetting*



Gambar 4.29. Kurva Koordinasi hasil *resetting* di titik gangguan 50%

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

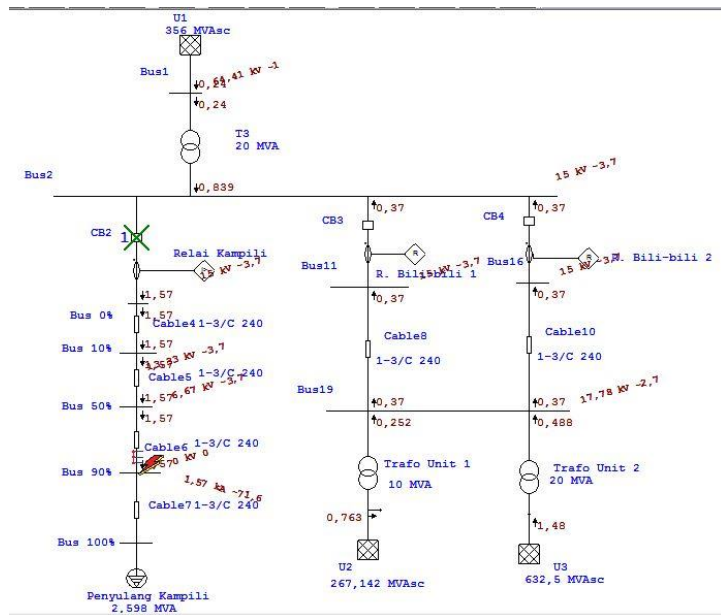
3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus 50%

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 28-09-2021

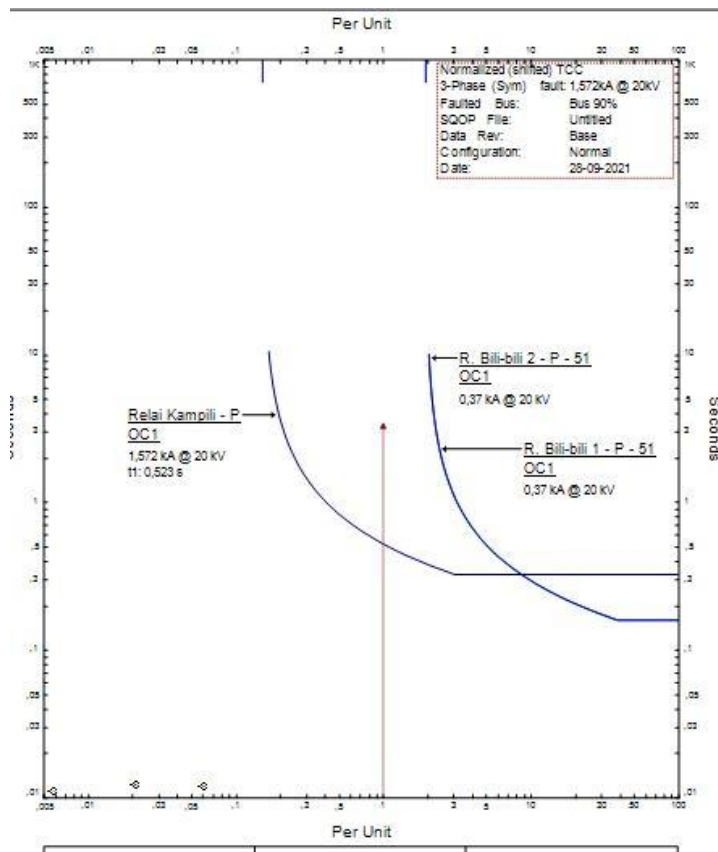
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
428	Relai Kampili	2,354	428		Phase - OC1 - 51
493	CB2		65,0		Tripped by Relai Kampili Phase - OC1 - 51

Gambar 4.30. *Sequence Of Operation Events* Simulasi Gangguan 50% dari GI dengan Hasil Resetting

4. Simulasi gangguan di jarak 90% dari GI Borongloe



Gambar 4.31. simulasi *fault insertion* Ihs 3 fasa di titik gangguan 50% dari GI Borongloe hasil *resetting*



Gambar 4.32. Kurva Koordinasi Hasil *Resetting* di titik gangguan 90%

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
523	Relai Kampili	1,572	523		Phase - OC1 - 51
588	CB2		65,0		Tripped by Relai Kampili Phase - OC1 - 51

Gambar 4.33 *Sequence Of Operation Events* Simulasi Gangguan 90% dari GI dengan Hasil *Resetting*

Hasil simulasi *fault insertion* diatas dapat disimpulkan dengan melalui tabel

4.13.

Tabel 4.13 Perbandingan *Setting Existing* dengan Hasil *Resetting* Koordinasi OCR menggunakan simulasi *fault insertion* di *Software* ETAP 12.6

% titik gangguan	<i>Setting Existing</i> PLN (detik)				Hasil <i>Resetting</i> (detik)			
	a	b	c	Δt	a	b	c	Δt
0	0,465	0,395	0,395	0,07	0,324	0,699	0,699	0,375
10	0,47	0,577	0,577	0,107	0,328	1,16	1,16	0,832
50	0,614	-	-	-	0,428	-	-	-
90	0,749	-	-	-	0,523	-	-	-

Keterangan :

a : OCR kubikel Penyulang Kampili

b : OCR kubikel Penyulang Ekspres Bili-Bili 1

c : OCR kubikel Penyulang Ekspres Bili-Bili 2

Dari kesimpulan Tabel 4.13 terhadap hasil simulasi *Fault insertion* di *software* ETAP 12.6 mengindikasikan bahwa hasil perhitungan dengan simulasi yang dijalankan di *software* ETAP 12.6 adalah sesuai. Adapun mengenai persentase kesalahan simulasi ETAP 12.6 terhadap hasil perhitungan terkait koordinasi OCR baik hasil eksisting maupun hasil resetting bisa dilihat pada tabel 4.14 dan tabel 4.15.

Tabel 4.14 Persentase Kesalahan Koordinasi *setting* eksisting OCR Simulasi terhadap hasil Perhitungan manual

Titik Gangguan (%)	Koordinasi OCR eksisting Hasil Perhitungan (detik)			Koordinasi OCR Eksisting Hasil Simulasi ETAP 12.6 (detik)			Persentase Kesalahan (%)		
	a	b	c	a	B	c	a	b	c
0	0,427	0,392	0,392	0,465	0,395	0,395	0,09	0,008	0,008
10	0,469	0,576	0,576	0,47	0,577	0,577	0,002	0,002	0,002
50	0,614	-	-	0,614	-	-	0	-	-
90	0,749	-	-	0,749	-	-	0	-	-

Tabel 4.15 Persentase kesalahan simulasi koordinasi *resetting* OCR terhadap hasil perhitungan manual

Titik Gangguan (%)	Koordinasi OCR <i>Resetting</i> Hasil Perhitungan (detik)			Koordinasi OCR <i>Resetting</i> Hasil Simulasi ETAP 12.6 (detik)			Persentase Kesalahan (%)		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
0	0,298	0,695	0,695	0,324	0,699	0,699	0,09	0,006	0,006
10	0,327	1,159	1,159	0,328	1,160	1,160	0,003	0,0009	0,0009

Titik Gangguan (%)	Koordinasi OCR <i>Resetting</i> Hasil Perhitungan (detik)			Koordinasi OCR <i>Resetting</i> Hasil Simulasi ETAP 12.6 (detik)			Persentase Kesalahan (%)		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
50	0,428	-	-	0,428	-	-	0	-	-
90	0,523	-	-	0,523	-	-	0	-	-

Berdasarkan tabel 4.14 dan tabel 4.15 bisa dilihat bahwa persentase kesalahan simulasi Koordinasi OCR baik *setting* eksisting PLN dan hasil *resetting* menunjukkan persentasenya di kisaran 0 s.d 0,09.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan penulis, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang berkaitan dengan penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis perhitungan dengan simulasi, koordinasi proteksi OCR eksisting pada penyulang kampili dengan penyulang ekspres pembangkit Bili-Bili 1 & 2 ketika terjadi gangguan di titik 0% dengan besar arus hubung singkat tiga fasa 6162,8 A, OCR kubikel Penyulang Ekspres Pembangkit Bili-Bili 1 & 2 sebagai back up *protection* bekerja lebih cepat yakni di detik 0,395 daripada OCR kubikel Penyulang Kampili sebagai main *protection* bekerja di detik 0,465.
2. Berdasarkan hasil analisis perhitungan diperoleh hasil *resetting* di sisi Kubikel Penyulang Pembangkit Bili-Bili 1 6 A pada sisi sekunder dan tms sebesar 0.07 dengan waktu operasi yang ditetapkan sebesar 0.7 detik, pada kubikel Penyulang Ekspres Pembangkit Bili-Bili 2 diperoleh hasil *resetting* yaitu 4,5 A pada sisi sekunder dan tms sebesar 0.07 dengan waktu operasi yang ditetapkan sebesar 0.7 detik, dan untuk *setting OCR* pada sisi kubikel Penyulang Kampili diperoleh hasil *resetting* sebesar 6 A pada sisi sekunder dan tms sebesar 0.143 dengan waktu operasi yang ditetapkan sebesar 0.3 detik.
3. Setelah melakukan analisis perhitungan untuk mendapatkan *resetting* proteksi OCR, koordinasi ocr kubikel penyulang kampili dengan penyulang ekspres pembangkit Bili-Bili 1 & 2 sudah memenuhi standar IEEE 242-

1986 dan IEC 60255. Ditandai dengan ketika terjadi gangguan arus hubung singkat tiga fasa di titik 0% dengan besar arus gangguan 6162,8 A, OCR kubikel penyulang Kampili bekerja di waktu 0,298 detik dan OCR penyulang Ekspres Pembangkit Bili-Bili 1 & 2 bekerja di waktu 0,695 detik.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat dikemukakan agar metode peramalan ini bisa berfungsi lebih baik dan maksimal adalah :

1. Melakukan pembaharuan *setting Over Current Relay* secara berkala yang disesuaikan dengan kenaikan arus beban untuk menjaga sistem proteksi bekerja sesuai dengan standar, dan
2. Menerapkan hasil resetting *Over Current Relay* yang sudah sesuai dengan standar, agar dapat meminimalisir atau menghindarkan dari kerugian yang diakibatkan oleh kegagalan koordinasi relai.

DAFTAR PUSTAKA

- Alawiy , Muhammad Taqiyyuddin. 2006. Proteksi Sistem Tenaga Listrik Seri *Relay* Elektromagnetis. Diktat. Malang. Fakultas Teknik Elektro Universitas Islam Malang.
- Hidayat, Ade Wahyu dkk. 2013. Analisa *Setting* Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Penyulang Topan Gardu Induk teluk Betung. Skripsi. Bandarlampung. Fakultas Teknik Elektro Universitas Lampung.
- IEEE *Standards Association*. 242. *Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2001
- Makmur, Muh. Andikapati. 2019. Studi Koordinasi Proteksi Transformator dan Penyulang di Gardu Induk Bolangi. Skripsi. Makassar. Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Mustafa, Desnandi Satriya. 2019. Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Incoming, Outgoing dan Recloser Trafo 1 GI Spondol. Skripsi. Semarang. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Semarang.
- Nasrul. 2017. Setting relai Gangguan tanah (GFR) Outgoing Gh Tanjung Pati Feeder Taram PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota. Skripsi. Padang. Fakultas Teknik Elektro Institut Teknologi Padang.
- PUSAT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN PT PLN (Persero). 2010. *Analisa Sistem Tenaga*. jakarta: pusat pendidikan dan pelatihan PT PLN (Persero).
- Rahmatullah, Hakam. 2012. *Proteksi Generator AC Tiga Fasa Terhadap Beban Putus Satu Fasa*. Semarang: POLINES.
- Sarimun, Wahyudi. 2012. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Penerbit Garamond. Depok

Stevenson, W.D. Jr. 1983. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Syahrial, Tirza Nova. 2013. Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator di Perusahaan “X”. Skripsi. Bandung. Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung.

Tanyadji, Sony dan Sharma Thaha.2015. *Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Penerbit Innawa. Makassar

Tasiam, F.J. 2017. *Proteksi Sistem tenaga Listrik*. Teknosain. Yogyakarta.

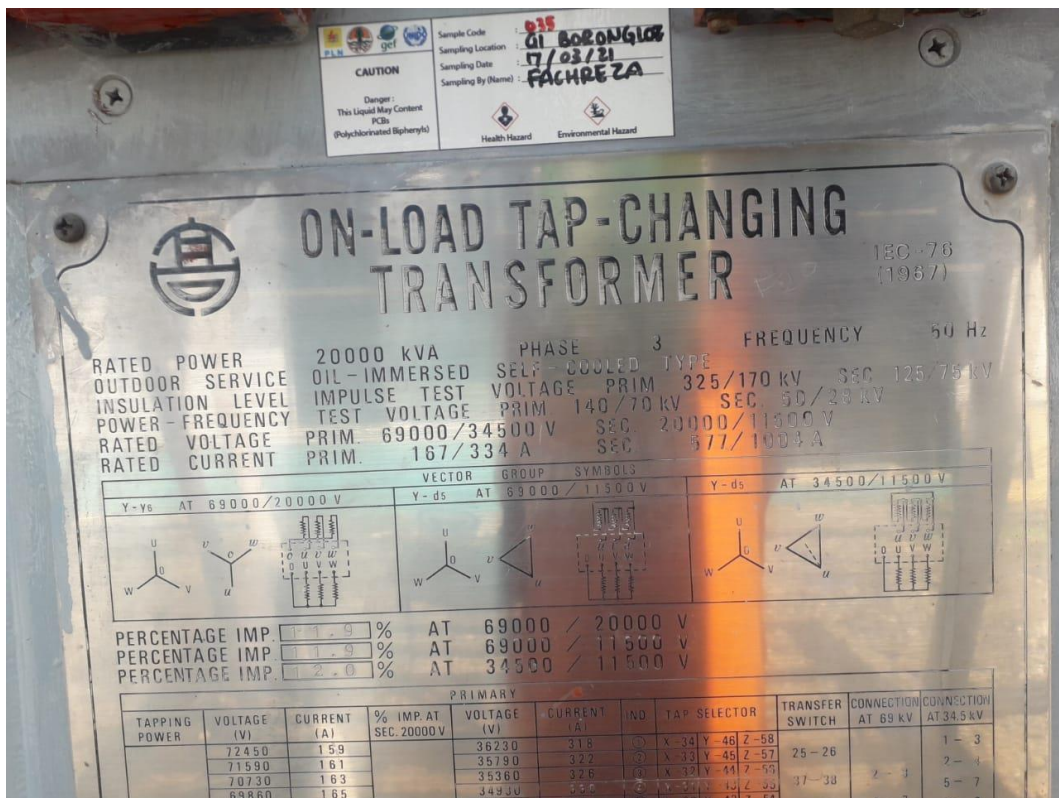
LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Arus Hubung Singkat GI Borongloe

SISTEM SULBAGSEL

GI	Tegangan (kV)	Sistem	3 phase		Single phase to ground		Two phase	
			Max I _k "(A)	Min I _k "(A)	Max I _k "(A)	Min I _k "(A)	Max I _k "(A)	Min I _k "(A)
GI BOLANGI	150	SULSEL	11.85	9.74	11.74	9.91	10.29	8.44
GI BONTOALA	70	SULSEL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GI BORONGLOE	70	SULSEL	2.94	2.63	0.52	0.47	2.56	2.28
GI PANAKKUKANG	150	SULSEL	11.55	9.52	13.30	11.18	10.03	8.26
GI SUNGGUMINASA	150	SULSEL	14.96	11.97	17.55	14.36	13.01	10.39
GI TALLO LAMA 150 kV	150	SULSEL	10.89	9.02	12.15	10.26	9.46	7.83
GI TALLO LAMA 70 kV	70	SULSEL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GI TANJUNG BUNGA	150	SULSEL	14.06	11.26	15.39	12.66	12.23	9.78
GIS BONTOALA	150	SULSEL	12.18	9.91	13.15	10.97	10.58	8.60

Lampiran 2 . Data Teknis Trafo GI Borongloe



Lampiran 3. Data Penyulang Kampili

LAPORAN KESEHATAN PENYULANG BERDASARKAN JUMLAH GANGGUAN (FGTM)

NO	UP3	UNIT LAYANAN PELANGGAN	PENYULANG	PANJANG PENYULANG MELI (KMS)	JAN	STATUS
125	MAKASSAR SELATAN	MATTOANGING	P_GTC	19,38	1	SEHAT
126	MAKASSAR SELATAN	MATTOANGING	P_HARTACO	5,81	1	SEHAT
127	MAKASSAR SELATAN	PANAKKUKANG	P_HERTASNING BARU	8,76	1	SEHAT
128	MAKASSAR SELATAN	PANAKKUKANG,MATTOANGING	P_IKIP	8,17	0	SEMPURNA
129	MAKASSAR SELATAN	MATTOANGING	P_INDOLAND	19,59	1	SEHAT
130	MAKASSAR SELATAN	SUNGGUMINASA	P_IPDN	14,28	0	SEMPURNA
131	MAKASSAR SELATAN	MATTOANGING	P_JBD	8,09	4	SAKIT
132	MAKASSAR SELATAN	SUNGGUMINASA,TAKALAR	P_JEBAR	16,42	0	SEMPURNA
133	MAKASSAR SELATAN	MATTOANGING	P_KAKATUA	0,24	0	SEMPURNA
134	MAKASSAR SELATAN	SUNGGUMINASA	P_KALEGOWA	15,67	2	SEHAT
135	MAKASSAR SELATAN	SUNGGUMINASA	P_KAMPILI	17,96	1	SEHAT
136	MAKASSAR SELATAN	PANAKKUKANG	P_KASSI	23,40	1	SEHAT
137	MAKASSAR SELATAN	PANAKKUKANG	P_KODAM	11,51	0	SEMPURNA
138	MAKASSAR SELATAN	MALINO	P_LANNA	0,23	0	SEMPURNA
139	MAKASSAR SELATAN	PANAKKUKANG,MATTOANGING	P_LATANETE	9,78	0	SEMPURNA
140	MAKASSAR SELATAN	KALEBAJENG,TAKALAR	P_LENGKESE	87,55	0	SEMPURNA
141	MAKASSAR SELATAN	MATTOANGING	P_MALLENGKERI	10,55	0	SEMPURNA
142	MAKASSAR SELATAN	KALEBAJENG,TAKALAR	P_MALEWANG	73,21	1	SEHAT

Lampiran 4. tabel Penghantar AAAC (SPLN: 64: 1985)

Tabel XIII B - Penghantar AAAC

Penampang nominal (mm ²)	Jari-jari (mm)	Urut	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (Ω /km)	Impedansi urutan nol (Ω /km)
16	2,2563	7	1,6380	2,0161+j 0,4036	2,1641+j 1,6911
25	2,8203	7	2,0475	1,2903+j 0,3895	1,4384+j 1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217+j 0,3790	1,0697+j 1,6665
50	3,9886	7	2,8957	0,6452+j 0,3678	0,7932+ j 1,6553
70	4,7193	7	3,4262	0,4608+j 0,3572	0,6088+j 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3396+j 0,3449	0,4876+ j 1,6324
120	6,1791	19	4,6837	0,2688+j 0,3376	0,4168+j 1,6251
150	6,9084	19	5,2365	0,2162+j 0,3305	0,3631+j 1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1744+j 0,3239	0,3224+ j 1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1344+j 0,3158	0,2824+j 1,6033

Lampiran 5. data Generator dan Trafo PLTA Bili-Bili

- Generator : Type 3 Phase, TAKL
 - : Unit 1 6.800 kVA
 - : Unit 2 16.100 kVA
- Power Factor : 0,85
- Rated Voltage : 6,600 V
- Main Transformer
 - Jumlah Unit : 2 Unit, 6,6 kV / 20 kV
 - Type : 3 phase, Oil Immersed
 - Rated Capacity : Unit 1 6.800 kVA
 - : Unit 2 16.100 kVA

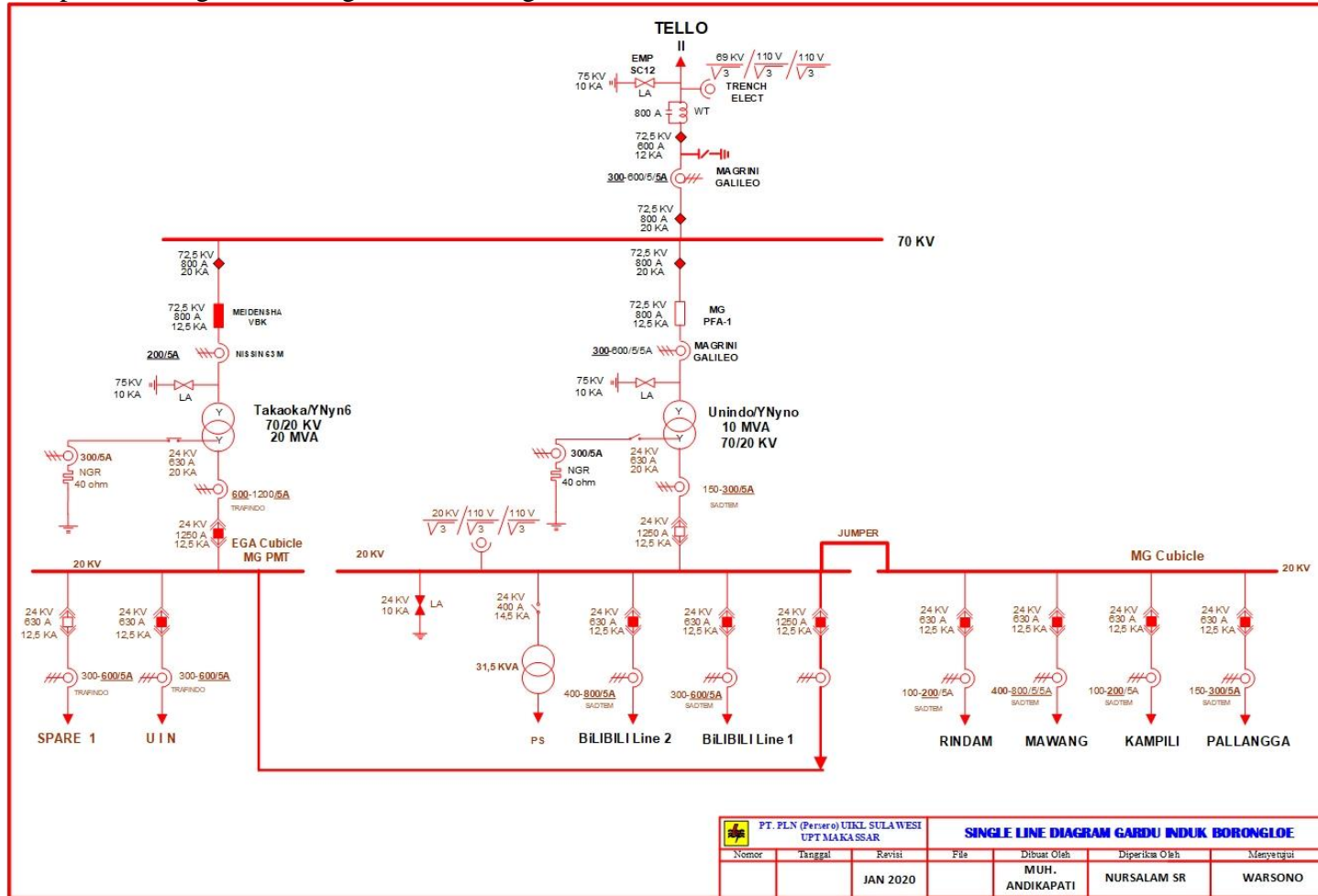
Lampiran 6. Setting Relai Penyulang di GI Borongloe

PT. PLN (PERSERO) ULTG PANAKKUKANG

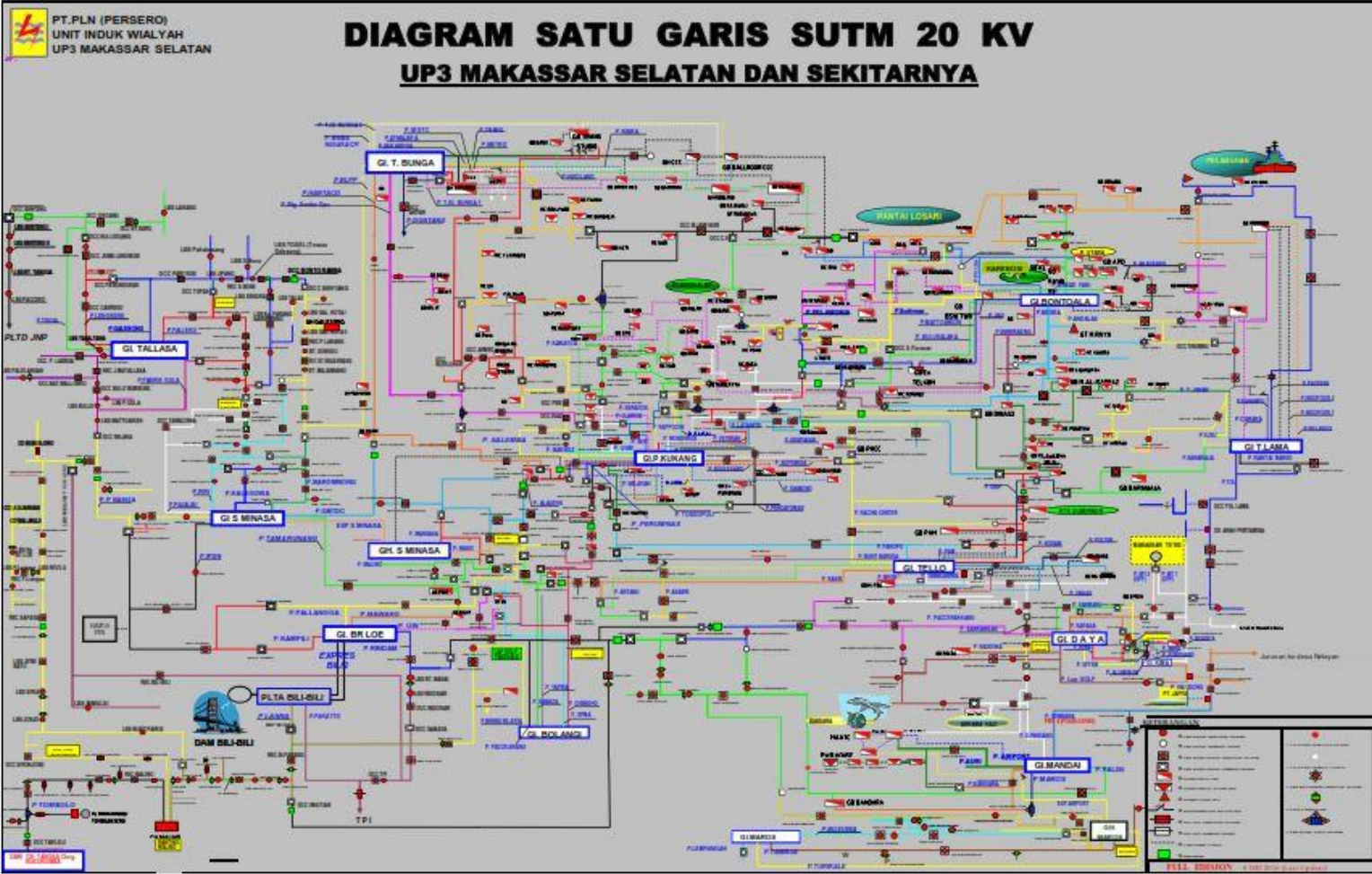


No	UPT	ULTG	GARDU INDUK	MERLIN GERIN	BAY	RASIO CT	RELE				SETTING RELE								KETERANGAN			
							OCR	ALSTHOM	MICOM	38176287/12/12	2019	OCR	240	0,205	SI	1500	0	3650		3650	0	DMT
101	MAKASSAR	PANAKKUKANG	BORONGLOE	MERLIN GERIN	F1. PALANGGA	100- 200 5A	OCR	ALSTHOM	MICOM 14NZ	38176287/12/12	2019	OCR	240	0,205	SI	1500	0	3650	3650	0	DMT	BAY TRAF0 #2
			BORONGLOE				GFR					GFR	57,7	0,116	SI	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	
102	MAKASSAR	PANAKKUKANG	BORONGLOE	MERLIN GERIN	F2. KAMPILI	100- 200 5A	OCR	ALSTHOM	MICOM 14NZ		2019	OCR	240	0,205	SI	1500	0	DMT	3650	0	DMT	BAY TRAF0 #2
			BORONGLOE				GFR					GFR	28	0,168	SI	288	0	DMT	BLOCK	BLOCK	BLOCK	
103	MAKASSAR	PANAKKUKANG	BORONGLOE	MERLIN GERIN	F3. MAWANG	400 -800/5A	OCR	ALSTHOM	MICOM 14NZ		2019	OCR	240	0,205	SI	1500	0	DMT	3650	0	DMT	BAY TRAF0 #2
			BORONGLOE				GFR					GFR	28	0,168	SI	288	0	DMT	BLOCK	BLOCK	BLOCK	
104	MAKASSAR	PANAKKUKANG	BORONGLOE	MERLIN GERIN	F4. RINDAM	100- 200 5A	OCR	ALSTHOM	MICOM 14NZ		2019	OCR	240	0,205	SI	1500	0	DMT	3650	0	DMT	BAY TRAF0 #2
			BORONGLOE				GFR					GFR	57,7	0,116	SI	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	
105	MAKASSAR	PANAKKUKANG	BORONGLOE	MERLIN GERIN	F5. UIN	150- 300 5A	OCR	ALSTHOM	MCGG82			OCR	240	0,205	SI	1500	0	DMT	3650	0	DMT	BAY TRAF0 #2
			BORONGLOE				GFR					GFR	28	0,168	SI	288	0	DMT	BLOCK	BLOCK	BLOCK	
106	MAKASSAR	PANAKKUKANG	BORONGLOE	MERLIN GERIN	F6. BILI-BILI 1	300- 600 5A	OCR	GE	MIF II			OCR	600	0,05	SI	2400	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BAY TRAF0 #2
			BORONGLOE				GFR					GFR	18	0,05	SI	312	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	
107	MAKASSAR	PANAKKUKANG	BORONGLOE	MERLIN GERIN	F7. BILI-BILI 2	400- 800 5A	OCR	GE	MIF II			OCR	600	0,05	SI	2400	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BAY TRAF0 #2
			BORONGLOE				GFR					GFR	80	0,05	SI	320	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	BLOCK	

Lampiran 7. Single Line Diagram GI Borongloe



Lampiran 8. Single Line SUTM 20 kV Makassar dan sekitarnya





**LAMPIRAN BERITA ACARA PELAKSANAAN
UJIAN SIDANG SKRIPSI**

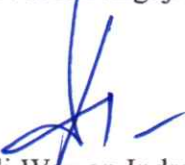
Nama Mahasiswa : Nur Fauzi Pais

NIM : 42117015

Catatan/Daftar Revisi Penguji:

No.	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1.	Andarini Anri	- Standar IEEE 242-1986 & IEC 60355 - Perbaiki flowchart - Penulisan	
2	Kauslen	- Mula-mula tabel 4.5 - kesupre	

Makassar, 1 Juli 21
Sekretaris Penguji


Andi Wawan Indrawan, S.ST., M. Eng.
NIP. 19770306 200212 1 003

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi secepatnya ke bagian Akademik.