

**STUDI *GROUND FAULT RELAY* 20 KV PADA GARDU INDUK BAKARU
PENYULANG BAMBAPUANG**



LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma tiga (D-3) Program Studi Teknik Listrik
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Ujung Pandang

TASWIRAH TAMRIN
321 15 002

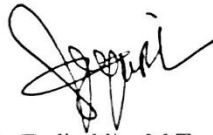
**PROGRAM STUDI D-3 TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2018**

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul *Studi Ground Fault Relay 20 kV* pada
Gardu Induk Bakaru Penyulang Bambapuang oleh Taswirah Tamrin NIM 321
15 002 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, 30 April 2018

Pembimbing I



Ir. Tadjuddin, M.T.
NIP.19620102 198803 1 003

Pembimbing II



Dr. Alimin L, M.Pd
NIP. 19590812 199003 1 002

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro,



Dr. Ir. Hafsa Nirwana, M.T.
NIP. 19640405 199003 2 002

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, tanggal 09 Mei 2018, Tim Penguji Ujian Sidang Laporan Tugas Akhir telah menerima dengan baik Laporan Tugas Akhir oleh mahasiswa:

TASWIRAH TAMRIN NIM 321 15 002

Dengan judul **Studi *Ground Fault Relay 20 kV* pada Gardu Induk Bakaru Penyulang Bambapuang.**

Makassar, 09 Mei 2018

Tim Penguji Ujian Laporan Tugas Akhir:

- | | | |
|---------------------------------|------------|---|
| 1. Ir. Ahmad Gaffar, M.T | Ketua | () |
| 2. Ahmad Rizal Sultan, S.T.,M.T | Sekretaris | () |
| 3. Ruslan L,S.T.,M.T | Anggota | () |
| 4. Ashar AR, S.T. | Anggota | () |
| 5. Ir. Tadjuddin M.T | Anggota | () |
| 6. Dr. Alimin L, M.Pd. | Anggota | () |

RINGKASAN

Taswirah Tamrin. Studi *Ground Fault Relay* 20 kV pada Gardu Induk Bakaru Penyulang Bambapuang. (Ir. Tadjuddin, M.T / Dr. Alimin L, M.Pd)

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit sampai ke konsumen. Dalam penyaluran listrik tersebut masih banyak kendala/gangguan yang terjadi disebabkan oleh beberapa faktor. Sistem pembumian pada jaringan distribusi digunakan sebagai pengamanan langsung terhadap peralatan dan manusia bila terjadinya gangguan tanah atau kebocoran arus akibat kegagalan isolasi dan tegangan lebih pada peralatan jaringan distribusi. Selain itu, ada permasalahan lain yaitu gangguan hubung singkat yang dapat mengakibatkan timbulnya lonjakan arus dengan besaran lebih tinggi dari keadaan normal. Keadaan ini dapat mengakibatkan kegagalan operasi sistem secara keseluruhan. Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini adalah mendeskripsikan sistem pembumian yang digunakan pada GI Bakaru dan menganalisis perbandingan nilai arus hubung singkat secara perhitungan manual dan simulasi. Di dalam analisis perhitungan arus hubung singkat disini menggunakan software ETAP 16.0.0 dalam penyelesaian. Langkah awalnya dengan menggambar single line diagram dan memasukkan parameternya. Hasil yang didapat dari perhitungan manual arus hubung singkat tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan menggunakan software ETAP yaitu pada jarak 14250 m nilai arus hubung singkat pada simulasi sebesar 425 A dan nilai pada perhitungan manual sebesar 394 A. Pada jarak 28500 m nilai arus hubung singkat pada simulasi dan perhitungan sebesar 238 dan 198 A. Pada jarak 42750 m nilai arus hubung singkat pada simulasi dan perhitungan sebesar 166 dan 132 A dan pada jarak 57000 m menghasilkan arus hubung singkat pada simulasi dan perhitungan sebesar 33 dan 99 A. Jadi dapat dikatakan bahwa semakin jauh jarak titik gangguan terhadap panjang saluran maka semakin kecil arus gangguan hubung singkat yang terjadi begitupula sebaliknya.

Kata kunci ; Pembumian, arus hubung singkat, ETAP, sistem distribusi

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas penting dalam rangka menyelesaikan studi di Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Alhamdulillah penulis ucapkan karena Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Studi *Ground Fault Relay* 20 kV pada Gardu Induk Baru Penyulang Bambapuang” dapat terselesaikan dengan segenap usaha yang maksimal dan tepat pada waktunya. Dalam laporan ini penulis memaparkan latar belakang penelitian, teori-teori pendukung metode yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir, hasil dan pembahasan dari penelitian ini serta saran dan kesimpulan yang penulis dapatkan dari penelitian ini.

Sebagai manusia biasa, penulis sangat menyadari bahwa Tugas Akhir yang sederhana ini masih banyak terdapat kekeliruan dan masih memerlukan perbaikan secara menyeluruh, hal ini tidak lain disebabkan karena keterbatasan ilmu dan kemampuan yang dimiliki oleh penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, karenanya berbagai masukan dan saran yang sifatnya membangun sangatlah diharapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis banyak mendapat saran, dorongan, bimbingan serta keterangan-keterangan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala hormat dan kerendahan hati perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. H. Hamzah Yusuf, M.S, selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
2. Ibu Dr. Ir. Hafsa Nirwana, M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Purwito S.T.,M.T, selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Listrik Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir Tadjuddin, M.T dan Bapak Alimin, M.Pd selaku Dosen Pembimbing beserta segenap dosen Politeknik Negeri Ujung Pandang yang selama kurun waktu 3 tahun dengan ikhlas dan penuh kerelaan hati telah mendidik dan mengajar kami.
5. Kedua Orang Tua tercinta yang telah banyak mendoakan dan membantu baik secara moril maupun materil.
6. Bapak Sunardi dan bapak Supardin, selaku Asisten Manajer dan Supervisor Perencanaan dan Evaluasi PT.PLN (Persero) UPT Sulselrabar serta seluruh pegawai di PT. PLN (Persero) UPT Sulselrabar.
7. Seluruh teman-teman seperjuangan 3A D3 Teknik Listrik dalam melalui proses pembelajaran selama tiga tahun di Politeknik Negeri Ujung Pandang untuk kerjasama yang dilakukan
8. Seluruh akhwat fillah yang telah mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah terlibat banyak membantu sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kesalahan baik dalam penyampaian makna maupun penulisan. Oleh karena itu, penulis meminta maaf atas kekurangan tersebut dan penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun agar penulis lebih di masa yang akan datang.

Akhir kata semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca, penulis sendiri, dan semoga yang terlibat dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini mendapatkan balasan Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Aamiin

Makassar, 30 April 2018

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
RINGKASAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Kegiatan.....	3
1.4 Tujuan Kegiatan	3
1.5 Manfaat Kegiatan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Sistem Pembumian	6
2.3 Proteksi Jaringan.....	10
2.4 Gangguan pada Jaringan Distribusi	11
2.5 Software Etap 16.0.0.....	14
2.6 Komponen Simetris	19
2.7 Analisis Arus Hubung Singkat.....	21
2.8 Reley Gangguan Tanah (<i>Ground Fault Relay</i>).....	27

BAB III METODE KEGIATAN

3.1	Tempat dan Waktu Kegiatan	29
3.2	Prosedur Kegiatan.....	29
3.3	Teknik Pengumpulan Data	31
3.4	Teknik Analisis Data.....	32

BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN

4.1	Pembumian Netral Sistem Gardu Induk Bakaru.....	33
4.2	Data Tragi Pare-Pare.....	34
4.3	Analisis Arus Hubung Singkat Fasa Tanah.....	40
4.4	Analisis Perbandingan Nilai Arus Hubung Singkat	47

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	50

DAFTAR PUSTAKA	51
----------------------	----

LAMPIRAN.....	52
---------------	----



DAFTAR TABEL

Tabel 1	Data Impedansi Kabel Jaringan	26
Tabel 2	Data Proteksi Penyulang dan Proteksi Jaringan Area Pinrang 2018	37
Tabel 3	Data Peralatan dan Setting Relay Back Up Bay Kubikel 20 kV	39
Tabel 4	Data Impedansi Kabel Jaringan 20 kV GI Bakaru Penyulang Bambapuang	39
Tabel 5	Hasil Simulasi Arus Gangguan Hubung Singkat	43
Tabel 6	Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat	46
Tabel 7	Hasil Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Simulasi dan Perhitungan Manual.....	46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Jenis Gangguan yang Ditindaklanjuti Pemeriksaan	13
Gambar 2 Tampilan Kerja Etap 16.0.0	16
Gambar 3 Simbol Busbar pada ETAP	17
Gambar 4 Simbol Transformator pada ETAP	17
Gambar 5 Simbol Pemutus Rangkaian pada ETAP.....	17
Gambar 6 Simbol Relay pada ETAP	18
Gambar 7 Simbol CT pada ETAP.....	18
Gambar 8 Simbol <i>load</i> pada ETAP.....	18
Gambar 9 Tiga himpunanfasor-fasor setimbang yang merupakan komponen-komponen simetri tiga fasor-fasor tak seimbang.....	20
Gambar 10 Jalur-jalur untuk arus pada setiap urutan dalam suatu generator dengan jala-jala urutannya yang bersesuaian.....	24
Gambar 11 GFR (a) Diagram garis GFR (b)	28
Gambar 12 Diagram alir kegiatan	30
Gambar 13 <i>Single Line Diagram</i> GI Bakaru.....	34
Gambar 14 <i>Single Line Diagram</i> Penyulang Bambapuang	36
Gambar 15 Tampilan Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat pada Jarak 14,25 km	40

Gambar 16 Tampilan Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat pada Jarak 28,5 km	41
Gambar 17 Tampilan Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat pada Jarak 42,75 km	42
Gambar 18 Tampilan Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat pada Jarak 57 km	43
Gambar 19 Grafik Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Simulasi dan Perhitungan	47



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Laporan Operasi Penyulang Tragi Pare-pare
- Lampiran 2 Data Proteksi Penyulang dan Jaringan Area Pinrang
- Lampiran 3 Data Gangguan Distribusi
- Lampiran 4 Data Total Gangguan Gardu Induk Bakaru
- Lampiran 5 Data Kawat Penghantar AAAC
- Lampiran 6 Data Panjang Saluran Penyulang Bambapuang



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan yang tak tergantikan untuk masa mendatang bagi manusia diseluruh dunia. Hal ini seiring dengan pesatnya kemajuan teknologi kelistrikan yang menyentuh kehidupan sehari-hari maupun perkembangan dunia perindustrian. PT PLN (Persero) sebagai satu-satunya perusahaan penyedia jasa kelistrikan, diharuskan memberikan pelayanan dan penyediaan tenaga listrik dengan tingkat kualitas, kontinuitas, keandalan, dan efisiensi yang baik. Dalam penyaluran listrik tersebut masih banyak kendala/gangguan yang terjadi, faktor yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan sistem tenaga listrik antara lain gangguan yang disebabkan oleh keadaan alam, kawat penghantar putus, kerusakan pada pembangkit, kelebihan beban serta gangguan hubung singkat.

Semua gangguan ini akan menyebabkan terhentinya atau terganggunya penyaluran energi listrik ke konsumen yang dapat menyebabkan kerugian bagi pihak PT. PLN maupun konsumen. Penyaluran energi harus tetap berjalan lancar sampai ke konsumen dan terlindung dari gangguan-gangguan. Untuk mengatasi gangguan tersebut dan melindungi peralatan maka salah satu cara mengatasinya yaitu menggunakan sistem pembumian pada jaringan distribusi sebagai pengaman langsung terhadap peralatan dan manusia bila terjadinya gangguan tanah atau kebocoran arus akibat kegagalan isolasi dan tegangan lebih serta pada peralatan jaringan distribusi dipasang peralatan-peralatan pengaman. Koordinasi antara

peralatan pengaman dengan relai sangat diperlukan untuk melokalisir daerah gangguan dan menjaga keandalan sistem kelistrikan.

Proteksi utama sistem distribusi dengan menggunakan relai arus lebih atau OCR dan relay gangguan ke tanah atau GFR. Relai arus lebih dan relai arus gangguan ke tanah menggunakan arus yang melewatinya sebagai input. Jika arus yang melewatinya melebihi batas-batas penyetelan, maka relai akan bekerja dengan memerintahkan PMT untuk memutuskan sistem distribusi listrik. Agar relai dapat bekerja dengan sebagaimana mestinya maka penyetelan harus tepat.

Gangguan-gangguan yang terjadi tidak akan terlepas dari bekerjanya relai yang terpasang pada sistem. Selain itu, perkembangan sistem jaringan distribusi juga sangat mempengaruhi sering atau tidak terjadinya gangguan. Berdasarkan hal tersebut penulis melakukan studi tentang relai arus gangguan tanah pada Gardu Induk Bakaru Penyulang Bambapuang yang dibuat dalam bentuk tugas akhir dengan judul *“Studi Ground Fault Relay 20 kV pada Gardu Induk Bakaru Penyulang Bambapuang”*

1.2 Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi rumusan masalah dalam hal ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana sistem pembumian yang digunakan pada Gardu Induk Bakaru?
2. Bagaimana perbandingan hasil antara perhitungan secara manual nilai arus hubung singkat dengan simulasi yang dilakukan menggunakan software ETAP 16.0.0?

1.3 Ruang Lingkup Kegiatan

Agar masalah yang dibahas menjadi jelas dan tidak meluasnya pembahasan, maka pada laporan tugas akhir ini membahas tentang pembumian yang digunakan pada Gardu Induk Bakaru, perhitungan manual gangguan arus hubung singkat serta simulasi gangguan arus hubung singkat dengan menggunakan software ETAP 16.0.0

1.4 Tujuan Kegiatan

Adapun yang menjadi tujuan kegiatan adalah sebagai berikut :

1. Menentukan sistem pembumian yang digunakan pada Gardu Induk Bakaru.
2. Menganalisis perbandingan hasil antara perhitungan secara manual nilai arus hubung singkat dengan simulasi yang dilakukan menggunakan software ETAP 16.0.0.

1.5 Manfaat Kegiatan

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat mendeskripsikan sistem pembumian yang digunakan pada Gardu Induk Bakaru.
2. Mampu menganalisis perbandingan hasil antara perhitungan secara manual nilai arus hubung singkat dengan simulasi yang dilakukan menggunakan software ETAP 16.0.0
3. Dapat menjadi masukan dan bahan perbandingan bagi pihak PT. PLN (Persero) dan khususnya pada Gardu Induk Bakaru Penyulang Bambapuung untuk

mengevaluasi kinerja sistem proteksi yang ada, dan bagi mahasiswa dapat menjadi referensi penelitian terkait.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Untuk memenuhi kebutuhan listrik para pelanggan, dibutuhkan media-media yang dapat menyalurkan tenaga listrik hingga dapat digunakan oleh pelanggan. Media-media ini biasanya disebut sebagai suatu sistem tenaga listrik. Suatu sistem tenaga listrik secara sederhana adalah sebagai berikut:

1. Sistem pembangkit
2. Sistem transmisi dan gardu induk
3. Sistem distribusi
4. Sistem sambungan pelayanan

Sistem-sistem ini saling berkaitan dan membentuk suatu sistem tenaga listrik. Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada para pelanggan.

Sistem distribusi terbagi menjadi 2 bagian yaitu:

1. Sistem distribusi tegangan menengah
2. Sistem distribusi tegangan rendah

Sistem distribusi tegangan menengah mempunyai tegangan kerja di atas 1 kV dan setinggi-tingginya 25 kV. Sistem distribusi tegangan rendah mempunyai tegangan kerja setinggi-tingginya kV. Jaringan distribusi tegangan menengah berawal dari gardu induk/pusat listrik pada sistem terpisah/isolated. Pada beberapa

tempat berawal dari pembangkit listrik. Bentuk jaringan dapat berbentuk radial atau tertutup (*radial open loop*). Jaringan distribusi tegangan rendah berbentuk radial murni.

2.2 Sistem Penumian

Terdapat perbedaan sistem penumian pada transformator utama di gardu induk/sumber pembangkit, namun tidak ada perbedaan sistem penumian pada transformator distribusi dan jaringan tegangan rendah.

Tujuan penumian pada suatu sistem tenaga listrik secara umum adalah :

1. Memberikan perlindungan terhadap bahaya listrik bagi pelanggan (manusia) dan lingkungannya.
2. Mendapatkan keandalan penyaluran pada sistem baik dari segi kualitas, keandalan ataupun kontinuitas penyaluran tenaga listrik.
3. Membatasi kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terhubung tanah dan nilai tegangan kerja minimal.

2.2.1 Penumian transformator pada sisi tegangan menengah

Lilitan sekunder sisi tegangan menengah transformator pada pada gardu induk dihubungkan secara bintang (Y). Titik netral lilitan dibumikan melalui:

- a. Penumian dengan tahanan 12 Ohm untuk SKTM.
- b. Penumian dengan tahanan 40 Ohm untuk sistem SUTM, atau campuran antara SKTM dan SUTM.
- c. Penumian dengan tahanan 500 Ohm untuk sistem SUTM.

- d. Penumbumian langsung / *solid grounded*.
- e. Tanpa penbumian / sistem mengambang

Sistem SUTM tanpa penbumian pada transformatornya hanya dipakai pada sistem kelistarikan listrik desa yang kecil. Sistem yang menggunakan penbumian dengan nilai tahanan mendekati nol (*solid grounded*) menyebabkan arus gangguan tanah sangat besar.

Nilai tahanan penbumian transformator pada gardu induk membatasi arus hubung singkat ke tanah menjadi 1000 A untuk $R = 12$ Ohm, 300 A untuk $R = 40$ Ohm, dan 25 A untuk $R = 500$ Ohm. Kriterianya adalah kapasitas penyulang atau pusat listrik dibatasi sebesar 10 MVA, sehingga arus perfasa sebesar 300 A. Besar arus gangguan tanah dibatasi pada SUTM atau campuran SUTM dan SKTM; sebesar 1000 A pada SKTM; dan sebesar 25 A pada tahanan pentanahan 500 Ohm. Pertimbangan memilih sistem penbumian tersebut merupakan pertimbangan manajemen perancangan dengan memperhatikan aspek :

- a. Aman terhadap manusia.
- b. Cepatnya pemeliharaan gangguan/selektifitas penyulang yang mengalami gangguan.
- c. Kerusakan akibat hubung pendek.
- d. Pengaruh terhadap sistem telekomunikasi.
- e. Pertimbangan teknis kepadatan beban.

Faktor a, c, d menghendaki arus gangguan rendah, sedangkan factor b menghendaki arus gangguan besar. Untuk factor e, bila kepadatan beban tinggi maka sebaiknya digunakan SKTM dengan tahanan pembumian minimal 12 Ohm.

2.2.2 Pembumian transformator pada sisi tegangan rendah

Bagian-bagian transformator sisi tegangan rendah yang perlu dibumikan adalah titik netral lilitan sekunder, bagian konduktif terbuka, badan trafo dan bagian konduktif ekstra instalasi gardu. Pembumian dilakukan secara langsung (*solid grounded*) dengan nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 Ohm.

2.2.3 Pembumian dengan nilai tahanan rendah 12 dan 40 Ohm

Pembumian dengan nilai tahanan rendah ini dipakai di gardu induk pada sistem :

1. Tahanan 12 Ohm untuk transformator yang melayani saluran kabel tanah. Nilai arus hubung tanah maksimum sebesar 1000 A.
2. Tahanan 40 Ohm untuk transformator yang melayani khususnya Saluran Udara Tegangan Menengah. Nilai arus hubung tanah maksimum pada sistem tegangan 20 kV sebesar 300 A.

Nilai arus hubung tanah yang besar memudahkan kerja relay proteksi dan memungkinkan memakai relai dengan harga relatif murah. Nilai arus hubung tanah yang kecil tidak cukup besar untuk memutuskan *fuse cut out* jika terjadi hubung singkat ke tanah pada bagaian yang dilindungi.

Berdasarkan besarnya tahanan pentanahan yang digunakan, dapat diketahui besar jumlah arus yang melewati tahanan pada saat terjadi gangguan fasa-tanah dengan menggunakan rumus:

$$I = \frac{E_{ph}}{R_{NGR}} \text{ Amp} \quad (1)$$

2.2.4 Pembumian dengan nilai tahanan sangat rendah (*solid grounded*)

Pada sistem ini nilai pembumian sisi 20 kV transformator gardu induk dihubungkan langsung ke bumi. Sistem ini memberikan keuntungan pada jaringan distribusi yaitu :

1. Arus gangguan sangat besar, sehingga memudahkan koordinasi relay.
2. Jangkauan jaringan distribusi luas.
3. Dengan sistem *multigrounded common netral* pada jaringan tegangan menengah, memungkinkan sistem fasa-1 pada jaringan tegangan menengah untuk memberikan layanan kelistrikan pada daerah-daerah terpencil dengan biaya investasi murah.

2.2.5 Pembumian dengan nilai tahanan tinggi

Pada sistem ini nilai tahanan pembumian (NGR) sisi 20 kV transformator tenaga di gardu induk atau pembangkit sebesar 500 Ohm. Dengan nilai pembumian yang tinggi ini maka arus gangguan ke tanah relative kecil, yaitu sebesar 25 A. nilai arus sebesar ini akan memberikan tegangan sebesar 125 volt jika terjadi saluran TM putus dan terkena jaringan TR sehingga keamanan umum lebih terjamin.

2.2.6 Penumbumian mengambang

Penumbumian mengambang saat ini di PLN hanya ada pada sistem kelistrikan pedesaan dengan pembangkit kecil sebagai sumber pembangkit listrik, dan tidak ada penumbumian pada sisi transformator 20 kV, namun ada penumbumian pada *lightning arrester* (LA) sisi sekunder transformator dan bagian konduktif terbuka jaringan.

Penumbumian pada jaringan tegangan rendahnya memakai sistem TN-C, namun hanya ada pada 1 (satu) tiang sebelum tiang akhir penyulang utama atau penghantar paling besar.

2.3 Proteksi Jaringan

Tujuan daripada suatu sistem proteksi pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah mengurangi seefektif mungkin pengaruh gangguan pada penyaluran tenaga listrik serta memberikan perlindungan yang maksimal bagi operator, lingkungan dan peralatan dalam hal terjadinya gangguan yang menetap (permanen).

Sistem proteksi pada SUTM menggunakan :

- a. Relai hubung tanah dan relai hubung singkat fasa-fasa untuk kemungkinan gangguan penghantar dengan bumi dan antar penghantar.
- b. Pemutus balik otomatis PBO (*Automatic Recloser*), saklar seksi otomatis SSO (*automatic sectionaizer*).
- c. *Lightning arrester* (LA) sebagai pelindung kenaikan tegangan peralatan akibat surja petir.

- d. Penumbumian bagian konduktif terbuka dan bagian konduktif extra pada tiap-tiap 4 tiang atau pertimbangan lain dengan nilai pentanahan tidak melebihi 10 Ohm.
- e. Kawat tanah (*shield wire*) untuk mengurangi gangguan akibat sambaran petir langsung.
- f. Penggunaan Fused Cut-Out (FCO) pada pencabangan.
- g. Penggunaan sela tanduk (*arcing horn*).

2.4 Gangguan Pada Jaringan Distribusi

Suatu sistem tenaga listrik tidak terlepas dari adanya gangguan. Gangguan dalam sistem tenaga listrik merupakan keadaan yang tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan kerusakan atau mempengaruhi sistem tenaga listrik. Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari luar dapat disebabkan oleh sentuhan daun / pohon pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain (Wahyudin, 2007). Sedangkan gangguan yang berasal dari dalam dapat disebabkan oleh kegagalan dan fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan pemutus beban dan kesalahan pada alat pendeteksi. Jaringan distribusi secara garis besar terdiri dari Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR).

JTM mempunyai tegangan antara 3 kV sampai dengan 20 kV. PLN saat ini hanya mengembangkan tegangan menengah 20 kV. JTM sebagian besar berupa

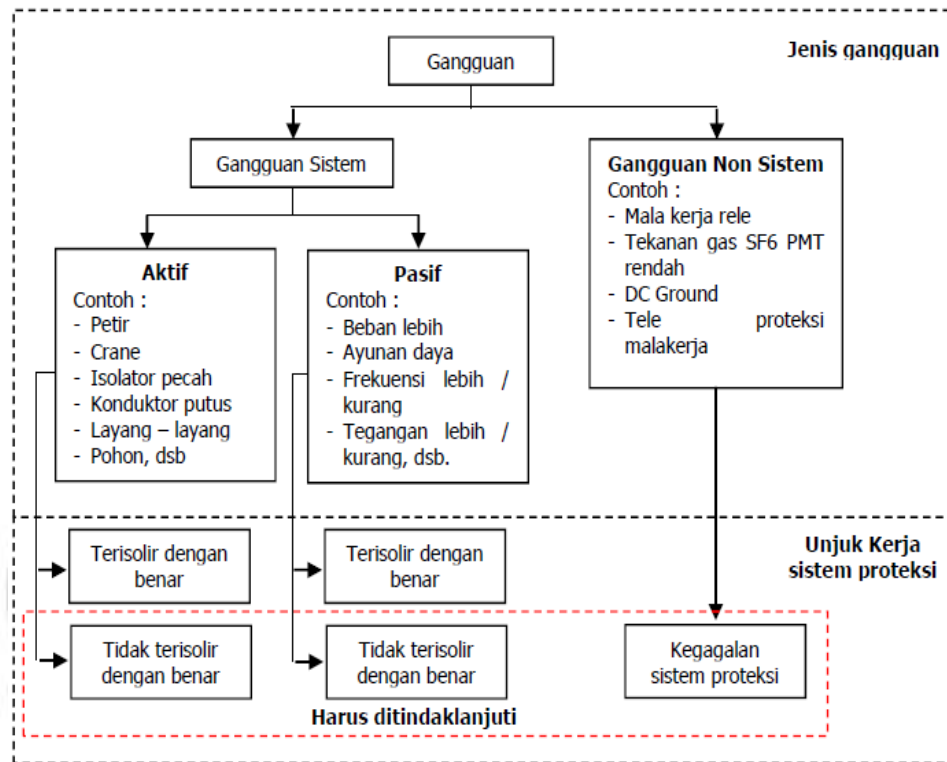
SUTM dan kabel tanah. Pada saat ini juga mulai dikembangkan kabel udara yang isolasinya tidak penuh dengan tujuan untuk mengurangi jumlah gangguan di JTM. Sebagian besar gangguan pada SUTM tidak disebabkan oleh petir melainkan sentuhan pohon.

Dari lamanya gangguan dapat digolongkan menjadi dua, yaitu gangguan temporer dan gangguan permanen. Gangguan temporer merupakan gangguan yang tidak berlangsung lama dan dapat kembali normal (Hutauruk, 1991). Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutus sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya, kemudian disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Salah satu contoh gangguan yang bersifat temporer adalah gangguan akibat sentuhan pohon, binatang, ular dan benda seperti layangan.

Gangguan permanen merupakan gangguan yang sifatnya tetap. Gangguan ini tidak akan hilang sebelum penyebab gangguan dihilangkan terlebih dahulu. Gangguan yang bersifat permanen dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, sehingga gangguan ini akan hilang setelah kerusakan diperbaiki. Untuk mengatasinya dibutuhkan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Suatu gangguan terjadi ditandai dengan tripnya PMT, untuk mengatasinya operator memasukkan tenaga secara manual. Contoh gangguan ini yaitu adanya kawat yang putus, dahan yang menimpa kawat fasa dari saluran udara dan terjadinya gangguan hubung singkat.

Adapun jenis-jenis gangguan yang ditindaklanjuti pemeriksaan dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1 Jenis gangguan yang ditindaklanjuti pemeriksaan

2.4.1 Gangguan hubung singkat

Berdasarkan pemaparan di atas, gangguan hubung singkat merupakan suatu gangguan yang bersifat permanen, sehingga perlu perbaikan untuk mengembalikan sistem dalam keadaan normal.

Menurut Suswanto (2009:245), “Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda”. Gangguan hubung singkat dapat juga

terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun dari luar.

Dari kedua pernyataan di atas, maka dapat dikatakan bahwa gangguan hubung singkat terjadi karena adanya kesalahan-kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan yang timbul akibat gangguan dari dalam maupun gangguan dari luar.

Gangguan hubung singkat yang biasa terjadi di dalam jaringan (sistem tenaga listrik) ada tiga yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa, gangguan hubung singkat 2 fasa, dan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah. Yang membedakan antara gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, 1 fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri dan tegangan yang menyuplai arus ke titik gangguan.

2.5 Software ETAP 16.0.0

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik dan *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

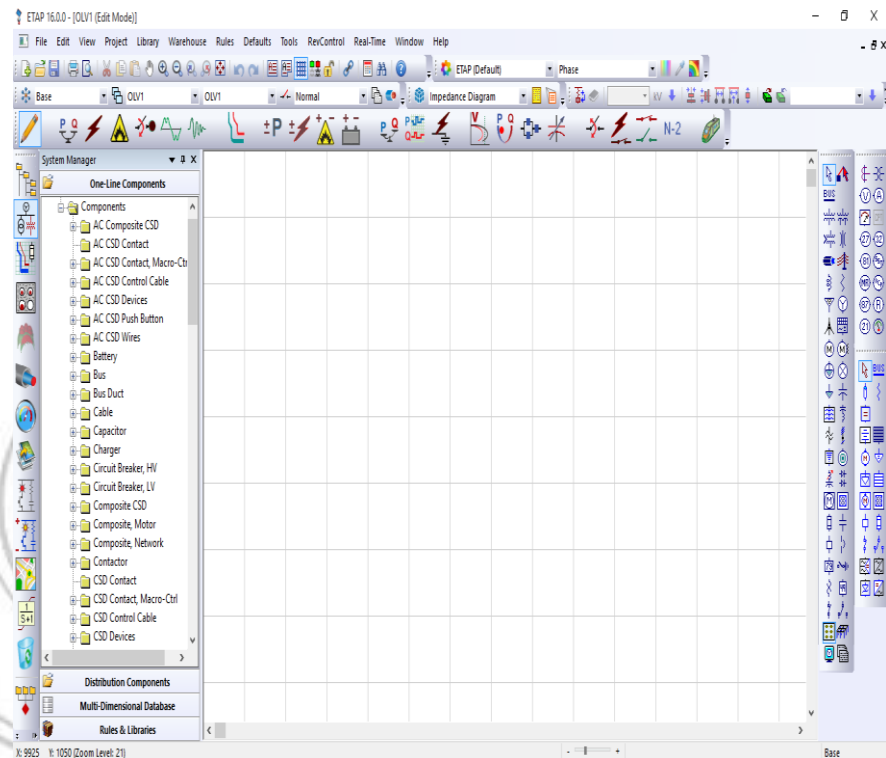
Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan dengan menggunakan ETAP antara lain;

- Analisa Aliran Daya (*Load Flow Analysis*)
- Analisa Hubung Singkat (*Short Circuit Analysis*)
- *Motor Starting*
- *Arc Flash Analysis*
- *Harmonic Power System*
- Analisa Kestabilan Transien
- *Protective Device Coordination*

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP *power station* antara lain:

- *One line diagram*, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- *Library*, informasi mengenai semua peralatan yang akan digunakan dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
- Standar yang digunakan, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode-metode yang digunakan.
- *Study Case*, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

Adapun tampilan lembar kerja yang digunakan pada software ETAP 16.0.0 ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2 Tampilan kerja ETAP 16.0.0

Elemen-elemen AC pada ETAP

a. Busbar

Busbar atau bus merupakan susunan konduktor yang biasanya berupa pelat tembaga atau aluminium yang digunakan dalam sebuah panel kelistrikan untuk mendistribusikan atau menghantarkan energi listrik. Dalam ETAP bus sangat membantu untuk pemodelan berbagai tipe bus dalam sistem tenaga listrik. Generator, motor dan beban static adalah

elemen yang dapat dihubungkan dengan beberapa yang diinginkan. Simbol bus pada *power station software* ETAP ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 3 Simbol busbar pada ETAP

b. Transformator

Transformator 2 kawat sistem distribusi dimasukkan dalam *editor power station software*, transformator 2 kawat pada *power station software* ETAP ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 4 Simbol transformator 2 kawat pada ETAP

c. Pemutus rangkaian

Pemutus rangkaian ini merupakan sebuah saklar otomatis yang dirancang untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan pendek. Simbol pemutus rangkaian pada ETAP ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 5 Simbol pemutus rangkaian pada ETAP

d. Relay

Relay arus lebih (*over current relay*) sangat banyak digunakan untuk proteksi arus lebih pada jaringan distribusi primer di ujung awal *feeder* tegangan menengah (TM), dan juga digunakan sebagai proteksi terhadap

arus lebih pada gangguan tanah (*ground fault relay*). Simbol relay pada ETAP ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 6 Simbol relay pada ETAP

e. Trafo arus (*current transformer*)

CT atau *current transformer* berfungsi untuk mengukur arus yang mengalir dalam sebuah rangkaian terutama dalam pembacaan arus dalam aliran voltase tinggi dalam jaringan distribusi. Fungsi lain dari sebuah CT adalah untuk proteksi peralatan. Simbol CT dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 7 Simbol CT pada ETAP

f. *Load*

Load yaitu beban listrik sistem distribusi tenaga listrik yang dimasukkan dalam *editor power sistem* ETAP berupa *rated* kV dan MVA yang ditampilkan pada bagian atas informasi editor *load*. Pada ETAP terdapat dua macam beban, yaitu beban statis dan beban dinamis. Simbol ini ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 8 Simbol *load* pada ETAP

2.6 Komponen Simetris

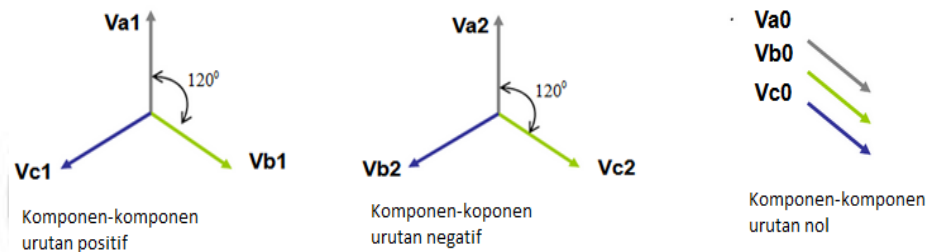
Komponen simetris digunakan untuk menganalisis terutama sistem yang tidak seimbang, misalnya saat terjadi hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah. Dimana sebuah sistem tak seimbang diubah menjadi 3 rangkaian persamaan yaitu rangkaian urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol.

Menurut teorema *Fortescue*, tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi 3 sistem fasor yang setimbang. Himpunan-himpunan setimbang komponen-komponen itu adalah:

1. Komponen-komponen urutan positif terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah antara yang satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120^0 dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti pada fasor-fasor aslinya.
2. Komponen-komponen urutan negatif terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah antara yang satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120^0 dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan pada fasor-fasor aslinya.
3. Komponen-komponen urutan nol terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara fasor yang satu dengan yang lain.

Bila memecahkan suatu persoalan dengan komponen-komponen simetri, untuk menunjukkan ketiga fasa sistem itu sebagai a , b , dan c sedemikian rupa sehingga urutan fasa tegangan dan arus dalam sistem itu adalah abc . Jadi urutan

fasa pada komponen-komponen urutan positif fasor-fasor tak setimbang itu adalah abc , dan urutan fasa pada komponen-komponen urutan negatifnya adalah abc . Jika fasor-fasor aslinya merupakan tegangan, dapat dinyatakan sebagai V_a , V_b , dan V_c . Tiga himpunan komponen-komponen simetri ditunjukkan oleh subskrip tambahan 1 untuk komponen-komponen urutan positif, 2 komponen-komponen urutan negatif, dan 0 untuk komponen-komponen urutan nol. Tiga himpunan komponen tersebut dapat dilihat pada gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9 Tiga himpunan fasor-fasor setimbang yang merupakan komponen-komponen simetri tiga fasor-fasor tak setimbang

Komponen-komponen urutan positif pada V_a , V_b , dan V_c adalah V_{a1} , V_{b1} , dan V_{c1} . Demikian pula komponen-komponen urutan negatifnya adalah V_{a2} , V_{b2} , dan V_{c2} , dan komponen-komponen urutan nolnya adalah V_{a0} , V_{b0} , dan V_{c0} . Pada gambar di atas menunjukkan himpunan komponen-komponen simetri tersebut. Fasor-fasor yang mewakili arus akan ditandai dengan I dengan subskrip-subskrip seperti untuk tegangan.

2.7 Analisa Arus Hubung Singkat

Analisa arus hubung singkat adalah Analisa sistem tenaga listrik ketika terjadi gangguan hubung singkat yang nantinya dapat digunakan untuk penentuan proteksi yang digunakan.

Perhitungan hubung singkat adalah suatu analisa kelakuan suatu sistem tenaga listrik pada keadaan gangguan hubung singkat, dimana dengan cara ini diperoleh nilai besar-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut (Suswanto, 2009).

Tujuan perhitungan gangguan ini adalah untuk mengetahui nilai arus gangguan hubung singkat, sehingga dapat menentukan penyetelan pada relay proteksi, kapasitas pemutus yang digunakan, serta penyediaan operasional proteksi. Dalam menganalisis gangguan hubung singkat tersebut, maka dilakukan beberapa tahap perhitungan, yaitu sebagai berikut:

2.7.1 Perhitungan impedansi

Dalam menghitung impedansi, seperti juga tegangan dan arus di dalam metode komponen simetris ada tiga macam impedansi urutan yaitu :

- a. Impedansi urutan positif (Z_1)
- b. Impedansi urutan negatif (Z_2)
- c. Impedansi urutan nol (Z_0)

Untuk menghitung nilai impedansi yang terdapat pada penghantar terlebih dahulu harus dimiliki nilai impedansi Ohm per kilometer dari jenis

penghantar yang digunakan pada jaringan tersebut. Nilai impedansi pada jaringan, Ohm per kilometer dikalikan dengan jarak penghantar.

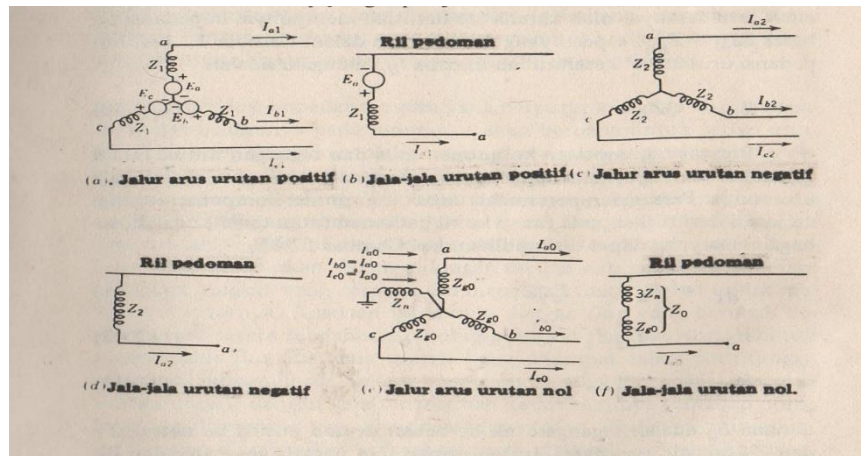
Dalam setiap bagian suatu rangkaian, tegangan jatuh yang disebabkan oleh arus pada urutan tertentu tergantung pada impedansi bagian rangkaian itu terhadap arus pada urutan itu. Impedansi pada setiap bagian suatu jala-jala setimbang terhadap arus salah satu urutan dapat berbeda dengan impedansi terhadap arus pada urutan lain.

Impedansi suatu rangkaian bila arus-arus urutan positif saja yang mengalir disebut impedansi terhadap arus urutan positif. Demikian pula bila hanya arus-arus urutan negatif saja yang hadir, impedansinya disebut impedansi terhadap arus urutan negatif. Bila hanya arus-arus urutan nol yang ada, impedansinya disebut impedansi terhadap arus urutan nol. Nama-nama impedansi suatu rangkaian terhadap arus-arus urutan yang berbeda-beda ini biasanya diangkat dalam istilah yang kurang menjelaskan impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol.

Analisa suatu gangguan tak simetri pada suatu sistem simetri terdiri dari penentuan komponen-komponen simetri arus-arus tak setimbang yang mengalir. Karena arus-arus komponen pada salah satu urutan fasa menimbulkan tegangan-tegangan jatuh pada urutan yang sama saja dan tidak tergantung kepada arus-arus pada urutan-urutan yang lain, dalam suatu sistem yang setimbang, arus-arus pada salah satu urutan dapat dipandang

mengalir dalam suatu jala-jala bebas yang hanya terdiri dari impedansi-impedansi terhadap arus pada urutan itu saja. Rangkaian setara fasa tunggal yang terdiri dari impedansi-impedansi terhadap arus pada salah satu urutan saja disebut jala-jala urutan untuk urutan tertentu itu. Jala-jala urutan meliputi semua ggl yang dibangkitkan pada urutan yang sama. Jala-jala urutan yang mengalirkan arus-arus I_{a1} , I_{a2} , dan I_{a0} diinterkoneksi untuk mewakili berbagai keadaan gangguan tak setimbang. Karena itu untuk menghitung pengaruh suatu gangguan dengan metode komponen-komponen simetri, perlu untuk menentukan urutannya dan menggabungkannya untuk membentuk jala-jala urutannya masing-masing.

Komponen-komponen urutan arus ditunjukkan pada gambar 10. Arus-arus itu mengalir melalui impedansi-impedansi pada urutannya sendiri saja, seperti yang ditunjukkan oleh subskrip-subskrip yang sesuai pada impedansi-impedansinya yang terlukis pada gambar itu. Jala-jala urutan yang ditunjukkan oleh gambar 10 merupakan rangkaian-rangkaian tiga-fasa setimbang dimana komponen-komponen simetri arus-arus setimbangnya dipandang mengalir. Ggl yang dibangkitkan dalam jala-jala urutan positif adalah tegangan kutub tak berbeban ke netral, yang juga sama dengan tegangan-tegangan dibelakang reaktansi-reaktansi peralihan dan sub peralihan, atau dibelakang reaktansi serempak. Tergantung apakah keadaan peralihan, sub peralihan ataukah keadaan tetap yang dipelajari.



Gambar 10. Jalur-jalur untuk arus pada setiap urutan dalam suatu generator dengan jala-jala urutannya yang bersesuaian

Ril pedoman untuk jala-jala urutan positif dan negatif adalah netral generator itu, sejauh komponen-komponen urutan positif dan negatif yang ditinjau, netral generator itu terletak pada potensial tanah karena hanya arus urutan nol mengalir dalam impedansi antara netral dan tanah. Ril pembandinga untuk jala-jala urutan nol adalah tanah pada generator itu.

Arus yang mengalir pada impedansi Z_n antara netral dan tanah adalah $3I_{a0}$. Dengan berpedoman pada gambar 10, dilihat bahwa tegangan jatuh urutan dari titik a ke tanah adalah $-3I_{a0} Z_n - I_{a0} Z_{g0}$, dimana Z_{g0} adalah impedansi urutan nol perfasa pada generator itu. Jala-jala urutan nolnya, yang merupakan suatu rangkaian fasa-tunggal yang hanya mengalirkan arus urutan nol pada salah satu fasanya, oleh karena itu haruslah mempunyai impedansi sebesar $3Z_n + Z_{g0}$, seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. Impedansi urutan nol keseluruhan dimana I_{a0} mengalir adalah

$$Z_0 = 3Z_n + Z_{g0} \tag{2}$$

2.7.2 Perhitungan impedansi sumber

Untuk menghitung impedansi sumber sisi busbar 20 kV, maka harus dihitung impedansi sumber pada busbar 150 kV. Impedansi sumber pada busbar 150 kV diperoleh dengan menggunakan rumus :

Impedansi Sumber

$$Z_s = \frac{V^2 \text{ sisi } 150 \text{ kV}}{S \text{ sisi } 150 \text{ kV}} \quad (3)$$

dimana:

Z_s = Impedansi sumber (Ω)

V = Tegangan sisi primer (kV)

S = Data hubung singkat sisi 150 kV (MVA)

Arus gangguan hubung singkat pada sisi 20 kV diperoleh dengan cara mengkonversikan terlebih dahulu impedansi sumber pada busbar 120 kV ke sisi 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak pada busbar 150 kV ke sisi 20 kV dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

Impedansi Sumber

$$Z_s = \frac{V^2 \text{ sisi sekunder}}{V^2 \text{ sisi primer}} \times Z_s \text{ (sisi primer)} \quad (4)$$

dimana:

Z_s = Impedansi sumber sisi sekunder dan primer (Ω)

V = Tegangan sisi primer dan sekunder (Ω)

2.7.3 Perhitungan impedansi kabel jaringan

Pada perhitungan impedansi suatu jaringan yang digunakan adalah harga tahanan dan reaktansi. Nilai impedansi kabel jaringan adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Data Impedansi Kabel Jaringan

mm ²	AAAC			
	Z ₁ Z ₂		Z ₀	
	R ₁ (Ω)	jx ₁	R ₀ (Ω)	jx ₀
16	2,0161	0,4036	2,1641	1,6911
25	0,9217	0,3790	1,0697	1,6695
50	0,6452	0,3678	0,7932	1,6553
70	0,4608	0,3572	0,6088	1,6447
95	0,3396	0,3449	0,4876	1,6324
120	0,2688	0,3375	0,4168	1,6251
150	0,2162	0,3305	0,3631	1,6180
185	0,1744	0,3239	0,3224	1,6114
240	0,1344	0,3158	0,2824	1,6003

Sumber; SPLN S2-3:1983

2.7.4 Perhitungan impedansi penyulang

Untuk menghitung impedansi penyulang pada titik gangguan yang terjadi pada lokasi gangguan menggunakan rumus:

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (4)$$

$$Z_{1L} = Z_1 \times L \quad (5)$$

dimana:

Z₁ = Impedansi penyulang (Ω)

Z_{1L} = Impedansi penyulang pada titik gangguan yang terjadi (Ω)

L = Panjang penyulang (m)

R = Tahanan penghantar (Ω/km)

X = Reaktansi penghantar (Ω/km)

2.7.5 Arus hubung singkat 1 fasa

Kemungkinan terjadinya arus hubung singkat disebabkan oleh adanya back *flashover* antara tiang ke salah satu kawat transmisi dan distribusi. Sehingga arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_f = \frac{V/\sqrt{3}}{Z_{1L} + Z_S} \quad (6)$$

dimana:

I_f = Arus gangguan (kA)

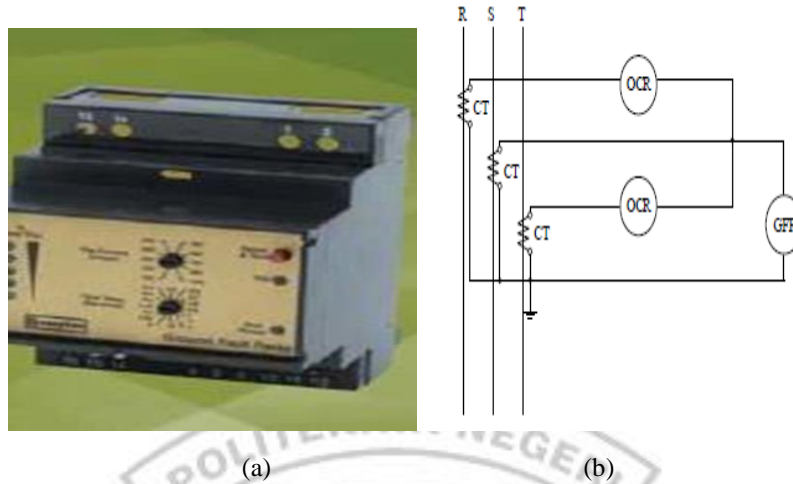
V = Tegangan sumber (kV)

Z_{1L} = Impedansi penyulang pada titik gangguan yang terjadi (Ω)

Z_S = Impedansi sumber (Ω)

2.8 Relay Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

Sering terjadinya gangguan satu fasa ke tanah dibandingkan gangguan antar fasa menyebabkan pentingnya relay gangguan tanah dipasang pada sistem tenaga listrik. Relay gangguan tanah yang dikenal pula dengan GFR (*ground fault relay*) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja yang sama dengan relay arus lebih atau dikenal dengan OCR (*over current relay*) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. OCR digunakan untuk mengamankan penghantar dari gangguan fasa-fasa sedangkan GFR digunakan untuk mengamankan penghantar dari gangguan fasa-tanah. Gambar *ground fault relay* sendiri dapat dilihat pada gambar 11 halaman 28.



Gambar 11 GFR (a) Diagram Garis GFR (b)

Kaidah penyettingan relay gangguan tanah lebih sederhana dari pada relay gangguan fasa, karena relay ini hanya mendeteksi arus residu yang bernilai nol pada keadaan normal. Akan tetapi untuk mengantisipasi agar relay tidak trip akibat adanya arus residu karena beban tidak seimbang, maka biasanya dilakukan perhitungan arus gangguan ke tanah terlebih dahulu untuk menentukan setting relay gangguan tanah. Setting arus relay gangguan tanah terkecil atau (0,3-0,5) kali nilai arus beban penuhnya. Setting arus relay gangguan tanah sengaja dipilih jauh lebih kecil dari nilai arus gangguan tanah terkecil untuk mengantisipasi apabila terdapat tahanan gangguan saat terjadi gangguan tanah (Wahyudi, 2008).

BAB III

METODE KEGIATAN

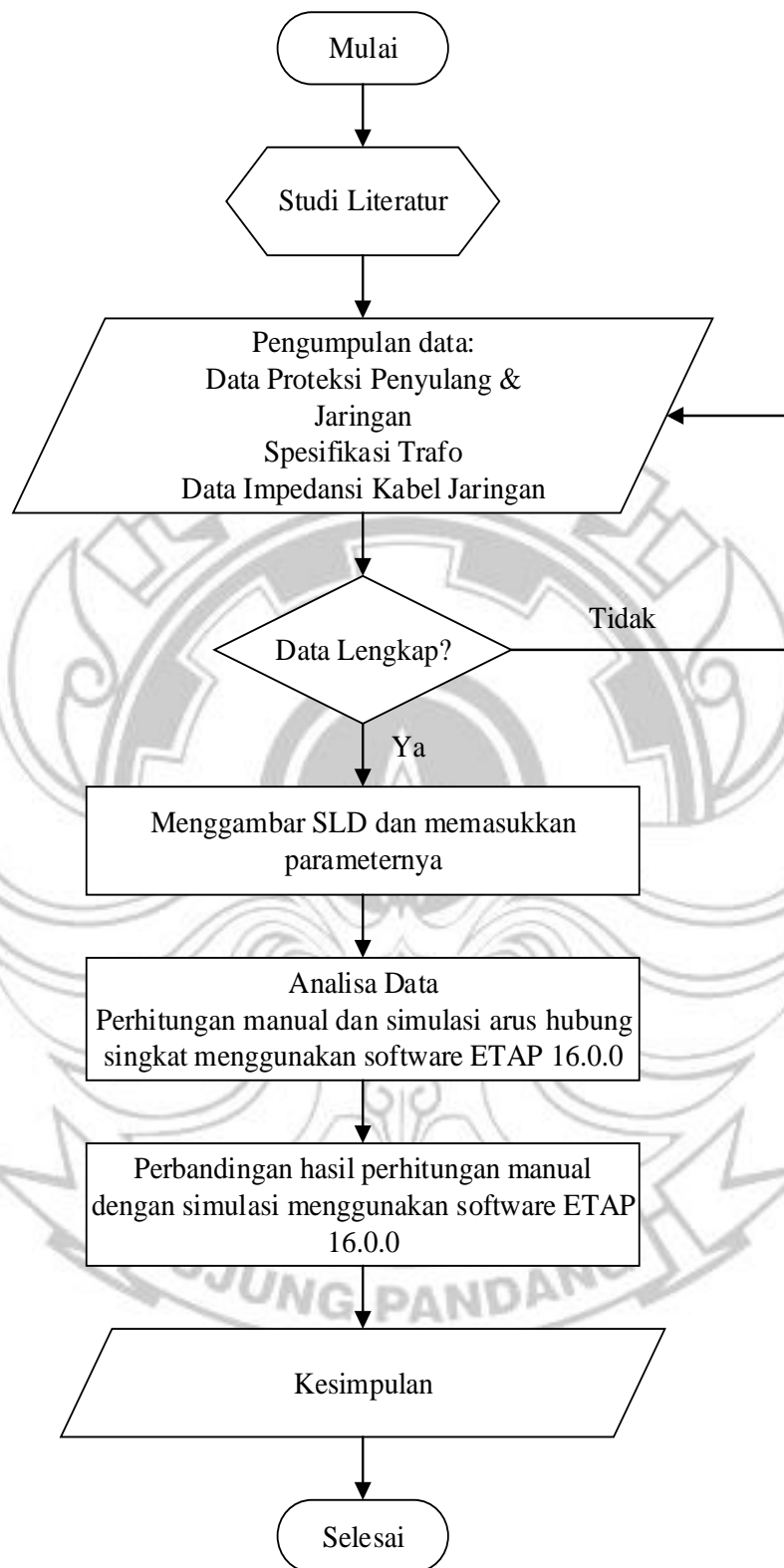
3.1 Tempat Dan Waktu Kegiatan

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan pada bagian Perencanaan dan Evaluasi PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Sulselrabar yang dilakukan selama 3 bulan, yakni pada tanggal 01 Februari 2018 s.d 30 April 2018.

3.2 Prosedur Kegiatan

Kegiatan ini awalnya dilakukan proses penyuratan untuk pengumpulan data pada PT PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Sulselrabar. Setelah itu memperhatikan data yang diperoleh apakah telah lengkap atau belum. Jika belum maka meminta kembali data yang kurang. Penting untuk menyusun secara runtut data-data yang dibutuhkan agar setelah masa berlaku kegiatan berakhir tidak ada data yang terlupa.

Data-data yang telah diperoleh kemudian diolah sesuai dengan kebutuhan dalam rumusan masalah. Pertama-tama menggambar *Single Line Diagram* pada *software* ETAP dan memasukkan parameternya. Kemudian melakukan simulasi dan perhitungan secara manual. Setelah pertanyaan pada rumusan masalah terjawab dalam uraian hasil data yang diperoleh maka dibuat kesimpulan akhir. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar 22 Diagram Alir Kegiatan pada halaman 30.



Gambar 12 Diagram Alir Kegiatan

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam penulisan tugas akhir ini, pengumpulan data dilakukan dengan metode sebagai berikut.

3.3.1 Studi literatur

Studi literatur adalah metode pengumpulan data yang dilakukan dengan cara mengambil data-data yang diperlukan dari literatur-literatur yang berkaitan seperti buku, jurnal, makalah, dan laporan penelitian lainnya yang serupa.

Literatur yang diperlukan yaitu tulisan yang memuat tentang sistem pembumian dengan rumusan masalah dan tujuan yang hendak dicapai. Misalnya : buku tentang pembumian, gangguan pembumian, jenis-jenis proteksi listrik, dan sebagainya ; jurnal, makalah, buku ajar, laporan tugas akhir ataupun penelitian yang membahas tentang sistem pembumian maupun gangguan pada pembumian ; dan peraturan-peraturan resmi yang didalamnya mengatur tentang sistem pembumian.

3.3.2 Studi dokumen

Studi dokumen adalah metode pengumpulan data yang meneliti berbagai macam dokumen yang berguna untuk bahan analisis seperti dokumen yang ditulis berdasarkan oleh laporan bulanan atau tahunan PT PLN (Persero) UPT Sulselrabar khususnya pada Transmisi dan Gardu Induk Pare-pare yang merupakan induk dari GI Bakaru.

3.3.3 Wawancara

Wawancara adalah metode pengumpulan data yang dilakukan dengan cara melakukan wawancara (tanya jawab) dengan pihak-pihak yang berhubungan dengan permasalahan yang ditinjau.

Wawancara pada narasumber yang dianggap mampu memberikan informasi mengenai objek yang sedang diteliti. Narasumber yang menjadi sasaran dalam wawancara yaitu seseorang yang mengetahui tentang proteksi khususnya GFR yang digunakan pada Gardu Induk, sistem pembumian serta software yang digunakan untuk melakukan simulasi arus hubung singkat di ETAP 16.0.0 dalam hal ini adalah Supervisor bagian Renev di PT PLN (Persero) UPT Sulselrabar yang ditugaskan untuk mendampingi dan membimbing peneliti dalam menjalankan penelitian di PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Sulselrabar.

3.4 Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dalam kegiatan penelitian diolah terlebih dahulu dengan menggunakan ETAP 16.0.0 dan dianalisis dengan metode kuantitatif dan kualitatif. Hasil yang diperoleh dari pengolahan data tersebut akan menjawab pertanyaan sebagaimana yang dipaparkan pada rumusan masalah.

BAB IV

HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN

4.1 Pembumian Netral Sistem Gardu Induk Bakaru

Pembumian netral sistem pada distribusi tegangan menengah, adalah hubungan secara elektrik antara transformator tenaga atau generator yang mempunyai hubungan belitan Wye (Y) dengan tanah, yang digunakan untuk memperkecil besarnya arus gangguan satu fasa ke tanah dan kenaikan tegangan, saat salah satu fasa terhubung tanah.

Ada berbagai macam pembumian netral sistem yang terpasang pada distribusi tegangan menengah seperti yang di bahas pada Bab II. Namun pembumian yang digunakan pada GI Bakaru yaitu Pembumian Netral melalui Tahanan (Resistans) sebesar 40 ohm. Dalam Standar PLN No. 88 th 1991, mengenai Pembumian Netral pada sistem Distribusi 20 kV, telah diatur besar nilai Tahanan yang digunakan. Yaitu dengan nilai 40 Ohm dan 500 Ohm untuk jaringan SUTM, dan 12 Ohm untuk jaringan SKTM.

Pemilihan tahanan 40 ohm, berdasarkan pada besarnya arus yang melewati tahanan pada saat terjadi gangguan 1 fasa-tanah dengan menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

$$I = \frac{E_{ph}}{R_{NGR}} \text{ Amp}$$

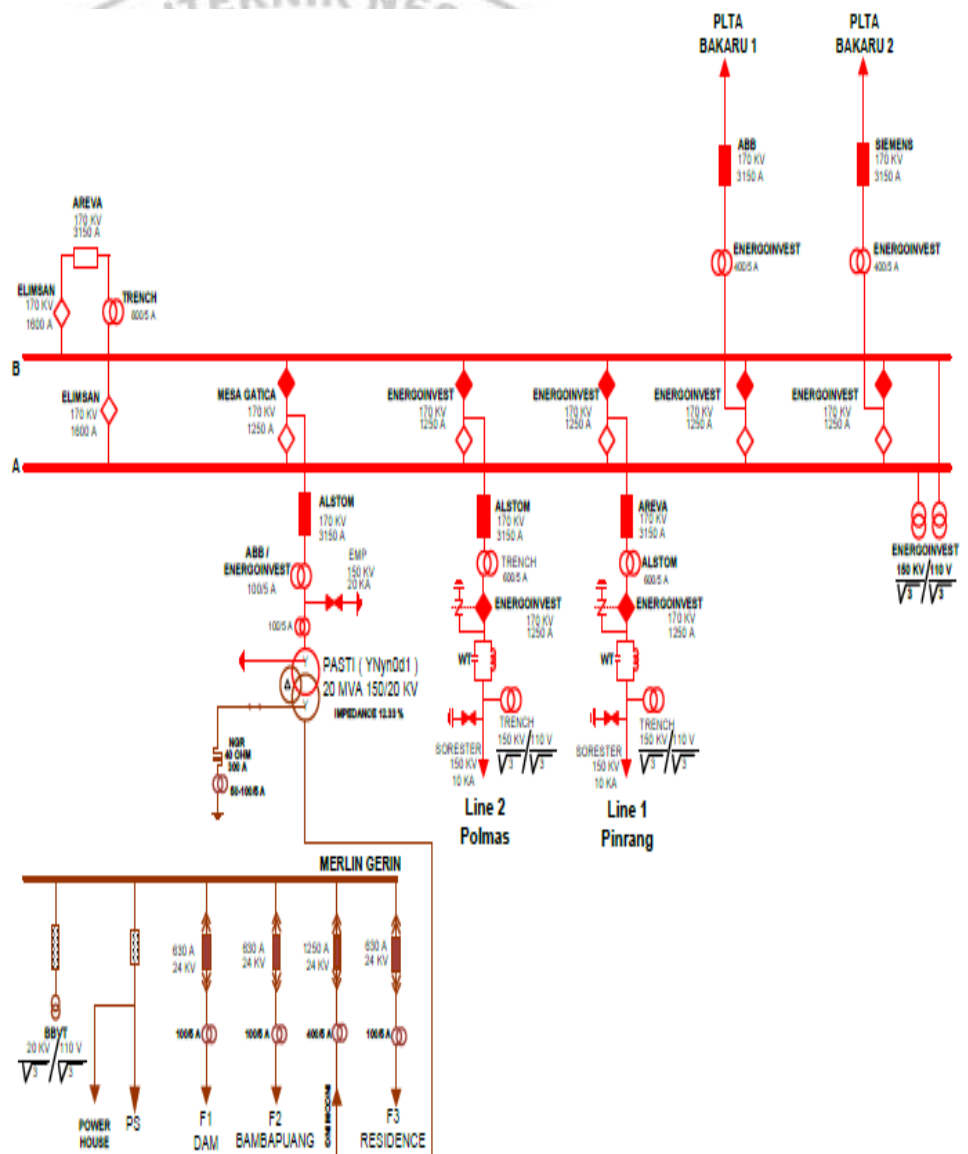
$$I = \frac{20.000/\sqrt{3}}{40} = 288,68 \text{ A}$$

Jadi, jumlah arus yang dapat melewati tahanan maksimal 288,68 A.

4.2 Data Tragi Pare-Pare

4.2.1 Single Line Diagram GI Bakaru

Single line diagram atau diagram satu garis biasanya memuat jalur listrik dari sumber utama (misalkan generator) sampai ke beban (user). *Single line diagram* merupakan ringkasan dari gambar listrik 3 fasa seperti pada gambar di bawah ini

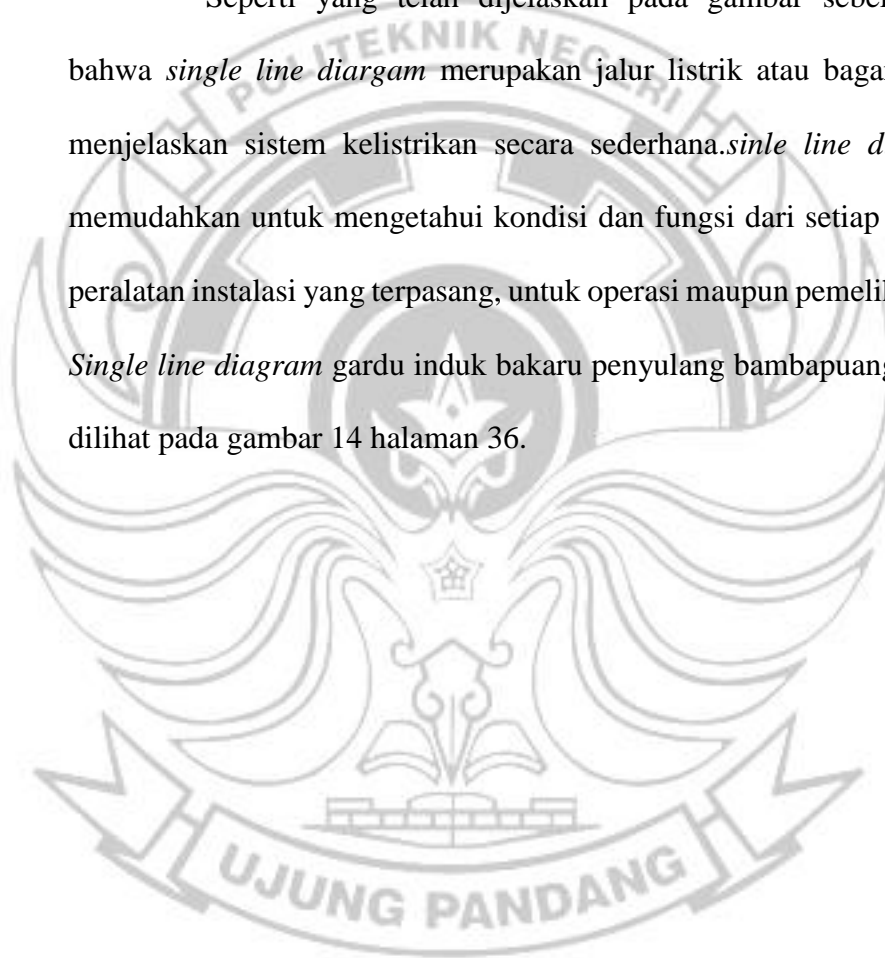


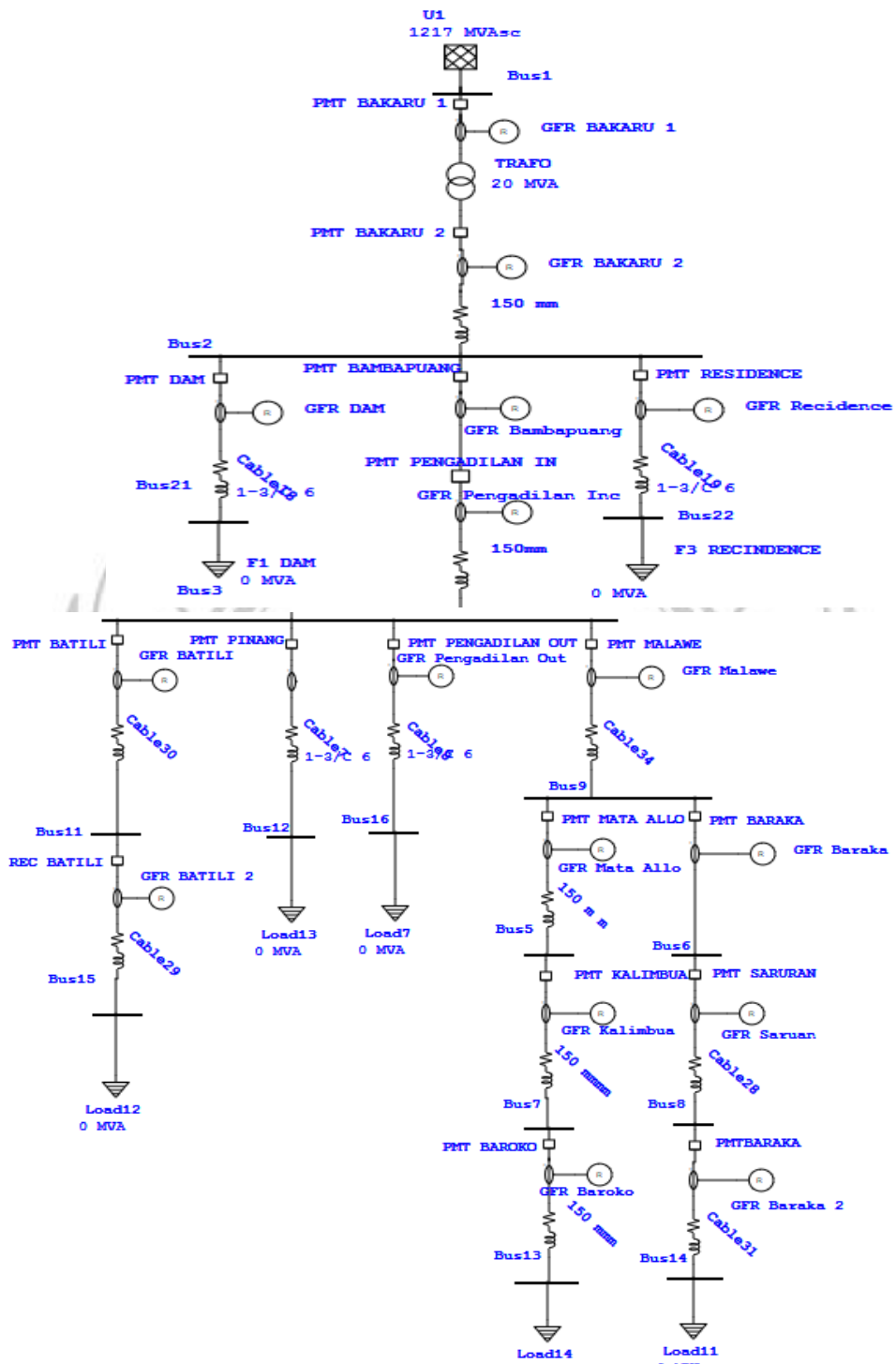
Gambar 13 Single Line Diagram GI Bakaru

Pada gambar 23 adalah *single line diagram* gardu induk bakaru yang dimulai dari 2 buah pembangkit yaitu PLTA Bakaru 1 dan PLTA Bakaru 2 hingga ke beban (user). Namun pada laporan tugas akhir ini yang dibahas pada khususnya adalah penyulang bambapuang.

4.2.2 *Single Line Diagram* Penyulang Bambapuang

Seperti yang telah dijelaskan pada gambar sebelumnya bahwa *single line diagram* merupakan jalur listrik atau bagan yang menjelaskan sistem kelistrikan secara sederhana. *single line diagram* memudahkan untuk mengetahui kondisi dan fungsi dari setiap bagian peralatan instalasi yang terpasang, untuk operasi maupun pemeliharaan. *Single line diagram* gardu induk bakaru penyulang bambapuang dapat dilihat pada gambar 14 halaman 36.





Gambar 14 Single Line Diagram Penyulang BAMBAPUANG

4.2.3 Data transformator GI Bakaru

MERK	: PASTI
Kapasitas	: 20 MVA
Tegangan Primer	: 150 kV
Tegangan Sekunder	: 20 kV
Vektor Group	:YNyn(d1)
Reak X1	: 12.330
Frekuensi	: 50 Hz
I nom	: 577.4 A

4.2.4 Data Proteksi Penyulang dan Proteksi Jaringan Area Pinrang 2018

Data proteksi penyulang dan jaringan dibutuhkan untuk memberikan setting recloser yang terdapat pada simulasi ETAP.

Tabel 2 Data Proteksi Penyulang dan Proteksi Jaringan Area Pinrang 2018

No	Penyulang	Nama Recloser/GH	Recloser/GH	
			Arus (A)	Waktu (s)
a	b	c	d	e
1	F1. Jampue	Recloser Benrangge	200	0.05
			10	0.05
2	F1. Jampue	GH. Jampue (PMT. Garessi)	100	0.1
			15	0.1
3	F1. Jampue	Recloser Sambaparu	60	0.05
			10	0.05
4	F1. Jampue	GH. Jampue (PMT.Kota Jampue)	100	0.1
			15	0.1
5	F2. Kariango	Recloser Bulu	260	0.05
			15	0.05
6	F2. Kariango	Recloser Dolangan/Menro	220	0.05
			20	0.05
7	F3. Tiroang	Recloser Ammasangan	150	0.05
			10	0.05
8	F3. Tiroang	Recloser Pintu Gerbang	120	0.05
			15	0.05
9	F4. Lasinrang	Recloser Corowali	40	0.05
			10	0.05

a	b	c	d	e
10	F5. Langnga	Recloser Cappakala	150	0.05
			10	0.05
11	F6. Cempa	Recloser Sarempo	160	0.05
			10	0.05
12	F6. Cempa	Recloser Wakka	45	0.1
			15	0.1
13	F6. Cempa	Recloser Teppo	60	0.1
			15	0.1
14	F7. Pekkabata	Recloser Kabalangan	200	0.05
			15	0.05
15	F7. Pekkabata	Recloser Salusape	30	0.05
			10	0.05
16	F8. Kartini	Tidak ada		
17	F1. DAM	Tidak ada		
18	F2. Bambapuang	Recloser Malawe	250	0.05
			25	0.05
19	F2. Bambapuang	GH. Lakawan (PMT Baraka)	100	0.05
			30	0.05
20	F2. Bambapuang	Recloser Saruran	200	0.06
			20	0.06
21	F2. Bambapuang	Recloser Baraka		
22	F2. Bambapuang	GH Lakawan (PMT Mata Allo)	150	0.15
			40	0.09
23	F2. Bambapuang	Recloser Kalimbua	120	0.05
			20	0.05
24	F2. Bambapuang	Recloser Baroko	100	0.05
			10	0.05
25	F3. Residence	Tidak ada		
26	F3. Enrekang	Recloser Puncak	175	0.05
			20	0.05
27	F3. Enrekang	GH. Enrekang (PMT-Pengadilan-In)	150	0.1
			30	0.09
28	F3. Enrekang	GH. Enrekang (PMT-Pengadilan-Out)	40	0.09
			15	0.09
29	F3. Enrekang	GH. Enrekang (PMT. Batili)	60	0.09
			20	0.09

4.2.5 Data Peralatan dan Setting Relay Back Up Bay Kubikel 20 kV

Tabel 3 Data Peralatan dan Setting Relay Back Up Bay Kubikel 20 kV

GARDU INDUK	BAY	RASIO CT	RELE	SETTING	
				ARUS	WAKTU (s)
				SET RELAY (A)	
BAKARU	F1. DAM	100/5	OCR	1	0,5
			GFR	0,5	0,1
	F2. BAMBAPUANG	400/5	OCR	5	0,15
			GFR	0,5	0,13
	F3. RESIDENCE	100/5	OCR	1	0,5
			GFR	0,5	0,1

Tabel 3 di atas menunjukkan setting CT dan relay yang digunakan pada ETAP untuk simulasi. Untuk Penyulang Bambapuang memiliki ratio CT sebesar 400/5 dengan setting relay GFR 0,5 (arus set relay) dan 0,5 (waktu).

4.2.6 Data Jaringan Distribusi 20 kV

Tabel 4 Data Impedansi Kabel Jaringan 20 kV GI Bakaru Penyulang Bambapuang

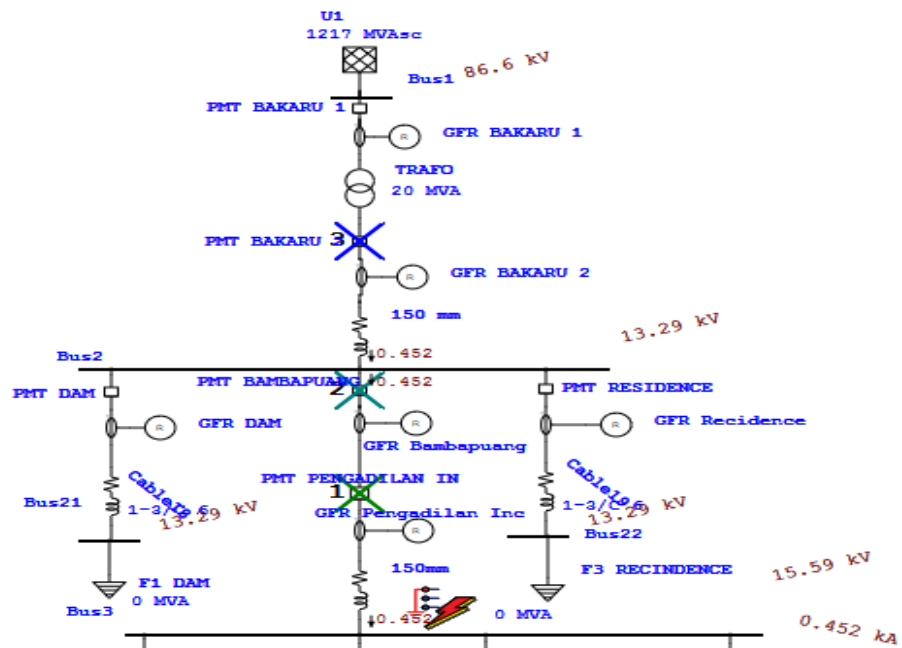
A3C 150 mm ²	Data per km		57 km	
	R	jX	R	Jx
Z ₁ /km	0.2162	0.3305	11.742	5.928
Z ₀ /km	0.3631	1.618	20.292	17.784

Pada table 4 di atas menunjukkan jenis penghantar yang digunakan yaitu A3C 150 mm². Dimana impedansi urutan positif dan negatif Z₁/km sebesar 0.2162 + j0,3305. Impedansi urutan nol Z₀/km sebesar 0.3631 + j1.618. dan impedansi urutan positif dan negatif Z₁ 57 km sebesar 11.742 + j5.928 sedangkan impedansi urutan nol Z₀ sebesar 20.292 + j 17.784

4.3 Analisis Arus Hubung Singkat Fasa Tanah

4.3.1 Simulasi menggunakan software ETAP 16.0.0

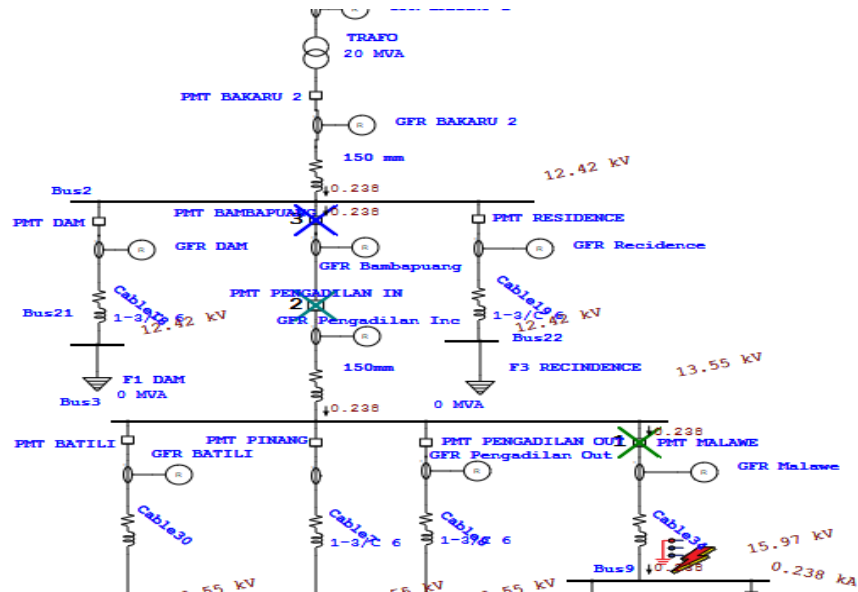
- a. Simulasi arus hubung singkat pada jarak 14,25 km



Gambar 15 Tampilan Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat pada Jarak 14,25 km

Pada gambar 15 di atas menunjukkan suatu gangguan pada jarak 14,25 km menghasilkan arus hubung singkat sebesar 0,452 kA. Arus hubung singkat tersebut di deteksi oleh relay GFR (*Ground Fault Relay*) sehingga relay tersebut dapat mentripkan suatu PMT. Dapat dilihat pada gambar 24 relay yang paling dekat dengan lokasi gangguan (GFR Pengadilan In) memerintahkan PMT Pengadilan In untuk trip dan seterusnya.

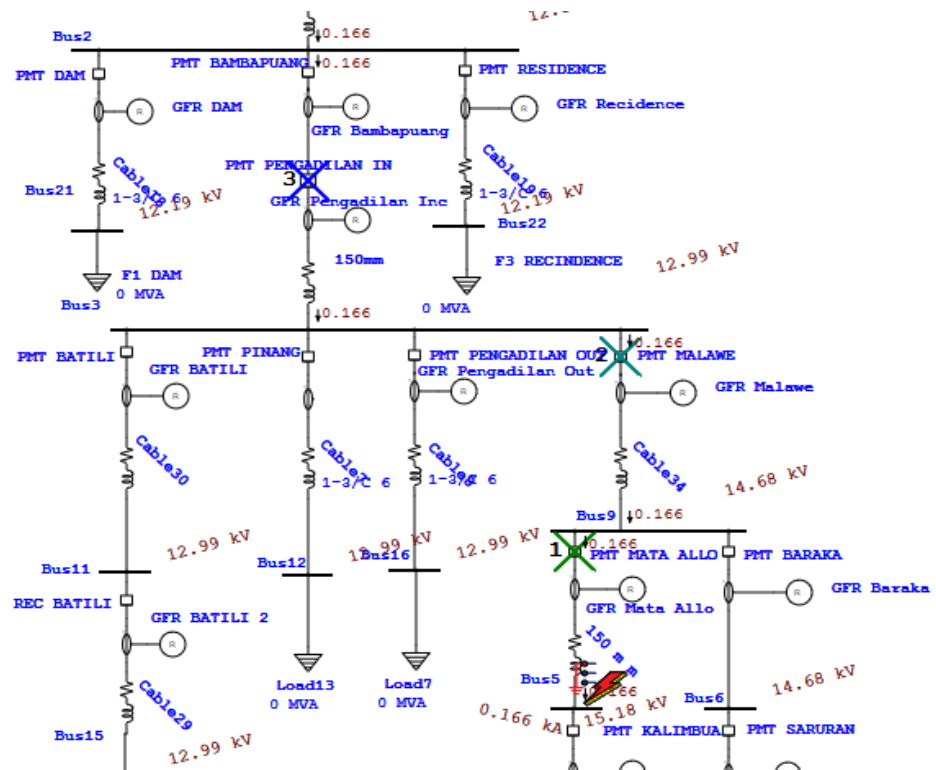
b. Simulasi arus hubung singkat pada jarak 28,5 km



Gambar 16 Tampilan Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat pada Jarak 28,5 km

Pada gambar 16 di atas menunjukkan suatu gangguan pada jarak 28,5 km menghasilkan arus hubung singkat sebesar 0,238 kA. Arus hubung singkat tersebut di deteksi oleh relay GFR (*Ground Fault Relay*) sehingga relay tersebut dapat mentripkan suatu PMT. Dapat dilihat pada gambar 25 relay yang paling dekat dengan lokasi gangguan (GFR Malawe) memerintahkan PMT Malawe untuk trip dan seterusnya.

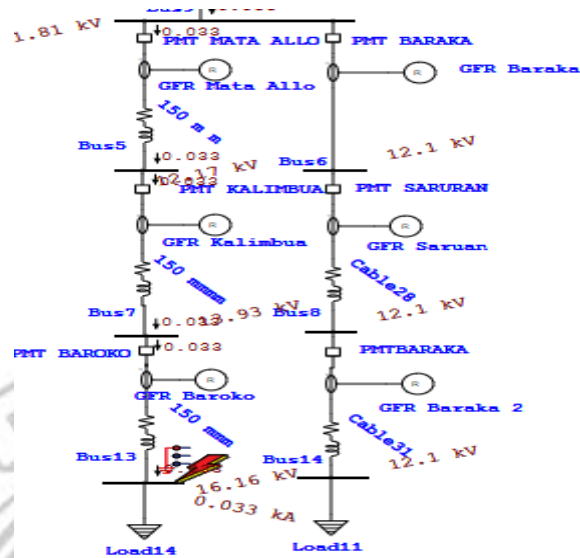
c. Simulasi arus hubung singkat pada jarak 42,75 km



Gambar 17 Tampilan Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat pada Jarak 42,75 km

Pada gambar 17 di atas menunjukkan suatu gangguan pada jarak 42,75 km menghasilkan arus hubung singkat sebesar 0,166 kA. Arus hubung singkat tersebut di deteksi oleh relay GFR (*Ground Fault Relay*) sehingga relay tersebut dapat mentripkan suatu PMT. Dapat dilihat pada gambar 26 relay yang paling dekat dengan lokasi gangguan (GFR Mata Allo) memerintahkan PMT Mata Allo untuk trip dan seterusnya.

d. Simulasi arus hubung singkat pada jarak 57 km



Gambar 18 Tampilan Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat pada Jarak 57 km

Pada gambar 18 di atas menunjukkan suatu gangguan pada jarak 57 km menghasilkan arus hubung singkat sebesar 0,033 kA. Arus hubung singkat tersebut di deteksi oleh relay GFR (*Ground Fault Relay*) namun arus hubung singkat yang terjadi masih pada batas toleransi sehingga PMT tidak trip.

Jadi hasil simulasi arus gangguan hubung singkat dengan menggunakan software etap dengan beberapa jarak yang berbeda adalah sebagai berikut.

Tabel 5 Hasil Simulasi Arus Gangguan Hubung Singkat

Jarak (km)	Ifault (kA)
14,25	0,452
28,5	0,238
42,75	0,166
57	0,033

4.3.2 Perhitungan Manual

a. Menghitung impedansi sumber

Untuk menghitung impedansi sumber sisi bus 20 kV, maka harus dihitung oleh impedansi sumber di bus 150 kV. Adapun data hubung singkat di bus sisi primer 150 kV di Gardu Induk Bakaru adalah sebesar 1217 MVA. Impedansi sumber di bus 150 kV diperoleh dengan persamaan 2 sebagai berikut :

$$Z_s = \frac{V^2}{S_{\text{sisi150kV}}}$$

$$Z_s = \frac{150^2}{1217}$$

$$= 18,48 \text{ ohm}$$

Dari persamaan (3) untuk menghitung impedansi sumber di sisi sekunder yaitu di sisi 20 kV maka:

$$Z_s (\text{sisi20kV}) = \frac{V (\text{sisi sekunder trafo})^2}{V (\text{sisi primer trafo})^2} \times Z_s (\text{sisi primer})$$

$$Z_s (\text{sisi20kV}) = \frac{20^2}{150^2} \times 18.48$$

$$= 0.32 \ \Omega (\text{sisi sekunder})$$

b. Menghitung Impedansi Penyulang

Untuk menghitung impedansi penyulang pada titik gangguan yang terjadi pada lokasi gangguan digunakan rumus:

$$Z_{1L} = Z_1 \times L$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= \sqrt{R^2 + X^2} \\ &= \sqrt{0,5793^2 + 1,9485^2} \\ &= \sqrt{4,131} \end{aligned}$$

$$Z_1 = 2,032 \text{ ohm}$$

$$Z_{1L} = Z_1 \times L$$

$$= 2,032 \times 14,25$$

$$= 28,956 \text{ ohm/km}$$

c. Perhitungan Arus Hubung Singkat

$$I_f = \frac{V \sqrt{3}}{Z_{1L} + Z_s}$$

$$I_f = \frac{20 \sqrt{3}}{28,956 + 0,32}$$

$$= \frac{11,56}{29,276}$$

$$= 0,396 \text{ kA}$$

Untuk jarak 28,5 km, 42,75 km, dan 57 km, menggunakan rumus yang sama sehingga diperoleh :

Tabel 6 Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Jarak (km)	Ifault (kA)
14,25	0,394
28,5	0,198
42,75	0,132
57	0,099

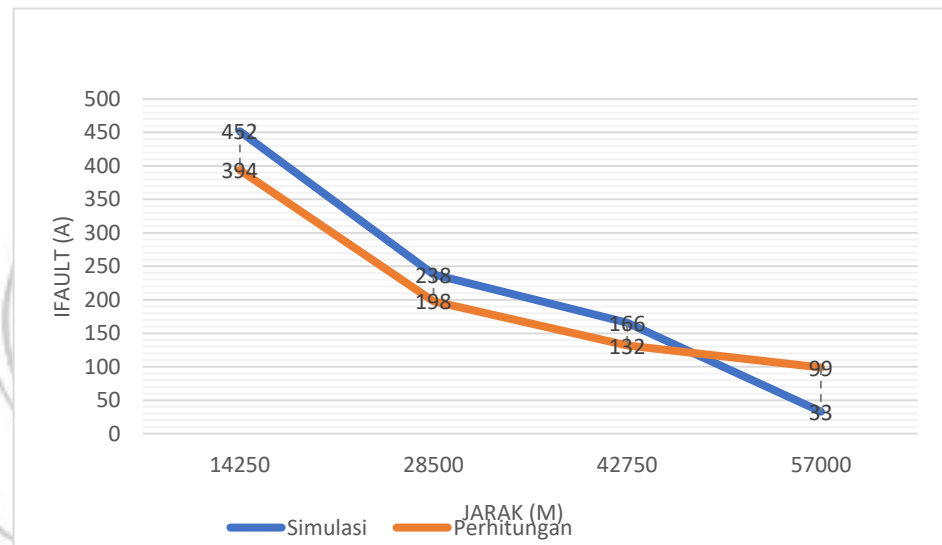
- d. Hasil Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Simulasi dan Perhitungan Manual

Tabel 7 Hasil Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Simulasi dan Perhitungan Manual

Jarak (km)	Ifault (kA)	
	Simulasi	Perhitungan
14,25	0,452	0,394
28,5	0,238	0,198
42,75	0,166	0,132
57	0,033	0,099

4.4 Analisis Perbandingan Nilai Arus Hubung Singkat

Pada grafik di bawah ini dapat dilihat hasil simulasi dan perhitungan yang telah dibahas sebelumnya, maka dapat diketahui besarnya arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada penyulang 20 kV dipengaruhi oleh jarak titik gangguan.



Gambar 19 Grafik Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Simulasi dan Perhitungan

Semakin jauh jarak titik gangguan terhadap panjang saluran maka semakin kecil arus arus gangguan hubung singkat yang terjadi begitupun sebaliknya, semakin dekat jarak titik gangguan terhadap panjang saluran maka semakin besar pula arus gangguan hubung singkat yang terjadi.

Pada grafik dijelaskan, untuk sumbu x merupakan jarak titik gangguan terhadap panjang saluran penyulang dengan jarak 14250 m, 28500 m, 42750 m, dan 57000 m. Sedangkan sumbu y merupakan besar arus gangguan Ifault (A).

Pada grafik menunjukkan hasil simulasi digambarkan dengan garis berwarna biru sedangkan untuk hasil perhitungan digambarkan dengan garis berwarna orange. Dimana dapat dilihat pada jarak 14250 m titik gangguan, letak pertemuan titik sumbu x dan sumbu y pada posisi atas yaitu hasil simulasi dengan nilai sebesar 452 A sedangkan hasil perhitungan dengan nilai sebesar 394 A.

Pada jarak 28500 m titik gangguan, letak pertemuan titik sumbu x dan sumbu y mengalami penurunan dimana hasil simulasi menunjukkan hasil simulasi dengan nilai arus hubung singkat sebesar 238 A sedangkan hasil perhitungan menunjukkan nilai arus hubung singkat sebesar 198 A.

Pada jarak 42750 m titik gangguan, letak pertemuan titik sumbu x dan sumbu y mengalami penurunan dimana hasil simulasi menunjukkan nilai arus hubung singkat sebesar 166 A sedangkan hasil perhitungan menunjukkan nilai arus hubung singkat sebesar 132 A. Dan pada jarak 57000 m titik gangguan, letak pertemuan titik sumbu x dan sumbu y menunjukkan hasil simulasi dengan nilai arus hubung singkat sebesar 33 A dan hasil perhitungan menunjukkan nilai arus hubung singkat sebesar 99 A.

Berdasarkan grafik yang telah dibahas dapat kita ketahui bahwa besarnya suatu arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan. Dan dari perbandingan hasil simulasi dan hasil perhitungan tersebut terlihat bahwa besarnya nilai arus gangguan hubung singkat dari kedua cara tersebut tidak jauh berbeda.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pembahasan tentang pembumian dan arus hubung singkat pada jaringan tegangan menengah Gardu Induk Bakaru Penyulang Bambapuung telah diuraikan pada Laporan Tugas Akhir ini, selanjutnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pembumian yang digunakan di Gardu Induk Bakaru yaitu pembumian netral melalui tahanan (*Neutral Grounding Resistance*) sebesar 40 Ohm.
2. Dari hasil simulasi dan perhitungan arus hubung singkat pada jarak 14250 m nilai arus hubung singkat pada simulasi sebesar 452 A dan nilai pada perhitungan manual sebesar 394 A. Pada jarak 28500 m nilai arus hubung singkat pada simulasi dan perhitungan sebesar 238 dan 198 A. Pada jarak 42750 m nilai arus hubung singkat pada simulasi dan perhitungan sebesar 166 dan 132 A dan pada jarak 57000 m menghasilkan arus hubung singkat pada simulasi dan perhitungan sebesar 33 dan 99 A. Jadi dapat diketahui bahwa semai kn jauh jarak titik gangguan terhadap panjang saluran maka semakin kecil arus gangguan hubung singkat yang terjadi begitupula sebaliknya.

5.2 Saran

Adapun saran berdasarkan pembahasan tugas akhir ini, yaitu sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil dan simulasi, nilai arus gangguan hubung singkat yang terjadi penting untuk diketahui oleh pihak PT. PLN (Persero) sebagai referensi terhadap pemasangan dan penggunaan sistem proteksi yang tepat.
2. Penelitian ini menggunakan simulasi dengan *software* ETAP 16.0.0 sehingga bagi mahasiswa yang ingin melakukan perhitungan gangguan hubung singkat pada penyulang 20 kV sebaiknya dikembangkan dengan menggunakan *software* lain dengan metode yang lebih baik lagi,

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, Disa. 2015. *Analisa Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang 20 KV di GI Tello*. Makassar: Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Arisantha, Grace dan Edy Hamdani. 2017. *Analisa Proteksi Arus Lebih Gangguan Tanah pada Feeder Gardu Induk Garuda Sakti*. Pekanbaru: Jurnal. Vol. 4, No. 1
- Batarigau, Andi Refa dan Muhammad Tamzil. 2013. “Analisis Gangguan Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 KV Di Area Kendari”. Makassar : Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Hermanto, Farid dkk. 2013. *Analisa Jatuh Tegangan dan Arus Hubung Singkat pada Jaringan Tegangan Menengah PT RUM*. Semarang: Jurnal. Vol. 2, No.4
- Hutauruk, T.S. 1991. *Pengentanahan Netral Sistem Tenaga & Pengentanahan Peralatan*. Jakarta: Erlangga.
- Komari, H. 1976. *Pentanahan Sistem Tenaga Listrik*. ISTN Jakarta
- Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Nova, Tirza dan Syahril. 2013. “Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR Pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator di Perusahaan ‘X’”. *Jurnal Ilmiah Reka Elkomika*, I (1) : 76 – 85
<http://download.portalgaruda.org/article.php?article=57360&val=4287>
- Novikaginganto. “Materi Etap”. 20 Februari 2018.
<https://novikaginganto.wordpress.com/2012/03/24/etap-electric-transient-analysis-program>
- Stevenson, William D. 1990. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Edisi 4. Jakarta: Erlangga
- PLN. 2010. *Buku 1 Kriteria Disain Enjinereng Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta
- PLN. 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar*. Jakarta
- Tim Penyusun Politeknik Negeri Ujung Pandang. 2015. *Pedoman Penulisan Proposal dan Laporan Tugas Akhir Program Diploma Tiga (D-3) Bidang Rekayasa dan Tata Niaga*. Makassar.

LAMPIRAN



NO	LOKASI PENYULANG	NAMA PENYULANG	DATA JTM							BEBAN TERTINGGI						KETERANGAN
			TEG	KONDUKTOR		JARAK	I (AMPERE)			BULAN INI			PERNAH DICAPAI			
				(KV)	JENIS		MM2	(km)	Nom	CT	OCR	Tgl / Jam	(Amp)	%In	Tgl/bln/th/Jam	
			(Amp)			(Amp)			(Amp)							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	17	18	19	20
I	GI BKARU	F1 DAM	21	A3C	150		100	100/5	100	-	-	0.00	01/08/11/11.00	0.20	0.20	
		F2 Bambapuang	21	A3C	150/95/70		400	400/5	400	Tgl 08/19:30	148.00	37.00	19/10/15/19.00	257.00	64.25	
		F3 Residence	21	A3C	150		100	100/5	100	-	-	0.00	01/08/11/11.00	11.00	11.00	
II	GI PINRG	F1 Jampue	21	A3C	150/95/70		300	300/5	300	Tgl 05/11:00	127.00	42.33	20/02/17/19.30	177.00	59.00	
		F2 Kariango	21	A3C	150		600	600/5	600	Tgl 27/10:00	133.00	22.17	18/09/17/15.30	173.00	28.83	
		F3 Tiroang	21	A3C	150/95/70		600	600/5	600	Tgl 27/19:30	162.00	27.00	10/11/17/18.00	255.00	42.50	
		F4 Lasinrang	21	A3C	150		600	600/5	600	Tgl 29/19:00	108.00	18.00	22/12/14/18.30	183.00	30.50	
		F5 Langnga	21	A3C	150/95/70		600	600/5	600	Tgl 04/18:30	58.00	9.67	28/03/15/19.00	96.00	16.00	
		F6 Cempa	21	A3C	150/95/70		600	600/5	600	Tgl 03/19:00	99.00	16.50	12/01/13/19.00	227.00	37.83	
		F7 Pekkabata	21	A3C	150/95/70		600	600/5	600	Tgl 18/19:00	142.00	23.67	20/09/16/18.00	203.00	33.83	
		F8 Kartini	21	A3C	150/95/70		600	600/5	600	Tgl 29/19:00	93.00	15.50	20/09/16/18.30	189.00	31.50	
III	GI PPARE	F1 Soreang	21	A3C	150		300	300/5	300	Tgl 29/19:00	101.00	33.67	26/11/14/19:00	264.00	88.00	
		F2 Lasiming	21	A3C	150/95/70		300	300/5	300	Tgl 29/19:00	79.00	26.33	8/05/16/19:30	147.00	49.00	
		F3 Cappa Galung	21	A3C	150/95		300	300/5	300	Tgl 31/19:00	72.00	24.00	10/05/17/19:00	172.00	57.33	
		F4 Pelanduk	21	A3C	150/95		200	200/5	200	Tgl 09/19:00	101.00	50.50	19/10/11/18.30	182.00	91.00	
		F5 Bojo	21	A3C	150/95/70		200	200/5	200	Tgl 31/19:00	118.00	59.00	18/10/11/18.30	179.00	89.50	
		F6 Lapadde	21	A3C	150/95/70		200	200/5	200	Tgl 09/19:00	125.00	62.50	9/05/16/19.30	160.00	80.00	
		F7 Lompoe	21	A3C	150/95/70		300	300/5	300	Tgl 23/19:30	83.00	27.67	23/02/18/19:30	83.00	27.67	
IV	GI BARRU	F1 Buludua	21	A3C	150/95		240	240/5	240	Tgl 31/19:30	70.00	29.17	10/01/13/19.30	126.00	52.50	
		F3 Takkalasi	21	A3C	150/95		240	240/5	240	Tgl 02/19:00	53.00	22.08	10/03/15/19.00	141.00	58.75	
		F5 Lalolang	21	A3C	150		300	300/5	300	Tgl 03/19:30	125.00	41.67	12/01/18/18.00	198.00	66.00	
		F6 Barru	21	A3C	150		300	300/5	300	Tgl 23/19:30	55.00	18.33	10/07/17/19:00	116.00	38.67	
IV	GI BALUSU	F1 Madello	21	A3C	150/95		300	300/5	300	Tgl 05/19:00	15.00	5.00	Tgl 18/19:00	16.20	5.40	
		F2 Mangkoso	21	A3C	150/95		300	300/5	300	Tgl 29/19:30	75.00	25.00	Tgl 11/11/18:00	90.00	30.00	
		F3 Pitu	21	A3C			300	300/5	300	-	-	-	-	-	-	

No.	AREA	GARDU INDUK	NAMA PENYULANG	RANGKING	JUMLAH GANGGUAN		KETERANGAN
					TRIP (kali)	LAMA (menit)	
1	PINRANG	BAKARU	F2 BAMBAPUANG	I	16	95.00	
2	PINRANG	PINRANG	F3 TIROANG	II	12	113.00	
3	PINRANG	PINRANG	F2 KARIANGO	III	10	27.00	



mm ²	AAAC			
	Z ₁ ,Z ₂		Z ₀	
	R ₁	jx ₁	R ₀	jx ₀
1	2	3	4	5
16	2,0161	0,4036	2,1641	1,6911
25	0,9217	0,3790	1,0697	1,6695
50	0,6452	0,3678	0,7932	1,6553
70	0,4608	0,3572	0,6088	1,6447
95	0,3396	0,3449	0,4876	1,6324
120	0,2688	0,3375	0,4168	1,6251
150	0,2162	0,3305	0,3631	1,6180
185	0,1744	0,3239	0,3224	1,6114
240	0,1344	0,3158	0,2824	1,6003



km	
0.57	0%
2.85	5%
5.7	10%
8.55	15%
11.4	20%
14.25	25%
17.1	30%
19.95	35%
22.8	40%
25.65	45%
28.5	50%
31.35	55%
34.2	60%
37.05	65%
39.9	70%
42.75	75%
45.6	80%
48.45	85%
51.3	90%
54.15	95%
57	100%

