

**SKRIPSI**

**ANALISIS KOORDINASI RELAY ARUS LEBIH TERHADAP  
GANGGUAN HUBUNG SINGKAT UNTUK MASING-MASING FEEDER  
YANG TERPASANG PADA GARDU INDUK**



**OLEH :**

**HARIANTO**

**105821103417**

**MUHAMMAD SAID.S**

**105821105317**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2023/2024**

**HALAMAN JUDUL**

**ANALISIS KORDINASI RELAY ARUS LEBIH TERHADAP GANGGUAN  
HUBUNG SINGKAT UNTUK MASING-MASING FEEDER YANG  
TERPASANG PADA GARDU INDUK**

Skripsi

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik

**HARIANTO**

**105821103417**

**MUHAMMAD SAID. S**

**105821105317**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2023/2024**



**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**  
**FAKULTAS TEKNIK**



**Kampus  
Merdeka**  
INDONESIA JAYA

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3  
Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221  
Website : <https://teknik.unismuh.ac.id>, Email : [teknik@unismuh.co.id](mailto:teknik@unismuh.co.id)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS KOORDINASI RELAY ARUS LEBIH TERHADAP GANGGUAN HUBUNG SINGKAT UNTUK MASING-MASING FEEDER YANG TERPASANG PADA GARDU INDUK**

Nama : 1. HARIANTO  
2. MUHAMMAD SAID. S

Stambuk : 1. 105 82 11034 17  
2. 105 82 11053 17

Makassar, 31 Agustus 2023

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

Pembimbing II

Dr. Ir. Zahir Zalnuddin, M.Sc

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro



Ir. Adriani, S.T., M.T., I.PM  
NBM : 1044 202



**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**  
**FAKULTAS TEKNIK**



**Kampus  
Merdeka**  
INDONESIA JAYA

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : <https://teknik.unismuh.ac.id>, Email : [teknik@unismuh.co.id](mailto:teknik@unismuh.co.id)

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

**PENGESAHAN**

Skripsi atas nama HARIANTO dengan nomor Induk Mahasiswa 105 82 11034 17 dan MUHAMMAD SAID. S dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11053 17, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0012/SK-Y/20201/091004/2023, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Rabu, 30 Agustus 2023.

Panitia Ujian :

- |   |  |                   |
|---|--|-------------------|
| 1. Pengawas Umum  | Makassar,  | 15 Shajar 1445 H  |
| a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar                 |  | 31 Agustus 2023 M |
| Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag                                | :  | .....             |
| b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin             |  |                   |
| Prof. Dr. Eng. Muhammad Istan Ramli, S.T., M.T., ASEAN, Eng | :  | .....             |
| 2. Penguji  |  |                   |
| a. Ketua  | : Dr. Eng. Ir. H. Zulfan Basri Hasanuddin, M.Eng | : .....           |
| b. Sekretaris   | : Anugrah, S.T., M.M                             | : .....           |
| 3. Anggota  | : 1. Dr. Umar Kati, S.T., M.T                    | : .....           |
|   | : 2. Ir. Adrianl, S.T., M.T., IPM                | : .....           |
|   | : 3. Dr. Ir. Hj. Hafsah Nirwana, M.T             | : .....           |

Mengetahui :

Pembimbing I

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

Pembimbing II

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc



Dekan

Dr. Hj. Nurnawaty, S.T., M.T., IPM

NBM : 795 108

**ANALISIS KOORDINASI RELAY ARUS LEBIH TRHADAP  
GANGGUAN HUBUNG SINGKAT UNTUK MASING-MASING FEEDER  
YANG TERPASANG PADA GARDU INDUK**

**HARIANTO**

**MUHAMMAD SAID. S**

**RIZAL AHDIYAT DUYO, S.T., M.T ( PEMBIMBING I )**

**DR. IR. ZAHIR ZAINUDDIN, M.Sc ( PEMBIMBING II )**

**ABSTRAK**

Abstrak : Harianto dan Muhammad Said.S (2023) Analisis Koordinasi Relay Arus Lebih Terhadap Gangguan Hubung Singkat Untuk Masing-Masing Feeder Yang Terpasang Pada Gardu Induk, Mengetahui sistem proteksi arus lebih pada sisi 20 kV. Menganalisis sistem proteksi pada sisi 20 kV di gardu induk Pare-pare dan Menentukan nilai setelan arus dan waktu kerja relai arus lebih. Metode yang dipergunakan pada penelitiann ini adalah mengadakan penelitian dan pengambilan data di dilaksanakan di gardu induk Pare-pare. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah. koordinasi arus lebih feeder pada sisi 20 kV di GI Fare-pare dengan baik, berdasarkan data-data yang ada seperti di atas diperlukan penyetelan arus dan waktu kerja pada relai arus lebih dengan pemilihan karakteristik standar inverse (normally inverse) sebagai berikut: Feeder Pelanduk I set = 2,1 A Tms = 0,134 Feeder Soreang I set = 2,73 A Tms = 0,137 Feeder Bojo 1 set = 3,045 A Tms = 0,108 Feeder Pangsidi I set = 2,1 A Tms = 0,15 Sisi 20 KV dari trafo II set = 4,044 A Tms = 0,16. Dari hasil analisa perhitungan setelan relai arus lebih gangguan arus hubung singkat untuk masing-masing feeder di mana setelan sebelumnya yang ada di gardu induk Fare-pare 0,15 maka arus dirubah ke nilai setelan yang memberikan kerja relai yang lebih selektif di mana nilai Tms itu adalah:Feeder Pelanduk : Tms = 0,134 Feeder Soreang :Tms = 0,137 Feeder Bojo: Tms = 0,108nFeeder Pangsidi : Tms = 0,15 Sisi 20 kV: Tms = 0,16. Jadi koordinasi waktu pemutusan relai arus lebih pada sisi 20 kV, haras memberi kesempatan relai pada setiap teeder bekerja lebih dahulu agar bila terjadi gangguan hubung singkat di feeder tersebut, maka feeder itu saja yang trip. Hal ini dapat terlihat pada nilai Tms di atas waktu pemutusan di sisi 20 kV dengan feeder lainnya selisih waktu kerja pemutusannya berbeda.

**Kata kunci ; Relay, Arus, Feeder dan Gardu Induk**

**COORDINATION ANALYSIS OF OVERCURRENT RELAYS AGAINST  
SHORT CIRCUIT FAULTS FOR EACH FEEDER INSTALLED AT THE  
SUBSTATION**

**HARIANTO**

**MUHAMMAD SAID. S**

**RIZAL AHDIYAT DUYO, S.T., M.T ( SUPERVISOR I )**

**DR. IR. ZAHIR ZAINUDDIN, M.Sc ( SUPERVISOR II )**

**ABSTRACT**

*Abstract: Harianto and Muhammad Said.S (2023) Coordination Analysis of Overcurrent Relays Against Short Circuit Interference for Each Feeder Installed at the Substation, Knowing the Overcurrent Protection System on the 20 kV side. at Pare-pare substation and Determine the current setting value and overcurrent relay working time. The method used in this research is to conduct research and data collection at the Pare-pare substation. The results obtained in this study are. Feeder overcurrent coordination on the 20 kV side at GI Fare-pare is good, based on existing data as above, it is necessary to adjust the current and working time on the overcurrent relay with the selection of standard inverse characteristics (normally inverse) as follows: : Feeder Pelanduk I set = 2.1 A Tms = 0.134 Feeder Soreang I set = 2.73 A Tms = 0.137 Feeder Bojo I set = 3.045 A Tms = 0.108 Feeder Pangsid I set = 2.1 A Tms = 0.15 Side 20 KV of transformer II set = 4.044 A Tms = 0.16. From the analysis of the calculation of the short circuit current intercurrent fault relay setting for each feeder where the previous setting at the Fare-pare substation was 0.15, the current was changed to a setting value that provided more selective relay work where the Tms value was: Feeder Pelanduk : Tms = 0.134 Feeder Soreang : Tms = 0.137 Feeder Bojo: Tms = 0.108nFeeder Pangsid : Tms = 0.15 Side 20 kV: Tms = 0.16. So the coordination of the disconnection time of the overcurrent relay on the 20 kV side, has gives the relay the opportunity to work first so that if there is a short circuit fault in the feeder, then the feeder alone trips. This can be seen in the Tms value above the disconnection time on the 20 kV side with other feeders, the difference in disconnection work time is different.*

**Keywords; Relays, Currents, Feeders and Substations**

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatu

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rahmat dan Hidayah Nyalah sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian program studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir adalah **:"Analisis Koordinasi Relay Arus Lebih Terhadap Gangguan Hubung Singkat Untuk Masing-Masing Feeder Yang Terpasang Pada Gardu Induk"**

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulis maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segalan ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H Ambo Asse, M.Ag. Selaku Rektro Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Ibu. DR. Ir. Hj. Nurnawaty, S.T., M.T. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Ibu. Ir. Adriani, S.T., M.T.,IPM sebagai Ketua dan Ibu. Ir. Rahmania, S.T., M.T, Sebagai Sekretaris Program studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

4. Bapak. Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T, selaku Pembimbing I dan Bapak. DR. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc, selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
5. Bapak dan ibu dosen serta staf pegawai pada fakultas teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutama dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
7. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa fakultas teknik terkhusus angkatan 2017 yang dengan keakraban dan persaudaraan banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Aamiin.

Makassar, September 2023

## DAFTAR ISI

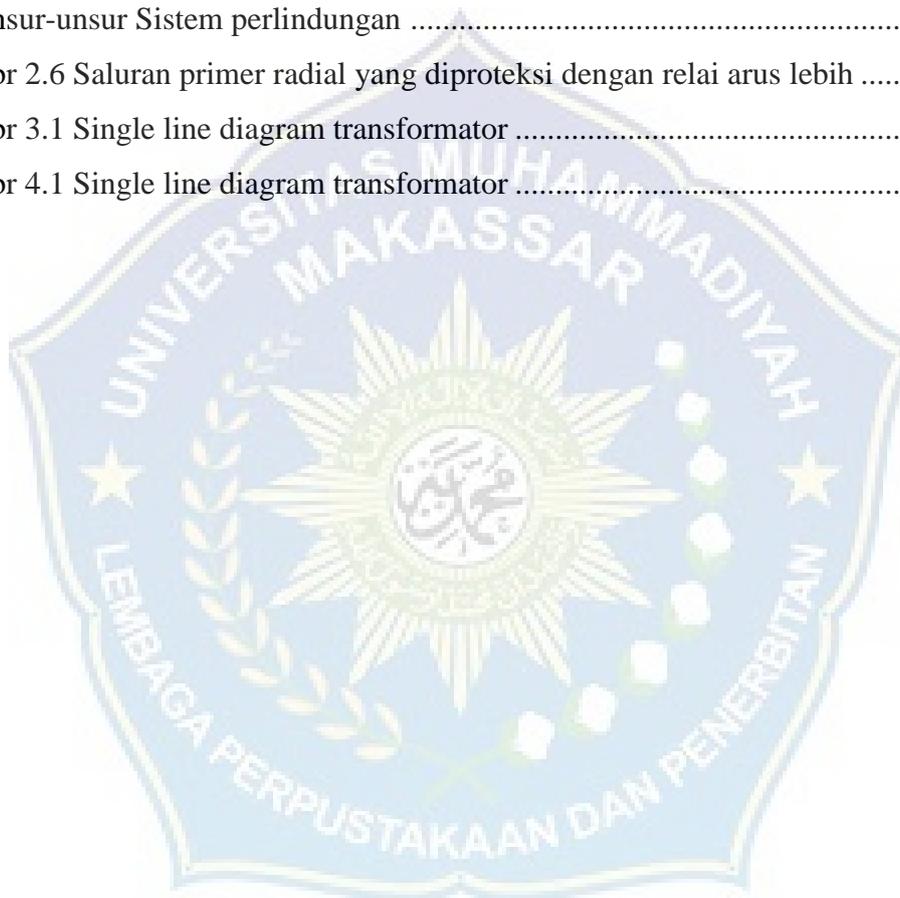
<b>SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PENGESAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Rumusan Masalah .....	1
C. Tujuan Penelitian .....	2
D. Batasan Masalah .....	2
E. Manfaat .....	2
F. Metode Peneltian .....	3
G. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
<b>A. Sistem Jaringan Distribusi Primer</b> .....	<b>5</b>
1. Konfigurasi jaringan radial .....	5
2. Konfigurasi jaringan loop .....	6
3. Konfigurasi jaringan grid .....	7
4. Konfigurasi jaringan spindle .....	8
<b>B. Bagian-bagian Sistem Distribusi</b> .....	<b>9</b>
<b>C. Gangguan Pada Sistem Distribusi</b> .....	<b>10</b>
1. Sumber gangguan .....	10
2. Jenis-Jenis gangguan .....	11
<b>D. Sistem Proteksi</b> .....	<b>13</b>
1. Sifat-Sifat sistem proteksi .....	13

2. Fungsi sistem proteksi .....	13
3. Prinsip kerja dari system proteksi arus lebih .....	15
4. Pengaman utama dan pengaman cadangan.....	16
5. Fungsi persyaratan relai pengaman.....	17
<b>E. Kegagalan pada system pengaman.....</b>	<b>20</b>
<b>F. Selektivitas relai arus lebih .....</b>	<b>20</b>
<b>G. Impedansi urutan pada unsur rangkaian.....</b>	<b>23</b>
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
<b>A. Waktu dan tempat .....</b>	<b>25</b>
a. Waktu.....	25
b. Tempat .....	25
<b>B. Alat dan Bahan .....</b>	<b>25</b>
a. Alat .....	25
b. Bahan .....	25
<b>C. Metode Penelitian.....</b>	<b>26</b>
<b>D. Langkah- Langkah Penelitian .....</b>	<b>26</b>
1. Metode Pustaka.....	26
2. Metode penelitian.....	26
3. Metode diskusi/wawancara.....	26
<b>E. Gambar Blok Diagram .....</b>	<b>27</b>
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
<b>A. Analisa perhitungan.....</b>	<b>28</b>
<b>B. Data hasil penelitian .....</b>	<b>29</b>
<b>C. Analisa perhitungan.....</b>	<b>32</b>
1. Perhitungan .....	34
2. Perhitungan reaktansi trafo .....	35
3. Perhitungan arus gangguan hubung singkat pada feeder pelanduk .....	35
a. Perhitungan impedansi feeder pelanduk .....	35
b. Perhitungan impedansi ekivalen feeders.....	36
c. Perhitungan arus gangguan hubung singkat.....	37
4. Perhitungan arus hubung singkat feeder soreng .....	40

a. Perhitung impendasi feeder soreng .....	40
b. Perhitung impendasi ekivalen feeder soreng .....	40
c. Perhitung arus gangguan hubung singkat feeder soreng.....	41
5. Perhitungan arus hubung singkat feeder bojo .....	41
6. Perhitung arus hubung singkat feeder pangsid .....	42
<b>D. Perhitung koordinasi relay arus lebih dan relai gangguan fasa tanah (GFR) .....</b>	<b>44</b>
1. Perhitung setelah relai arus lebih masing-masing feeder.....	44
a. Perhitung setelah relai arus lebih feeder pelanduk.....	44
b. Perhitung setelah relai arus lebih feeder soreng.....	46
c. Perhitung setelah relai arus lebih feeder bojo .....	46
d. Perhitung setelah relai arus lebih feeder pangsid.....	47
2. Perhitung setelah relai arus lebih pada sisi 20 kv dari trfo daya.....	47
3. Perhitung setelah relai gangguan fasa-tanah (GFR) masing-maing feeder .....	50
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>52</b>
A. Kesimpulan .....	52
B. Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>55</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gbr 2.1 Konfigurasi Jaringan Radial .....	6
Gbr2.2 Konfigurasi Jaringan Loop .....	7
Gbr 2.3 Konfigurasi Jaringan Grid .....	8
Gbr 2.4 Konfigurasi Jaringan Spindel .....	9
Gbr 2.5 Diagram Segaris yang Menunjukkan Dua Saluran Transmisi dan Unsur-unsur Sistem perlindungan .....	16
Gbr 2.6 Saluran primer radial yang diproteksi dengan relai arus lebih .....	21
Gbr 3.1 Single line diagram transformator .....	27
Gbr 4.1 Single line diagram transformator .....	32



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Impedansi Ekuivalen Feeder Soreang .....	40
Tabel 4.2 Arus Gangguan Hubung Singkat Feeder Soreng .....	41
Tabel 4.3 Impedansi Ekuivalen Feeder Bojo .....	41
Tabel 4.4 Arus Gangguan Hubung Singkat Feeder Bojo .....	42
Tabel 4.5 Impedansi Ekuivalen Feeder Pangsid .....	43
Tabel 4.6 Arus Gangguan Hubung Singkat Feeder Pangsid .....	43



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang Masalah**

Dampak dari globalisasi dan perdagangan bebas yang harus dihadapi sekarang adalah persaingan yang makin ketat dalam dunia usaha perdagangan dan industri serta jasa. Untuk meningkatkan daya saing tersebut, maka segala usaha harus dilakukan, termasuk di dalamnya efisiensi. PLN sebagai pemasok daya listrik di Indonesia pasti akan menghadapi tuntutan peningkatan kehandalan yang harus terus-menerus di samping efisiensinya.

Penerapan proteksi di dalam sistem tenaga listrik adalah untuk memperkecil daerah (zone) gangguan kerugian/kerusakan, agar gangguan dapat dihindari atau dikurangi sekecil mungkin. Pada akhirnya kontinuitas penyaluran tenaga listrik tetap dapat dipertahankan. Dengan sistem proteksi yang besar dan bekerja cepat, selektif dan handal maka kerusakan yang mungkin terjadi akibat gangguan atau kerusakan sistem peralatan yang dilalui arus gangguan dapat dihindari, sehingga kestabilan sistem dapat dipertahankan.

Sebaliknya jika proteksi gagal bekerja, arus gangguannya akan berlangsung dalam waktu yang lama, sehingga menimbulkan panas yang berlebihan. Panas yang ditimbulkannya dapat mengakibatkan kebakaran, ledakan ataupun kerusakan total pada peralatan, instalasi listrik dan menimbulkan ketidakstabilan sistem.

#### **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka perlu dibuat rumusan masalah. Adapun rumusan masalah yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah sistem proteksi arus lebih pada sisi 20 kV.
2. Bagaimanakah analisis sistem proteksi arus lebih pada sisi 20 kV.

3. Berapakah nilai setelan arus dan waktu kerja relai arus lebih.

### **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui sistem proteksi arus lebih pada sisi 20 kV.
- b. Menganalisis sistem proteksi pada sisi 20 kV di gardu induk Fare-pare.
- c. Menentukan nilai setelan arus dan waktu kerja relai arus lebih.

### **D. Batasan Masalah**

Dalam penulisan ini dibahas tentang evaluasi sistem proteksi arus lebih pada sisi 20 kV gardu induk Fare-pare, dengan batasan masalah sebagai berikut:

- a. Koordinasi sistem proteksi arus lebih pada sisi 20 kV hanya dibatasi 1 transformator tenaga yang ada di gardu induk Pare-pare.
- b. Koordinasi dimaksudkan pada penyetelan arus dan waktu kerja dari relai arus lebih (over current relay) dan relai gangguan fasa ke tanah (ground fault relay) yang terpasang pada sisi 20 kV dari transformator.

### **E. Manfaat**

Gardu induk merupakan bagian yang besar peranannya dalam penyaluran energi listrik dengan investasi yang sangat besar. Oleh sebab itu manfaat yang diharapkan pada tugas akhir ini adalah :

1. gardu induk memerlukan perlindungan atau sistem proteksi yang bertujuan untuk membatasi atau mencegah kerusakan peralatan akibat terjadinya gangguan pada sistem.
2. Oleh karena transmisi yang dibangun cukup panjang, kemungkinan timbulnya gangguan cukup besar sehingga diperlukan adanya sistem proteksi untuk mengamankan peralatan dan jaringan yang ada.

3. Mengingat akan pentingnya sistem proteksi tersebut, maka dianggap perlu untuk menganalisis sistem proteksi pada jaringan transmisi 20 kV gardu induk pare-pare.

## **F. Metode Penelitian**

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menggunakan beberapa metode antara lain:

1. Studi pustaka/literatur

Penulis melakukan studi dari berbagai buku-buku, brosur, majalah yang berhubungan dengan tugas akhir.

2. Observasi

Penulis melakukan studi ke lapangan untuk mengambil data-data.

## **G. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari empat bab yaitu:

**BAB I :** Merupakan bab pendahuluan yang menjelaskan latar belakang masalah, tujuan penulisan, alasan memilih judul serta batasan-batasan yang ditulis dalam tugas akhir ini.

**BAB II :** Uraian mengenai sistem jaringan distribusi primer (20 kV) meliputi konfigurasi/struktur jaringan dan gangguan pada sistem distribusi.

**BAB III :** Waktu dan tempat penelitian, Metodologi Penelitian, Gambar Blok Diagram

**BAB IV :** Perhitungan dan analisa hubung singkat meliputi analisa arus lebih akibat hubung singkat. Pengaman arus lebih dan koordinasinya mencakup koordinasi setting arus dan setting waktu kerja dari relai-relai pengaman arus lebih pada sisi 20 kV gardu induk Pare-pare.

BAB V : Penutup, berisikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa data dalam penyusunan tugas akhir ini sekaligus memberikan saran-saran untuk pengembangan selanjutnya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Sistem Jaringan Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer adalah jaringan yang berfungsi menyalurkan daya listrik dari gardu induk ke transformator distribusi atau ke pusat-pusat beban. Jaringan distribusi primer dapat dibedakan menurut jenis penghantaraya yaitu:

1. Saluran kabel udara (air cable)
2. Saluran kabel bawah tanah (under ground cable)

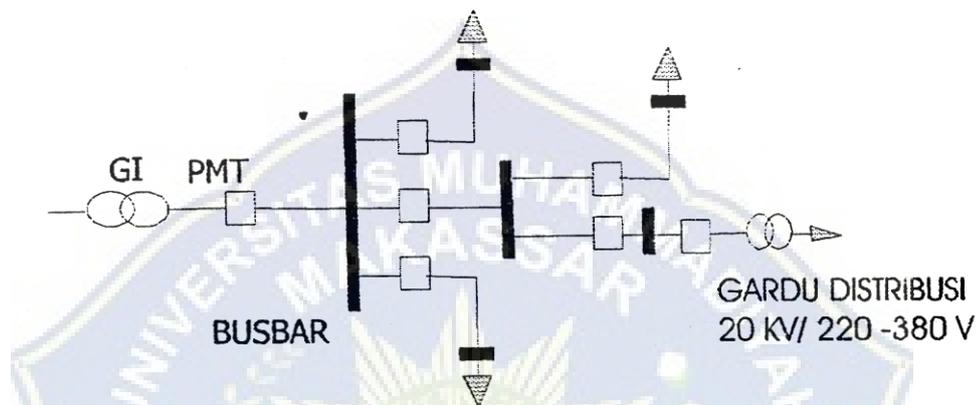
Sistem jaringan distribusi menurut konfigurasi jaringan yaitu:

1. Konfigurasi jaringan radial
2. Konfigurasi jaringan loop
3. Konfigurasi grid
4. Konfigurasi jaringan spindel

#### 1. Konfigurasi jaringan radial

Jaringan ini pada prinsipnya adalah suatu jaringan yang terpancar dari suatu busbar ke beberapa jurusan atau daya yang disalurkan dari satu arah. Bentuk jaringan ini sederhana dan pemeliharaannya mutah, akan tetapi kesinambungan pelayanannya rendah karena alirannya dari satu arah, Bila jaringan tersebut mengalami gangguan maka semua beban yang ada pada jaringan tersebut mengalami gangguan dan mengalami pemadaman selama dilakukan perbaikan. Untuk mengatasi kekurangan ini maka sistem radial mempunyai modifikasi yaitu dengan menambahkan sub feeder pada penyulang utama (main feeder) untuk melayani beban yang jauh.

Modifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan sistem radial yang diparalelkan. Pada sistem yang diparalelkan ini terdapat gangguan maka pelayanan ke konsumen tidak terputus, sebab daya listrik masih dapat disalurkan melalui jalan lain kecuali kerusakan terjadi pada sumber atau pada saluran paralelnya. Konfigurasi jaringan radial dapat dilihat pada gambar 2.1



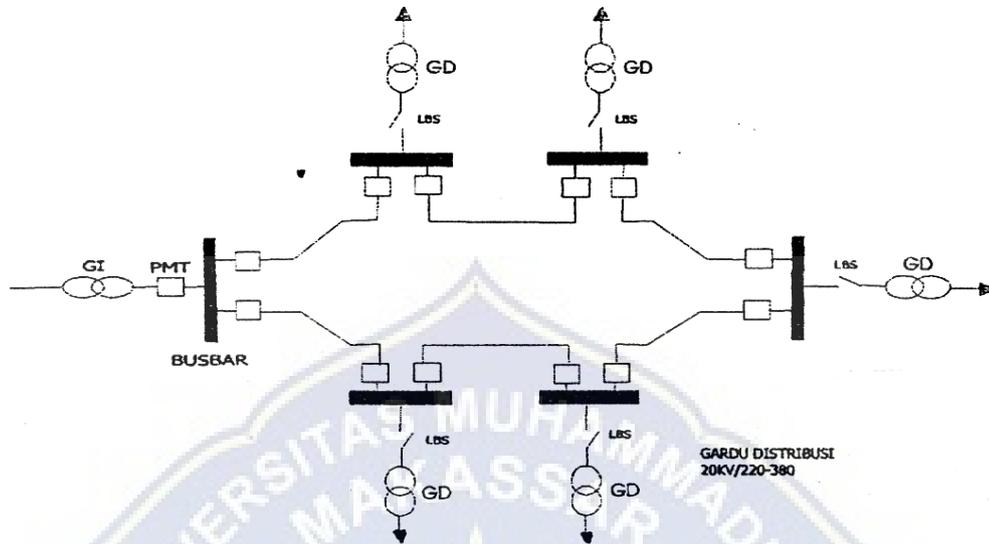
Gambar 2.1 Konfigurasi jaringan radial

## 2. Konfigurasi jaringan loop

Sistem loop adalah pengembangan dari sistem radial yang pada operasinya dapat bekerja sebagai sistem radial biasa. Jaringan menengah sistem ini membentuk suatu lingkaran tertutup yaitu dari gardu induk dan setelah melalui daerah beban kembali ke gardu semula. Bentuk tertutup diperoleh dengan menghubungkan kedua sistem radial dengan switching atau berupa LBS yang membagi saluran utama tersebut

Kelebihan sistem ini adalah kehandalan yang lebih baik dari sistem radial, sedangkan kekurangannya ialah ukuran konduktornya harus sama serta sanggup menampung beban secara keseluruhan jika salah satu feeder mengalami gangguan sehingga sistem ini lebih mahal dari sistem radial.

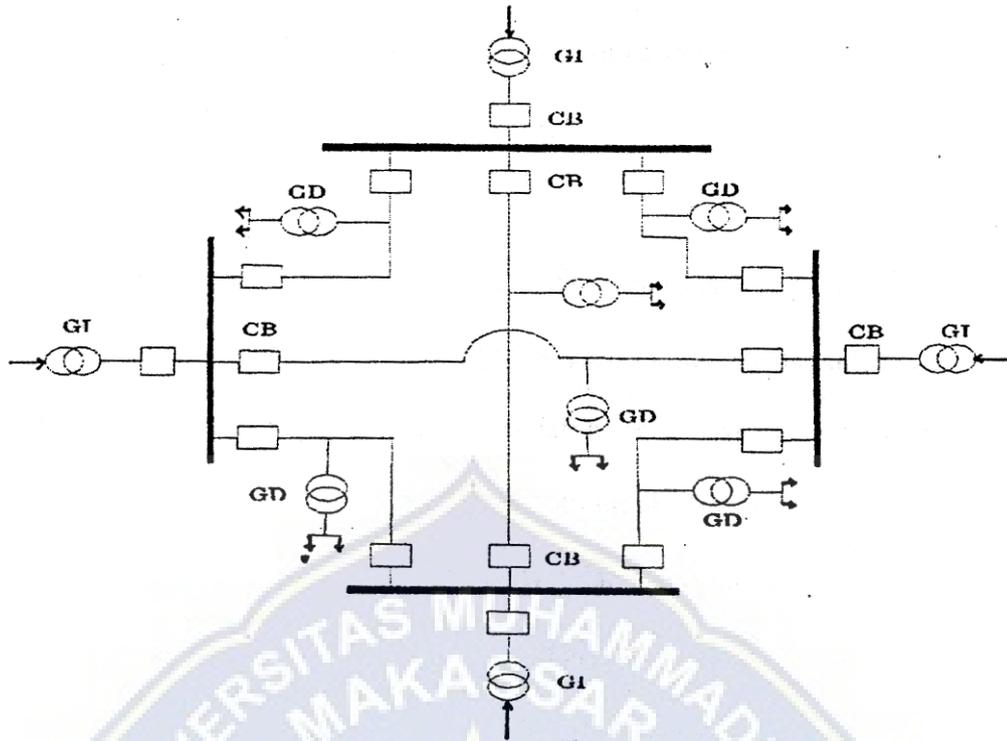
Konfigurasi jaringan loop dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Konfigurasi jaringan loop

### 3. Konfigurasi jaringan grid

Pada sistem ini memungkinkan gardu distribusi disuplai dari dua atau lebih gardu induk yang sating dihubungkan sehingga seolah-olah membentuk sebuah jaring. Kelebihan dari sistem ini adalah kualitas pelayanan maupun mutu tegangannya jauh lebih baik dari sistem radial dan loop, tetapi kelemahannya membutuhkan investasi yang besar dan pengadaannya. Konfigurasi jaringan grid dapat dilihat pada gambar 2.3

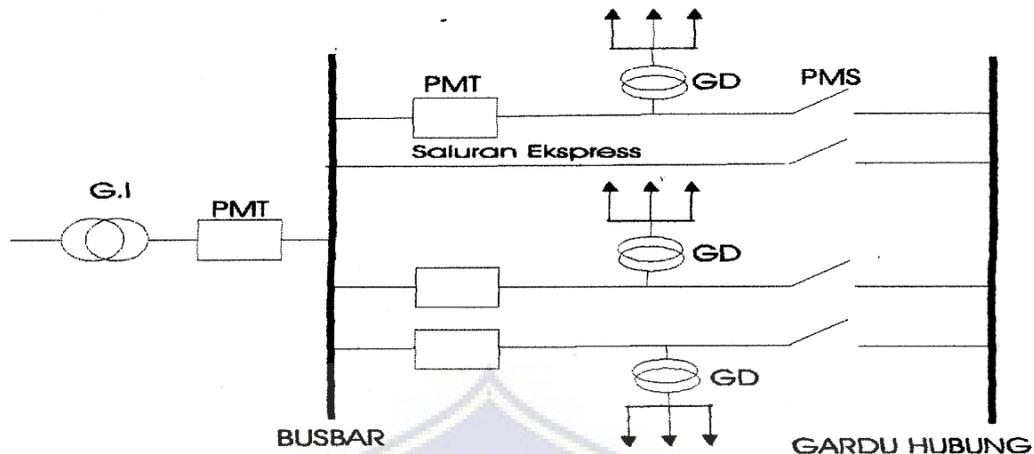


Gambar 2.3 Konfigurasi jaringan grid

#### 4. Konfigurasi jaringan spindle

Sistem ini merupakan gabungan dari sistem radial dan loop yang dimodifikasi, perubahannya berupa penambahan lebih banyak saluran yang kesemuanya bertemu pada suatu titik yang disebut gardu hubung.

Keuntungan dan sistem ini adalah tingkat kehandalan yang lebih baik dibandingkan dengan sistem radial dengan biaya investasi yang relatif murah. Konfigurasi jaringan spindle dapat dilihat pada gambar 2,4



Gambar 2.4 Konfigurasi jaringan spindel

Ciri-ciri dari bentuk spindel adalah:

1. Tidak terdapat percabangan beban, sehingga mengakibatkan jaringan dipasang sedemikian rupa, sehingga dapat mencapai seluruh gardu distribusi secara langsung,
2. Terdapat saluran bebas yang tidak terhubung dengan beban.
3. Semua saluran ditempatkan pada satu titik pertemuan yaitu pada sebuah gardu hubung.

## B. Bagian-bagian Sistem Distribusi

Distribusi tenaga listrik merupakan tahap akhir daripada penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit sampai ke pemakai, Tenaga listrik ini disalurkan melalui suatu transformator yang kemudian diteruskan ke jaringan sekunder atau jaringan distribusi tenaga rendah, barulah kemudian para pemakai tenaga listrik dapat dihubungkan dengan tegangan yang diinginkan.

Secara umum suatu sistem distribusi terdiri dari:

1. Bulk power suplay
2. Jaringan sub transmisi
3. Gardu induk
4. Jaringan primer
5. Gardu distribusi

### **C. Gangguan Pada Sistem Distribusi**

#### **1. Sumber gangguan**

Sumber gangguan pada sistem distribusi yang melalui Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)) berasal dari luar sistem dan dari dalam sistem itu sendiri.

Gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain:

- a. Tegangan dan arus yang tidak normal
- b. Pemasangan yang kurang baik
- c. Usia peralatan
- d. Beban lebih
- e. Kegagalan isolasi

Sedangkan gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain:

- a. Gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran di bawah tanah
- b. Angin dan pohon
- c. Binatang dan benda-benda asing lainnya.

Ditinjau dari segi sifatnya, gangguan tersebut dapat dibagi atas dim kelompok yaitu:

- a. Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya.
- b. Gangguan yang bersifat permanen, di mana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menghilangkan penyebab gangguan tersebut.

## **2. Jenis-jenis gangguan**

Jenis-jenis gangguan yang dapat dialami dalam sistem distribusi yaitu:

- a. Gangguan beban lebih (Over Load)

Beban lebih dapat disebut sebagai gangguan, karena beban lebih adalah suatu keadaan tidak normal yang apabila dibiarkan terus berlangsung dapat membahayakan peralatan. Beban lebih harus diperhatikan dan hal ini harus dihindari serta diamankan.

Beban lebih dapat terjadi pada trafo atau pada saluran karena daya yang dipasoknya terus meningkat, beban lebih dapat terjadi karena adanya perubahan aliran beban jaringan setelah adanya pemutusan gangguan. Beban lebih juga mengakibatkan pemanasan yang berlebihan juga mempercepat proses penuaan atau memperpendek umur peralatan.

- b. Gangguan hubung singkat (Short Circuit)

Gangguan hubung singkat dapat terjadi antara fasa dengan fasa, dan fasa ke tanah, dan dapat bersifat temporer atau permanen.

Gangguan yang permanen, misalnya hubung singkat yang terjadi pada kabel, belitan trafo atau belitan generatormya yang dialiri arus gangguan. Peralatan yang terganggu tersebut baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti.

Pada gangguan yang temporer, tidak ada kerusakan yang permanen pada titik gangguan. Gangguan ini misalnya berupa flash over antara penghantar fasa dan tanah (tiang, travers atau pada SUTM) karena sambaran petir. Pada gangguan ini yang tembus adalah isolasi udaranya, oleh karena itu tidak ada kerusakan permanen setelah arus gangguarnya terputus, misalnya karena terbukanya circuit breaker (CB) oleh relai pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap untuk dioperasikan.

c. Gangguan tegangan lebih

Tegangan lebih dapat dibedakan sebagai berikut:

- 1) Tegangan lebih dengan power frequency (frekuensi kerja)
- 2) Tegangan lebih transien yang diakibatkan oleh surja petir (lighting surge) dan surja hubung (switching surge).

Tegangan lebih dengan power frekuensi terjadi karena:

- 1) Kehilangan beban atau menurunnya beban di jaringan akibat terbukanya pemutus gangguan karena gangguan
- 2) Gangguan pada AYR (Automatic Voltage Regulator)

Tegangan lebih dengan power frequency ini biasanya tidak terlalu tinggi namun bisa berlangsung lama. Peralatan seperti kabel trafo dan generator didesain sedemikian rupa sehingga peralatan yang digunakan tahan lama.

Tegangan lebih transien yang diakibatkan oleh surja petir di mana petir dapat menyambar langsung konduktor fasa atau menyambar kawat tanah atau objek lain di dekat SUTM yang semuanya dapat mengakibatkan hubung singkat.

#### **D. Sistem Proteksi**

##### **1. Sifat-sifat sistem proteksi**

Dihilangkannya suatu gangguan dengan cepat oleh suatu sistem perlindungan memerlukan kerja yang benar dari beberapa sub sistem dari sistem perlindungan tersebut. Fungsi dari masing-masing sub sistem ini dapat dimengerti dengan melihat peristiwa-peristiwa yang terjadi dari saat timbulnya gangguan hingga dihilangkannya gangguan tersebut dari sistem daya yang bersangkutan.

##### **2. Fungsi sistem proteksi**

Fungsi sistem proteksi adalah:

- a. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan tidak normal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya.
- b. Melepaskan bagian-bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem yang lainnya tetap dapat beroperasi.

Proteksi dibutuhkan untuk melindungi peralatan dan sistem serta mengamankannya secepat mungkin dari gangguan yang sedang terjadi, sebab gangguan dapat membahayakan sistem.

Untuk pengamanan pada sistem distribusi digunakan pengamanan yang terdiri dari seperangkat peralatan yang komponen-komponen yaitu:

a. Relai pengaman

Relai pengaman berfungsi sebagai elemen perasa yang mendeteksi adanya gangguan.

b. Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga berfungsi untuk menutup atau membuka rangkaian tistrick pada beban nol maupun keadaan berbeban. PMT juga mampu membuka dengan sendirinya pada saat terjadi hubung singkat

Pada kondisi gangguan maka arus yang masuk ke relai lebih besar dari setting yang telah ditentukan maka relai akan memberi syarat trip untuk pembukaan CB. Dengan mekanisme dan media peredam api yang dimilikinya, circuit breaker akan menggerakkan kontaknya secara cepat sekaligus memadamkan busur api yang terjadi.

Beberapa jenis pemutus tenaga berdasarkan media peredam busur apinya adalah:

- 1) Oil Circuit Breaker (OCB), media peredam busur api dengan minyak
- 2) Gas Circuit Breaker (GCB), media peredam busur dengan gas (SFG)
- 3) Vacum Circuit Breaker (VCB), media peredam busur api dengan vacum (hampa udara)
- 4) Miniatur Circuit Breaker (MCB), media peredam busur api melalui hembusan medan magnet
- 5) Air Circuit Breaker (ACB), media peredam busur api dengan hembusan udara bertekanan tinggi.

c. Trafo arus

Transformator arus mempunyai kesalahan perbandingan yang pada beberapa jenis dapat dihitung dan pada jenis-jenis yang lain harus ditentukan dengan pengujian. Kesalahan ini dapat terjadi cukup tinggi jika muatan impedansinya terlalu besar, tetapi dengan pemilihan transformator arus yang tepat terhadap muatannya, kesalahan tersebut dapat dipertahankan.

Rating arus normal untuk sekunder CT telah dibakukan pada 5 A dengan standar kedua sebesar 1 A. Rating gulungan sekunder CT dapat dilampaui untuk periode waktu yang singkat tanpa merusak gulungan tersebut.

d. Trafo Tegangan

Transformator tegangan biasanya jauh lebih teliti daripada transformator arus dan kesalahan perbandingan serta sudut fasanya biasanya dapat diabaikan. Sebaliknya yang sering perlu diperhatikan pada trafo tegangan ini ialah tanggap peralihannya pada waktu ada gangguan, karena dalam keadaan semacam ini mungkin timbul kesalahan.

e. Baterai/AKI

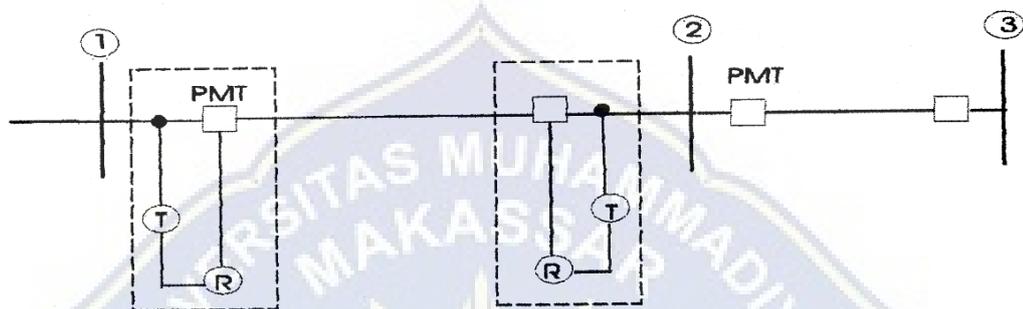
Baterai/aki berfungsi sebagai sumber tenaga untuk mekanisme pembukaan PMT.

### 3. Prinsip kerja dari sistem proteksi arus lebih

Sistem proteksi arus lebih pada gardu induk Pare-pare menggunakan peralatan perlindungan berupa pemutus tenaga, relai, transformator tegangan dan arus (transducers = T).

Relai adalah piranti yang mengindera (sensor) adanya gangguan dan menyebabkan diberinya daya kemudi (trip circuit) dari pemutus rangkaian sehingga pemutus tersebut membuka kontakannya. Transducer memberikan masukan pada relai tersebut. Secara singkat dapat dilihat pada

diagram segaris yang menunjukkan dua saluran transmisi dan unsur-unsur sistem proteksi.



Gambar 2.5 Diagram-segaris yang menunjukkan dua saluran transmisi dan unsur-unsur sistem perlindungan

Pemutus-pemutus yang terpisah dapat dioperasikan pada masing-masing fasa atau relai dapat mengatur salah satu pemutus tiga fasa yang akan membuka ketiga fasa itu dengan ketentuan bahwa salah satu saja dari relai tersebut harus bekerja.

#### 4. Pengaman utama dan pengaman cadangan

Ada kemungkinan suatu relai atau komponen lainnya gagal bekerja. Oleh karena itu, sistem dilengkapi dengan pengaman cadangan di samping pengaman utamanya. Karena pengaman cadangan baru diharapkan bekerja jika pengaman utamanya gagal bekerja, maka pengaman cadangan selalu disertai dengan waktu tunda (Delay Time), untuk memberikan kesempatan kepada pengaman utama bekerja lebih dahulu. Pengaman cadangan bisa dibedakan menjadi dua macam yaitu:

- a. Pengaman cadangan lokal (Local back up)
- b. Pengaman cadangan jauh (Remote back up)

Pengaman cadangan lokal terletak di tempat yang sama dengan pengaman utamanya sedangkan pengaman cadangan jauh terletak di sisi sebelah hulunya. Sudah barang tentu terjadinya tumpang tindih (Over Lapping) antara kawasan pengaman utama dan kawasan pengaman cadangannya, baik cadangan lokal maupun cadangan jauh. Ini berarti bahwa gangguan yang terletak pada kawasan pengaman utama akan dideteksi oleh pengaman utama maupun pengaman cadangan jauhnya. Untuk menghindari terlepasnya dua sisi sekaligus maka sisi kawasan pengaman utama menggunakan relai pengaman utama dan sisi sebelah hulunya menggunakan relai pengaman jauh, untuk itu relai pengaman cadangan diberi waktu tunda.

## **5. Fungsi dan persyaratan relai pengaman**

Relai pengaman adalah alat yang dapat merasakan adanya gangguan atau keadaan tidak normal pada peralatan atau sistem tenaga listrik. Relai akan bekerja dan pemutus tenaga (PMT) membuka (trip) untuk memisahkan peralatan listrik yang terganggu dan memberikan isyarat berupa alarm dan indikator lainnya. Relai pengaman juga dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran yang diterima seperti arus, tegangan, daya dengan besar yang telah ditentukan, kemudian dengan seketika ataupun dengan penundaan waktu membuka pemutus tenaga (PMT), Pemutus tenaga hams mempunyai kemampuan untuk memutuskan arus hubung singkat maksimum yang melewatinya. Dan uraian di atas maka relai pengaman pada sistem tenaga listrik berfungsi:

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkannya sehingga sistem yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b. Mencegah kerusakan yang lebih parah pada peralatan yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian lain yang tidak terganggu dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Mencegah/memperkecil akibat yang dapat membahayakan manusia.

Untuk memenuhi fungsi di atas maka relai pengaman harus mempunyai sifat-sifat antara lain:

- a. Peka (sensitif)

Relai dikatakan peka apabila mampu mendeteksi gangguan paling kecil, Jadi relai dapat bekerja pada awal kejadian gangguan atau dengan kata lain gangguan dapat diisolir pada awal kejadian. Hal ini memberikan keuntungan pada peralatan yang diamankan akibat gangguan yang relatif kecil.

- b. Selektif

Relai bertugas mengamankan peralatan atau bagian sistem dalam daerah pengamannya. Letak pemutus tenaga sedemikian rupa sehingga setiap bagian dari sistem dapat dipisahkan.

Relai harus selektif dalam mendeteksi adanya gangguan yang terjadi pada daerah pengamannya. Kemudian memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan bagian sistem yang mengalami gangguan. Dengan demikian bagian sistem lainnya tidak terganggu dan masih beroperasi secara normal karena pemutusan/pemadaman terbatas pada daerah gangguan saja.

c. Kecepatan kerja

Relai pengaman harus bekerja dengan cepat karena:

- 1) Kerusakan peralatan yaitu tembusnya isolasi atau terbakar disebabkan terjadinya tegangan lebih atau aliran arus gangguan yang terlalu lama.
- 2) Tidak boleh melampaui arus waktu pemutusan kritis (Critical clearing time). Untuk sistem yang besar kecepatan kerja relai pengaman diperlukan untuk menjaga kestabilan sistem agar tidak terganggu. Gangguan tiga fasa lebih berpengaruh pada kemampuan sistem untuk mempertahankan kestabilan, sehingga waktu penyelesaian gangguan harus secepatnya diselesaikan dibandingkan dengan gangguan lainnya.

Dengan demikian relai pengaman harus bekerja secepat mungkin namun pengamanan masih harus selektif.

d. Handal

Dalam keadaan normal atau tidak ada gangguan relai tidak bekerja. Mungkin bertahun-tahun relai tidak bekerja tetapi pada saat terjadi gangguan relai tidak boleh gagal bekerja untuk mengatasi gangguan tersebut.

Kegagalan kerja relai dapat mengakibatkan kerusakan yang berat bagi alat yang diamankan atau gangguan menjadi meluas. Di samping itu relai tidak boleh salah kerja, yakni yang seharusnya tidak boleh bekerja tetapi ikut bekerja sehingga timbul pemadaman yang tidak seharusnya ataupun menyulitkan analisa gangguan yang terjadi.

Dalam hal ini yang harus dapat diandalkan tidak hanya relainya sendiri tetapi mulai dari trafo arus, trafo tegangan serta rangkaianannya,

baterai serta pemutus tenaganya. Oleh karena itu setelah operasi, untuk mendapatkan keandalan yang tinggi diperlukan perawatan, dalam hal ini perlu adanya pengujian periodik untuk menentukan apakah relai masih tetap digunakan atau memerlukan penyetelan kembali

#### **E. Kegagalan Pada Sistem Pengaman**

Kegagalan pengaman dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Kegagalan pada relai sendiri,
2. Kegagalan suplai arus dan tegangan ke relai. Hal ini dapat disebabkan oleh kerusakan trafo arus atau kerusakan trafo tegangannya, di mana rangkaian suplai ke relai dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat.
3. Kegagalan sistem suplai arus searah untuk tripping coil pemutus tenaga. Hal ini dapat disebabkan oleh baterai lemah, karena kurang perawatan, terbukanya atau terhubung singkatnya rangkaian arus searah.

Kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan trip tidak menerima suplai dan kerusakan mekanik pada mekanisme pembukaan PMT. Karena itu adanya kemungkinan kegagalan pada sistem pengaman harus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan. Pengaman cadangan ini umpamanya mempunyai perlambatan waktu, hal ini untuk memberikan kesempatan kepada pengaman utama bekerja lebih dahulu, dan jika pengaman utama gagal baru pengaman cadangan bekerja.

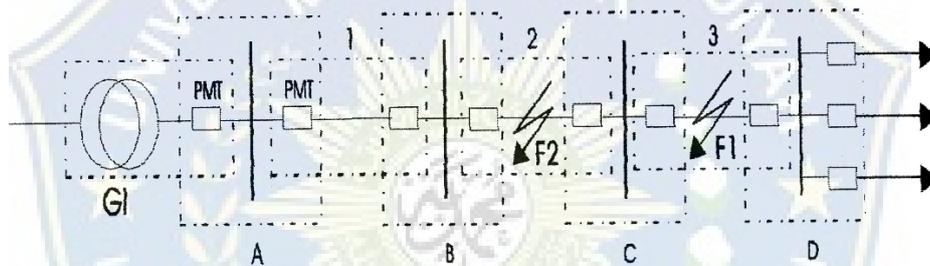
Mengingat pada sistem distribusi, pengamannya hanya relai arus lebih maka setiap relai berfungsi sebagai pengaman utama di daerahnya dan sebagai pengaman cadangan bagian hilirnya sehingga jangkauan relai ini hanya dapat mencapai satu bagian berikutnya dalam keadaan gangguan yang minimum.

#### **F. Selektivitas Relai Arus Lebih**

Berdasarkan prinsip kerjanya relai arus lebih tidak dapat membedakan apakah gangguan terjadi pada daerah proteksi hulu atau pada daerah proteksi hilirnya. Untuk mengatasi masalah ini ada beberapa cara yang dapat dilakukan yaitu:

1. Memakai perlambatan waktu kerja
2. Pengaturan kerja arus minimum
3. Kombinasi dari keduanya

Sebagai -contoh dapat dilihat pada suatu saluran primer radial yang diproteksi dengan relai arus lebih seperti pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Saluran primer radial yang diproteksi dengan relai arus lebih

Relai 1 bertugas memisahkan gangguan yang terjadi pada daerah A-B, relai 2 untuk daerah B-C dan relai 3 untuk daerah C-D. Bila suatu gangguan terjadi di daerah C-D (F1), di samping relai 2, relai 1 juga merasakannya. Untuk membuat relai 1 dan 2 tidak bekerja pada gangguan tersebut dapat dilakukan dengan cara mengatur kerja arus minimum.

Tetapi gangguan yang terjadi di daerah B-C (F2), hal tersebut tidak dapat dilakukan karena perbedaan arus gangguan dengan ujung A-B kecil sekali atau bisa dikatakan sama besar.

Pembukaan pemutus daya relai 1 tidak diharapkan jika terjadi gangguan pada (F2) atau daerah B-C karena beban pada daerah B akan ikut terputus dengan

memakai kelambatan waktu kerja relai. Jadi dengan mengatur kerja relai 1 lebih lambat dari relai 2, maka relai 1 tidak bekerja membuka pemutus dayanya karena relai 2 telah bekerja lebih dahulu mengatasi gangguan tersebut. Tetapi bila relai 2 gagal bekerja maka relai 1 yang akan bekerja.

Relai 1 disebut proteksi cadangan (back up) dari relai 2. Sedangkan relai 2 sebagai proteksi utama (main protection). Daerah proteksi utama relai 2 adalah B-C.

### 2.7 Impedansi Urutan dan Jaringan urutan

Dalam setiap rangkaian, jatuh tegangan yang disebabkan oleh arus dengan urutan tertentu tergantung pada impedansi bagian rangkaian itu terhadap arus dengan urutan tersebut. Impedansi setiap bagian suatu jaringan yang seimbang terhadap arus salah satu urutan dapat berbeda dengan impedansi terhadap arus dari urutan yang lain.

Impedansi suatu rangkaian yang hanya mengalir arus urutan-positif disebut impedansi terhadap arus urutan-positif. Demikian pula, bila hanya ada arus urutan-negatif, impedansinya dinamakan impedansi terhadap arus urutan-negatif. Jika hanya ada arus urutan nol, impedansinya dinamakan impedansi terhadap arus urutan-nol. Sebutan impedansi rangkaian terhadap arus dari urutan yang berbeda, ini biasanya disingkat menjadi istilah yang sebenarnya kurang jelas artinya, yaitu impedansi urutan-positif, impedansi urutan-negatif, dan impedansi urutan-nol.

Analisis gangguan tak simetris pada sistem yang simetris terdiri dari penentuan komponen simetris dari arus tak seimbang yang mengalir. Karena arus komponen dari salah satu urutan fasa menimbulkan tegangan jatuh dengan urutan yang sama dan tidak tergantung pada arus dari urutan yang lain, dalam suatu sistem yang seimbang, arus dari salah satu urutan dapat dianggap mengalir dalam jaringan bebas yang terdiri hanya dari impedansi terhadap arus dari urutan itu saja. Rangkaian ekuivalen fasa tunggal yang hanya terdiri dari impedansi terhadap arus salah satu urutan saja dinamakan jaringan urutan untuk urutan tertentu jaringan. Jaringan urutan ini meliputi setiap emf yang dibangkitkan pada urutan yang sama.

Jaringan urutan yang mengalirkan arus  $I_{a1}$ ,  $I_{a2}$ , dan  $I_{a3}$  diantar hubungkan untuk melukiskan berbagai keadaan gangguan tak seimbang.

Oleh karena itu, untuk menghitung pengaruh gangguan dengan metode komponen simetris, adalah penting sekali untuk menentukan impedansi urutannya dan menggabungkannya untuk membentuk jaringan urutan masing-masing.

### **G. Impedansi Urutan Pada Unsur Rangkaian**

Impedansi urutan positif dan negatif dari rangkaian yang linier, simetris dan statis adalah identik karena impedansi rangkaian semacam itu tidak tergantung pada urutan fasanya asal tegangan yang dikenakan seimbang. Impedansi saluran transmisi terhadap arus urutan nol berbeda dengan impedansinya terhadap arus urutan positif dan urutan negatifnya.

Impedansi mesin berputar terhadap arus dari ketiga urutan tersebut, pada umumnya berbeda untuk masing-masing urutan, mmf yang ditimbulkan oleh arus jangkar urutan negatif berputar dengan arah yang berlawanan dengan arah putaran rotor di mana terdapat gulungan medan dc-nya. Tidak seperti fluks yang dibangkitkan oleh arus urutan positif yang berada dalam keadaan berhenti (stationary) terhadap rotor, fluks yang dibangkitkan oleh arus urutan negatif bergerak dengan cepat menyapu permukaan rotor. Arus yang diimbas pada gulungan medan dan peredam oleh fluks jangkar yang berputar mencegah fluks menembus rotornya. Keadaan ini sama dengan fluks yang berubah dengan cepat segera setelah terjadinya hubung singkat pada terminal mesin.

Jika arus yang mengalir pada gulungan jangkar mesin tiga fasa hanyalah arus urutan nol, maka arus dan mmf pada salah satu fasanya mencapai maksimum pada waktu yang sama seperti arus dan mmf pada setiap fasa yang lain. Gulungan tersebut tersebar disekeliling jangkar sedemikian rupa sehingga titik mmf maksimum yang dibangkitkan oleh salah satu fasa dipisahkan 120 derajat listrik dalam ruang dari titik mmf maksimum setiap fasa yang lain.

Dalam menurunkan persamaan induktansi dan kapasitansi saluran transmisi yang ditransposisikan, kita telah memisalkan arus tiga-fasa yang seimbang tetapi kita tidak menetapkan urutan fasanya. Oleh karena itu, persamaan yang dihasilkan berlaku baik untuk impedansi urutan-positif maupun impedansi urutan negatif. Bila hanya arus urutan nol yang mengalir dalam saluran transmisi, arus pada setiap fasa adalah identik.

Arus itu kembali melalui tanah, melalui kawat tanah di atas tiang, atau melalui kedua-duanya, Karena arus urutan-nol pada setiap penghantar fasa identik, medan magnet yang ditimbulkan oleh arus urutan-nol akan berbeda sekali dengan medan magnet yang ditimbulkan oleh urutan-positif atau urutan negatif. Beda dalam medan magnet ini mengakibatkan bahwa reaktansi induktif urutan-nol saluran transmisi di atas tiang menjadi 2 sampai 3 kali lebih besar dari reaktansi urutan-positif. Perbandingan ini mengarah ke bagian yang tinggi dari daerah yang telah ditetapkan untuk saluran rangkaian-ganda dan saluran tanpa kawat tanah. Sebuah transformator dalam rangkaian tiga-fasa dapat terdiri dari tiga unit transformator fasa-tunggal, atau dapat juga berupa transformator tiga-fasa langsung.

Meskipun impedansi seri urutan-nol dari unit tiga-fasa itu dapat sedikit berbeda dari nilai urutan-positif dan negatifnya, sudah menjadi kebiasaan untuk menganggap bahwa impedansi seri untuk semua urutan adalah sama, tanpa memandang jenis transformator tersebut.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat**

##### **a. Waktu**

Pembuatan tugas akhir ini akan dilaksanakan selama 6 bulan, mulai dari bulan Maret 2023 sampai dengan Agustus 2023 sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian.

##### **b. Tempat**

Penelitian dilaksanakan di Pare-pare pada Jaringan 20 KV Pada Gardu Induk Pare-Pare jl. Bambu Runcing Bumi Harapan Kecamatan Bacukiki Kota Pare Pare Sulawesi Selatan.

#### **B. Alat dan Bahan**

##### **a. Alat**

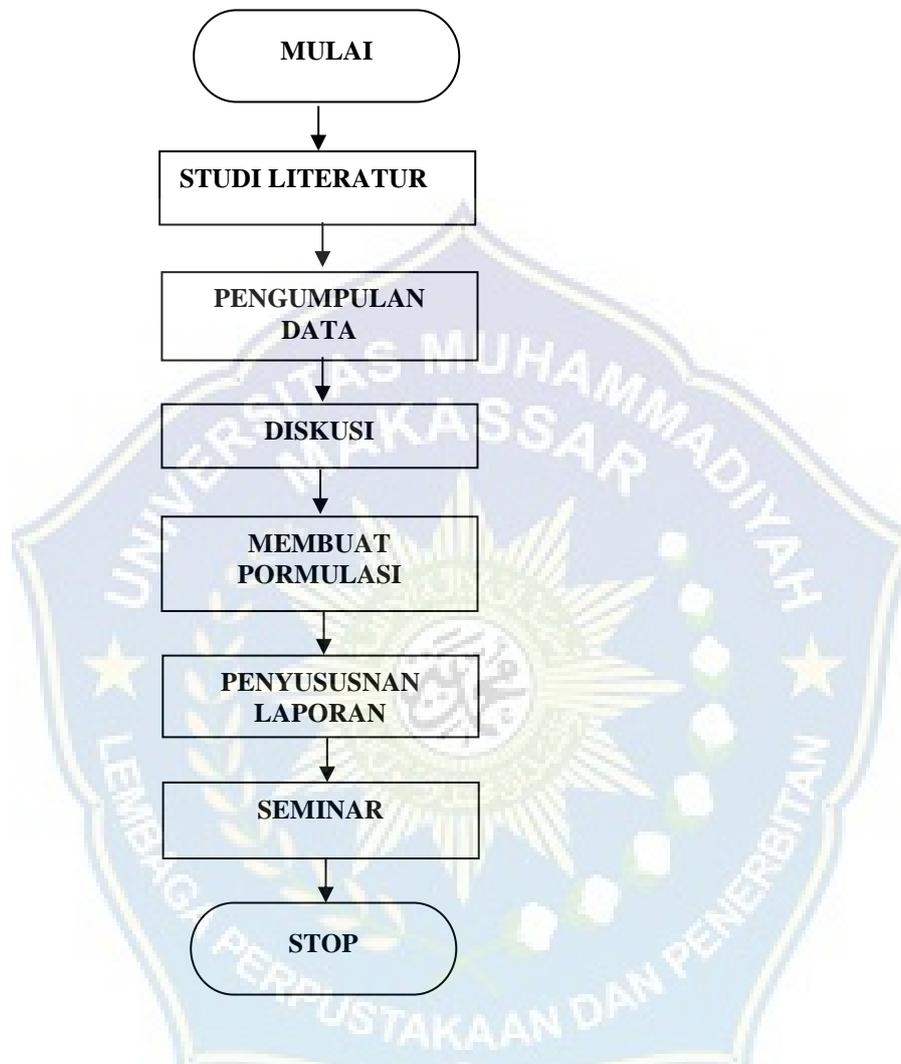
1. Kunci pas
2. Obeng
3. Solder
4. Las Trafo
5. Multimeter digital
6. Tang ampere

##### **b. Bahan**

1. Gardu induk
2. Besi Trafo
3. Seal bushing trafo
4. Kumparan trafo
5. Treatmen oli trafo
6. Kubikel dan panel

### C. Metode Penelitian

#### FLOWCHART



Metode penelitian ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penelitian ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

#### D. Langkah-langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah yang ditempuh oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### Metode Pustaka

Yaitu mengambil bahan-bahan penulisan tugas akhir ini dari referensi-referensi serta literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang dibahas.

### Metode Penelitian

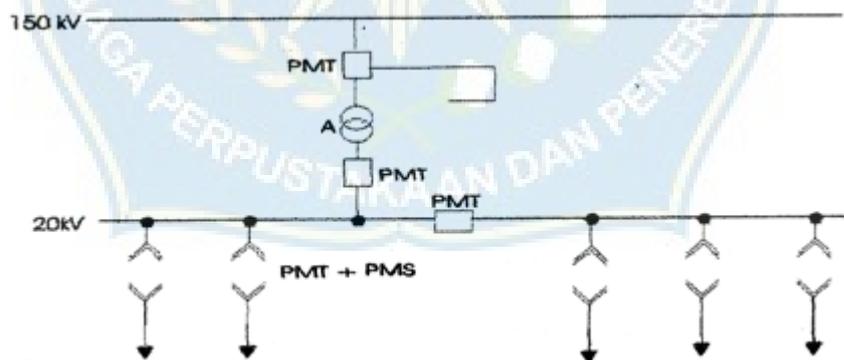
Mengadakan penelitian dan pengambilan data di Pare-pare pada Jaringan 20 KV Pada Gardu Induk . Kemudian mengadakan pembahasan/analisa hasil pengamatan dan menyimpulkan hasil analisa tersebut.

### Metode Diskusi/Wawancara

Yaitu mengadakan diskusi/wawancara dengan dosen yang lebih mengetahui bahan yang akan kami bahas atau dengan pihak praktisi di Pare-pare pada Jaringan 20 KV Pada Gardu Induk Pare-Pare

### E. Gambar Blok Diagram

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram satu garis, dan feeder yang keluar dari transformator tersebut yang ada pada gardu induk Pare-pare



Gambar 3.1 Single line diagram transformator

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Analisa Perhitungan

Untuk analisa perhitungan arus gangguan hubung singkat, maka diperlukan pengaturan koordinasi relai proteksi.

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam jaringan (sistem kelistrikan) ada 3 yaitu

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

Dari ketiga macam gangguan hubung singkat di atas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus umum (hukum ohm) yaitu:

$$I = V / R \dots\dots\dots (4.1)$$

Dimana:

I = Arus yang mengalir pada hambatan

V = Tegangan sumber

R = Tahanan

Dengan mengetahui besarnya tegangan sumber dan besarnya nilai impedansi tiap komponen jaringan serta bentuk konfigurasi struktur jaringan dalam sistem maka besarnya gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan rumus di atas.

Adapun yang membedakan antar gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk yang sesuai dengan jenis gangguan itu sendiri, seperti ditunjukkan berikut ini:

Z untuk gangguan 3 fasa :  $Z = Z_1$

Z untuk gangguan 2 fasa :  $Z = Z_1 + Z_2$

Z untuk gangguan 1 fasa ke tanah :  $Z_1 + Z_2 + Z_0$

Dimana:

$Z_1$  = Impedansi urutan positif

$Z_2$  = Impedansi urutan negatif

$Z_0$  = Impedansi urutan nol

## **B. Data Hasil Penelitian**

Untuk dapat mengkoordinasi relai arus lebih, perlu diketahui data dan analisa perhitungan arus gangguan hubung singkat yang akan mengalir pada setiap bagian jaringan Data yang diperlukan antara lain:

- a. Data transformator daya
- b. Jenis relai yang digunakan pada setiap feeder

Untuk data transformator tidak sulit untuk mengetahui atau mengenal karena transformator mempunyai name plate yang dicantumkan, misalnya pada daya KVA, MVA, tegangan primer dan sekunder serta impedansinya.

### 1. Data transformator

Merk : Hyundai

Buatan ; Korea Selatan

Rated Power : 16.000 KVA

Phase : 3 phase

Insulation level impulse test voltage

Primer (L-N) : 650/-KV

Sekunder (L-N) : 125 / - KV

Rate current

- Primer : 61,57 Ampere

- Sekunder : 461,8 Ampere

Type

Reaktansi volt rated current : Base on 16 MVA-10,64%

Tahanan Pembumian : 40 Ohm pada sisi 20 KV

## 2. Data Penjulung/Feeder

### a. Feeder Soreang

- Panjang jaring : 17,429 Km

- Konstruksi jaring : SUTM

- Konfigurasi/struktur jaring : Radial

- Penampang penghantar : AAAC 150 mm<sup>2</sup>, XLPE 240 mm<sup>2</sup>

- Beban puncak : 52 A

- Daya : 2,11 MVA

### b. Feeder Pelanduk

- Panjang jaring : 7,624 Km
- Konstruksi jaring : SUTM
- Konfigurasi/struktur jaring : Radial
- Penampang penghantar : AAAC 150 mm<sup>2</sup>/XLPE 240 mm<sup>2</sup>
- Beban puncak : 80 A
- Daya : 2,80 MVA

c. Feeder Bojo

- Panjang jaring : 59,315 Km
- Konstruksi jaring : SUTM
- Konfigurasi/struktur jaring : Radial
- Penampang penghantar : AAAC 70 mm<sup>2</sup>/XLPE 240 mm<sup>2</sup>
- Beban puncak : 58 A
- Daya : 1,83 MVA

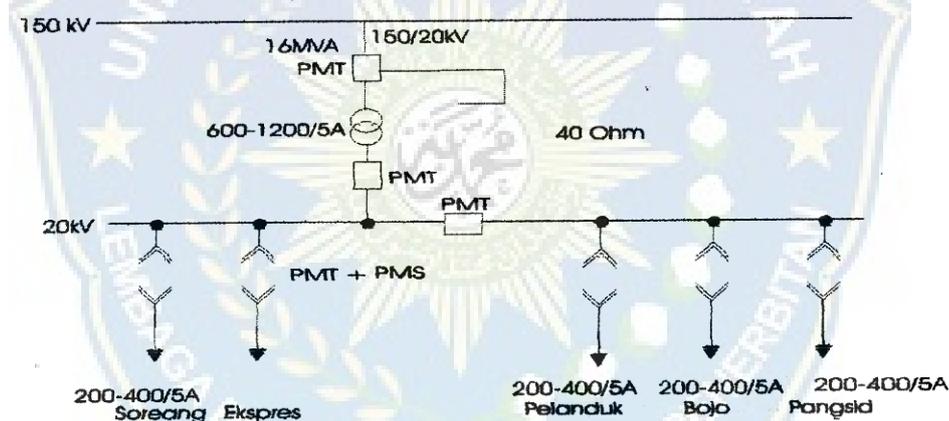
d. Feeder Pangsid

- Panjang Jaring : 32,921 Km
- Konstruksi jaring : SUTM
- Konfigurasi/struktur jaring : Radial
- Penampang penghantar : AAAC 95 mm<sup>2</sup>/XLPE 240 mm<sup>2</sup>
- Beban puncak : 40 A
- Daya : 1,45 MVA

Data gambar diagram satu garis pada gardu induk Pare-pare hanya satu transformator yang digunakan dan feeder-feeder yang keluar dari sisi tegangan rendah transformator tersebut

- a. Feeder Soreang
- b. Feeder Pelanduk
- c. Feeder Bojo
- d. Feeder Pangsid

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram satu garis, dan feeder yang keluar dari transformator tersebut yang ada pada gardu induk Pare-pare.



Gambar 4.1 Single line diagram transformator

### C. Analisa Perhitungan

Untuk analisa perhitungan arus gangguan hubung singkat, maka diperlukan pengaturan koordinasi relai proteksi.

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam jaringan (sistem kelistrikan) ada 3 yaitu

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

Dari ketiga macam gangguan hubung singkat di atas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus umum (hukum ohm) yaitu:

$$I = V/ R \dots\dots\dots (4.1)$$

Dimana:

I = Arus yang mengalir pada hambatan

V = Tegangan sumber

R = Tahanan

Dengan mengetahui besarnya tegangan sumber dan besarnya nilai impedansi tiap komponen jaringan serta bentuk konfigurasi struktur jaringan dalam sistem maka besarnya gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan rumus di atas.

Adapun yang membedakan antar gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk yang sesuai dengan jenis gangguan itu sendiri, seperti ditunjukkan berikut ini:

Z untuk gangguan 3 fasa :  $Z = Z_1$

Z untuk gangguan 2 fasa :  $Z = Z_1 + Z_2$

Z untuk gangguan 1 fasa ke tanah :  $Z_1 + Z_2 + Z_0$

Dimana:

$Z_1$  = Impedansi urutan positif

$Z_2$  = Impedansi urutan negatif

$Z_0$  = Impedansi urutan nol

Dan data transformator di atas di mana trafo 150/20 kV dengan daya sebesar 16 MVA dan impedansi = 10,64 % netral trafo dengan ini ditanahkan melalui tahanan 40 Ohm, pada bus 150 kV di gardu induk Fare-pare sebesar 100 MVA.

### 1. Perhitungan Impedansi Sumber

Data hubung singkat di bus 150 kV gardu induk sektor Bakaru di Fare-pare adalah 100 MVA, maka:

$$\begin{aligned} Z_s &= kV^2 \text{ MVA} \\ &= 150^2/100 \\ &= 225 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Perlu diingat bahwa impedansi sumber ini adalah nilai ohm pada sisi 150 kV, karena arus gangguan yang akan dihitung adalah hubung singkat di sisi 20 kV, sehingga pada perhitungan arus gangguan nanti sudah tidak lagi menggunakan tegangan 150 kV sebagai sumber, karena semua impedansi sudah dikonversikan ke sistem tegangan 20 kV.

Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 20 kV dilakukan dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} Z_s \text{ (sisi 20 kV)} &= \frac{20^2}{150^2} \times 225 \text{ ohm} \\ &= 4 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan Reaktansi Trafo

Reaktansi trafo daya 16 MVA adalah sebesar 10,64 % untuk mencari nilainya dalam ohm dihitung dengan cara sebagai berikut: X.

$$X_t = \frac{X_{sebenarnya}}{X_{dasar}}$$

$$X_{dasar} = \frac{(20)^2}{16} = 25 \text{ ohm}$$

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{X_{sebenarnya}}{X_{dasar}}$$

$$\begin{aligned} X_{sebenarnya} &= 25 \times 0,1064 \\ &= 2,66 \text{ ohm} \end{aligned}$$

- Reaktansi urutan positif, negatif ( $X_{t1} - X_{t2}$ )

$$\begin{aligned} X_{t1} &= 0,1064 \times 2,66 \\ &= 0,2830 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

- Reaktansi urutan nol ( $X_{t0}$ )

Reaktansi urutan nol ini didapat dengan memperhatikan trafo tenaga itu sendiri. Karena trafo yang ada di GI Fare-pare dengan belitan  $Yy_6$ , maka Besarnya  $X_{t0} = 3 \cdot X_{t1}$ ..... (4.2)

$$= 3 \cdot 0,2830$$

$$= 0,849 \text{ Ohm}$$

## 3. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Pada Feeder Pelanduk

### a. Perhitungan Impedansi Feeder Pelanduk

Besarnya impedansi feeder pelanduk tergantung dari besarnya impedansi per km dari feeder bersangkutan, dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi/struktur dan penampang kawat yang digunakan untuk SUTM.

Dari data dapat dihitung masing-masing feeder, untuk feeder Pelanduk. Perhitungan impedansi feeder Pelanduk

$$Z_1 = Z_2$$

$$Z_1 = 2,4772 + j2,8865$$

$$\begin{aligned} Z_0 &= (2,4772 + j2,8865) \cdot 3 \\ &= 7,4316 + j8,6595 \end{aligned}$$

Dalam hal ini nilai impedansi feeder untuk lokasi gangguan yang diperkirakan terjadi pada 25 %, 45%, 65% dan 100%. Panjang feeder dapat dihitung sebagai berikut:

**% Panjang Impedansi feeder urutan positif dan negatif ( $Z_1 : Z_2$ )**

$$25 \% \quad 25\% \times (2,4772 + j2,8865) = 0,6193 + j0,7216$$

$$45 \% \quad 45\% \times (2,4772 + j2,8865) = 1,1147 + j 1,2989$$

$$65 \% \quad 65\% \times (2,4772 + j2,8865) = 1,6101 + j1,8762$$

$$100 \% \quad 100\% \times (2,4772 + j2,8865) = 2,4772 + j2,8865$$

**Impedansi feeder urutan nol (/0)**

$$25\% \quad 25\% \times (7,4316 + j8,6595) = 1,8579 + j2,1648$$

$$45 \% \quad 45\% \times (7,4316 + j8,6595) = 3,3492 + j3,8967$$

$$65 \% \quad 65\% \times (7,4316 + j8,6595) = 4,8305 + j5,6286$$

$$100 \% \quad 100\% \times (7,4316 + j8,6595) = 7,4316 + j8,6595$$

**b. Perhitungan Impedansi Ekuivalen Feeders**

Perhitungan di sini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi positif ( $Z_1$  eq), negatif ( $Z_2$  eq) dan nol ( $Z_0$  eq) dari titik gangguan sampai ke sumber.

Perhitungan  $Z_1$ eq dan  $Z_2$ eq dengan menjumlahkan langsung impedansi-impedansi tersebut, sedangkan perhitungan  $Z_0$ eq dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo daya yang netralnya dibumikan.

Impedansi  $Z_0$ eq untuk trafo dengan hubungan  $Yy_6$  yang mempunyai nilai:

$$\begin{aligned} X_{t0} &= 3 \cdot X_{t1} \\ &= 3 \cdot 0,2830 \\ &= 0,849 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

dan nilai tahanan pembumian adalah  $3 \times R_n = 3 \times 40 = 120 \text{ Ohm}$

$$Z_{1eq} \text{ dan } Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1 \text{ feeder}}$$

$$= j4 + j0,2830 + Z_{1 \text{ feeder}}$$

$$= j4,2830 + Z_{1 \text{ feeder}}$$

Dalam hal ini lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 25%, 45%, 65% dan 100% panjang feeder, maka  $Z_{1eq}$  ( $Z_{2eq}$ ) yang didapat adalah:

**% Panjang Impedansi  $Z_{1eq}$  ( $Z_{1eq}$ )**

$$25\% \quad j4,2830 + (0,6193 + j0,7216) = 0,6193 + j5,0046$$

$$45\% \quad j4,2830 + (1,1147 + j1,2989) = 1,1147 + j5,5819$$

$$65\% \quad j4,2830 + (1,6101 + j1,8762) = 1,6101 + j6,1592$$

$$100\% \quad j4,2830 + (2,4772 + j2,8865) = 2,4772 + j7,1695$$

$$Z_{0eq} = X_{t0} + 3 R_n + Z_{0 \text{ feeder}}$$

$$= 0,849 + 3.40 + Z_{0 \text{ feeder}}$$

$$= j0,849 + 120 + Z_{0 \text{ feeder}}$$

Dalam hal ini lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 25%, 45%, 65% dan 100% panjang feeder maka  $Z_{0eq}$  menghasilkan:

**% Panjang Impedansi  $Z_{0eq}$**

$$25\% \quad j0,849 + 120 + (1,8579 + j2,1648) = 121,8579 + j3,0138$$

$$45\% \quad j0,849 + 120 + (3,3442 + j3,8967) = 123,3442 + j4,7457$$

$$65\% \quad j0,849 + 120 + (4,8305 + j5,6286) = 124,8305 + j6,4776$$

$$100\% \quad j0,849 + 120 + (7,4316 + j8,6595) = 127,4316 + j9,5085$$

**c. Perhitungan arus gangguan hubung singkat**

Setelah mendapatkan impedansi ekivalen, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dihitung dengan menggunakan rumus dasar yaitu:

$$I_f = \frac{V_f}{Z_f} \text{ eq ..... (4.3)}$$

Dimana:

$I_f$  = arus gangguan hubung singkat

$V_f$  = tegangan pada titik sebelum

Zf = impedansi ekivalen dan titik gangguan sampai sumber

1) Gangguan hubung singkat 3 fasa

Pada gangguan hubung singkat 3 fasa dihitung untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada 25%, 45%, 65% dan 100% panjang feeder dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{hs\ 3\ fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{\sqrt{3} \times Z_{1eq}}$$

Nilai arus gangguan hubung singkat sesuai lokasi gangguan dapat dihitung sebagai berikut:

% panjang Arus Gangguan hubung Singkat 3 Fasa

$$25\ \% \quad \frac{2000}{\sqrt{3} \times (0,6193 + j5,0046)} = \frac{20000}{8,7239} = 2292,5526\ \text{A}$$

$$45\ \% \quad \frac{2000}{\sqrt{3} \times (1,1147 + j5,5819)} = \frac{20000}{9,8473} = 2031,0135\ \text{A}$$

$$65\ \% \quad \frac{2000}{\sqrt{3} \times (1,6101 + j5,1592)} = \frac{20000}{11,0135} = 1815,9531\ \text{A}$$

$$100\ \% \quad \frac{2000}{\sqrt{3} \times (2,4772 + j7,1227)} = \frac{20000}{8,7239} = 1524,0766\ \text{A}$$

2) Gangguan hubung singkat 2 fasa

Seperti halnya gangguan 3 fasa, gangguan hubung singkat 2 fasa juga dihitung untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada 25 %, 45 %, 65 %, 100 % panjang feeder dalam hal ini nilai Zteq sehingga arus gangguan hubung singkat 2 fasa di atas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{hs\ 2\ fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq}}$$

Nilai arus gangguan hubung singkat sesuai lokasi gangguan dapat dihitung sebagai berikut:

% Panjang Arus gangguan hubung singkat 2 fasa

$$25 \% \frac{2000}{2(0,16193+j5,0046)} = \frac{20000}{10,311} = 1939,6 \text{ A}$$

$$45 \% \frac{2000}{2(1,1147 + j5,5819)} = \frac{20000}{11,389} = 1756,8 \text{ A}$$

$$65 \% \frac{2000}{2(1,6101+j6,1592)} = \frac{20000}{12,732} = 1570,73 \text{ A}$$

$$100 \% \frac{2000}{2(2,4772+j 7,1695)} = \frac{20000}{15,17} = 1318,32 \text{ A}$$

3) Gangguan hubung singkat fasa ke tanah

Rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah juga dengan rumus:

$$I_0 = \frac{V_f}{Z}$$

Dimana:

$I_0$  = arus urutan nol

$V_f$  = tegangan fasa-netral sistem 20 KV

$$= \frac{20000}{\sqrt{3}}$$

$Z$  = jumlah impedansi urutan positif ( $Z_{1eq}$ ) dan impedansi urutan nol ( $Z_{0eq}$ )

$I_{hs} = 3 \times I_0$  sehingga arus hubung singkat 1 fasa ke tanah adalah:

$$I_{hs} \text{ fasa ke tanah} = \frac{3 \times 20000 / \sqrt{3}}{(Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq})}$$

$$= \frac{34642}{(2 \times Z_{1eq}) + Z_{0eq}}$$

Dari rumus di atas gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dihitung untuk masing-masing lokasi gangguan sebagai berikut;

% Panjang Arus gangguan hubung singkat fasa ke tanah

$$25\% \frac{34642}{2(0,6193+j5,0046)+(121,8579+j3,0138)} = \frac{64642}{123,7835} = 279,8596 \text{ A}$$

$$45\% \frac{34642}{2(1,1147+j5,5819)+(123,3442+j4,7457)} = \frac{64642}{126,5774} = 273,6823 \text{ A}$$

$$65\% \frac{34642}{2(1,6101+j6,1592)+(124,8305+j6,4776)} = \frac{64642}{129,4228} = 267,9953 \text{ A}$$

$$100\% \frac{34642}{2(2,4772+j7,1695)+(127,4316+j9,5085)} = \frac{64642}{134,5167} = 257,5294 \text{ A}$$

#### 4. Perhitungan arus hubung singkat feeder Soreang

##### a. Perhitungan impedansi feeder Soreang

$$Z_t = Z_2 = (4,5860 + j8,1424)$$

$$Z_0 = (13,758 + j24,4272)$$

##### b. Perhitungan impedansi ekivalen feeder Soreang

Dengan cara yang sama seperti perhitungan yang dilakukan pada feeder Pelanduk, maka hasil perhitungan impedansi feeder Soreang ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.1 Impedansi Ekivalen Feeder Soreang

%	Impedansi Ekivalen Feeder Soreang				
	Panjang	$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_{1eq} = Z_{2eq}$	$Z_{0eq}$
25%	6	$1,14654+j2,035$	$3,4395+j16,106$	$1,1465+j6,3186$	$123,43954+j6,95$ 58
45%	1	$2,0637+j3,664$	$6,19H+j10,9922$	$2,0637+j7,9471$	$126,191 +$ $j1,8412$
65%	6	$2,9809+j5,292$	$8,9427+j15,877$	$2,9809+j9,5756$	$128,9427+j16,72$ 76

100%	4,5860+j8,142	13,758+j24,427	4,5860+J12,425	133,758+J25,276
	4	7	4	2

**c. Perhitungan arus gangguan hubung singkat feeder Soreang**

Tabel 4.2 Arus Gangguan Hubung Singkat Feeder Soreang

% Panjang	Arus Gangguan Hubung Singkat Feeder Soreang		
	3 fasa	2 fasa	fasa ke tanah
25	1800,2286	1557,269	272,2359
45	1408,0045	1217,953	270,2363
65	1152,7444	997,108	240,8583
100	872,8655	755,002	236,5748

**5. Perhitungan arus hubung singkat feeder Bojo**

- a. Perhitungan impedansi feeder Bojo

$$Z_1 = Z_2 = 3,6619 + j21,7937$$

$$Z_0 = 10,9857 + j65,3811$$

- b. Perhitungan impedansi ekivalen feeder Bojo

Tabel 4.3 Impedansi ekivalen feeder Bojo

% Panjang	Impedansi Ekivalen Feeder Bojo			
	$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_{1eq} = Z_{2eq}$	$Z_{0eq}$
25%	0,9154+j5,448	2,7469+j16,3452	0,9154+j9,7314	122,74694+j17,19

	4			42
45%	1,6478+j9,807	4,9436+j29,421	1,6478+j14,090	124,9436+j30,270
	1	5	1	5
65%	2,3802+j14,165	2,1407+j42,497	2,3802+j18,448	127,1407+j43,346
	9	7	9	7
100%	3,6619+j21,79	10,9857+j65,38i	3,6619+j26,076	130,9857+j66,230
	37	1	7	1

c. Perhitungan arus gangguan hubung singkat feeder Bojo

Dengan cara yang sama seperti perhitungan yang sama dilakukan pada feeder lainnya diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.4 Arus Gangguan Hubung Singkat Feeder Bojo

% Panjang	Arus Gangguan Hubung Singkat Feeder Bojo		
	3 fasa	2 fasa	fasa ke tanah
25	1182,7671	1023,070	266,7665
45	1171,3099	704,920	245,8068
65	621,4288	537,577	224,376
100	439,0258	379,759	190,2827

**6. Perhitungan arus hubung singkat feeder Pangsid**

a. Perhitungan impedansi feeder Pangsid

$$Z_1 = Z_2 - (3,0341 + j7,4972)$$

$$Z_0 = (9,1023 + j22,4916)$$

b. Perhitungan impedansi ekivalen feeder Pangsid

Dengan cara yang sama seperti pada perhitungan yang dilakukan pada feeder lainnya diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.5 Impedansi Ekuivalen Feeder Pangsid

%	Impedansi Ekuivalen Feeder Pangsid			
	$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_{1eq} = Z_{2eq}$	$Z_{0eq}$
25%	0,7585+j1,8743	2,2756+j5,6229	0,7585+j6,1573	122,2756+j6,4719
45%	1,3653+j3,3737	4,09604+j10,1212	1,3653+j7,6587	124,0960+j10,9702
65%	9721+j4.8731	5T9 165+j14,6195	1,9721+j39,1561	125,9165+j15,4685
100%	3,0341+j7,4972	9,1023 +j22,4916	3,0341+j1 1,7802	129,1023+j23,3406

c. Perhitungan arus gangguan hubung singkat feeder Pangsid

Tabel 4.6 Arus Gangguan Hubung Singkat Feeder Pangsid

% Panjang	Arus Gangguan Hubung Singkat Feeder Pangsid		
	3fasa	2fasa	fasa ke tanah
25	1863,4813	1611,863	276,6714
45	1486,0607	1285,430	267,4599
65	1234,3317	1067,692	258,1708
100	950,358	822,064	242,123

Dengan hasil perhitungan gangguan hubung singkat 3 fasa dan fasa ke tanah ini dapat digunakan untuk koordinasi relai proteksi arus lebih.

#### **D. Perhitungan Koordinasi Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Fasa Tanah (GFR)**

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat di atas selanjutnya dipergunakan untuk menentukan nilai setelan arus dan nilai setelan TMS (Time Multiple Setting) dari relai arus lebih. Di samping itu, setelah nilai setelan relai didapatkan, nilai-nilai arus gangguan hubung singkat pada setiap lokasi gangguan yang diasumsikan, dipakai untuk memeriksa kerja relai arus lebih tersebut, apakah masih dapat dinilai selektif atau nilai setelannya harus dirubah ke nilai yang lain yang memberikan kerja relai yang lebih selektif. Sedangkan untuk setelan arus dari relai arus lebih dihitung berdasarkan arus beban yang mengalir di feeder atau sisi trafo, yaitu:

1. Untuk relai arus lebih yang terpasang pada feeder dihitung berdasarkan arus beban maksimum yang mengalir di feeder tersebut.
2. Untuk relai arus lebih yang terpasang di sisi trafo dihitung berdasarkan arus nominal trafo tersebut.

Relai invers biasanya diset 1,05 s/d 1,1 kali arus beban maksimum, sedangkan relai defenitif diset sebesar 1,2 s/d 1,3 kali arus beban maksimum. Persyaratan lain yang harus dipenuhi adalah bahwa penyetelan waktu minimum dari setelan relai arus lebih (pada tiap feeder) harus lebih kecil dari 0,3 detik.

Pertimbangan ini diambil agar relai tidak sempat trip iagi akibat arus lebih dari trafo-trafo distribusi yang memang sudah tersambung di jaringan distribusi sewaktu PMT feeder tersebut dimasukkan.

#### **1. Perhitungan setelan relai arus lebih masing-masing feeder**

##### **a. Perhitungan setelan relai arus lebih feeder Pelanduk**

Pada feeder Pelanduk besarnya arus beban adalah 80 Ampere, ratio trafo arus yang terpasang adalah 200/5 A.

- 1) Nilai setelan arus  
I set (primer)  
= 1,05 x I beban

$$= 1,05 \times 80$$

$$= 84 \text{ A}$$

Nilai setelan tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder pada pada relai arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan data ratio trafo arus yang terpasang pada feeder tersebut yaitu

$$I \text{ set (sekunder)} = I \text{ set (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

$$= 84 \times \frac{1}{200/5}$$

$$= 2,1 \text{ A}$$

## 2) Nilai setelan waktu (Tms)

Setelan waktu relai standar inverse dihitung berdasarkan british adalah menggunakan rumus:

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

ket :

$I_{\text{fault}}$  = arus gangguan hubung singkat

Untuk menentukan nilai Tms yang akan diset pada relai arus lebih diambil misalnya angka arus gangguan sebesar arus gangguan untuk 2 tase pada lokasi 45% panjang feeder dan waktu kerja relai arus lebih di feeder itu diambil selama 0,3 detik, maka nilai Tms yang akan disetkan pada relai arus lebih adalah:

$$Tms = \frac{tx \left[ \frac{(I_{\text{fault}})}{(I_{\text{set}})} \right]^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,3 \times \left[ \frac{(1756,8)}{(84)} \right]^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= 0,134 \text{ detik}$$

## b. Perhitungan setelan relai arus lebih feeder Soreang

Pada feeder Soreang besarnya arus beban adalah 52 A, dan ratio trafo arus yang terpasang adalah 100/5 A.

1) Nilai setelan arus

$$\begin{aligned} I \text{ set (primer)} &= 1,05 \times I \text{ beban} \\ &= 1,05 \times 52 \\ &= 54,6 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \text{ set (sekunder)} &= I \text{ set (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\ &= 54,6 \times \frac{1}{100/5} \\ &= 2,73 \text{ A} \end{aligned}$$

2) Nilai Setelan Waktu (Tms)

$$\begin{aligned} T_{ms} &= \frac{tx \left[ \frac{(I_{fault})}{(I_{set})} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= \frac{0,3x \left[ \frac{(1217,95)}{(54,6)} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= 0,137 \text{ detik} \end{aligned}$$

**c. Perhitungan setelan relai arus lebih feeder Bojo**

Pada feeder Bojo besarnya arus beban adalah 58 Ampere, dan ratio trafo arus yang terpasang adalah 100/5 A.

1) Nilai setelan arus

$$\begin{aligned} I \text{ set (primer)} &= 1,05 \times I \text{ beban} \\ &= 1,05 \times 58 \\ &= 60,9 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \text{ set (sekunder)} &= I \text{ set (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\ &= 60,9 \times \frac{1}{100/5} \\ &= 3,045 \text{ A} \end{aligned}$$

2) Nilai Setelan Waktu (Tms)

$$\begin{aligned} T_{ms} &= \frac{tx \left[ \frac{(I_{fault})}{(I_{set})} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= \frac{0,3x \left[ \frac{(704,920)}{(60,9)} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \end{aligned}$$

$$= 0,108 \text{ detik}$$

**d. Perhitungan setelan relai arus lebih feeder Pangsid**

Pada feeder Pangsid besarnya arus beban adalah 40 Ampere dan ratio trafo arus yang terpasang adalah 100/5 A.

1) Nilai setelan arus

$$\begin{aligned} I \text{ set (primer)} &= 1,05 \times I \text{ beban} \\ &= 1,05 \times 40 \\ &= 42 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \text{ set (sekunder)} &= I \text{ set (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\ &= 42 \times \frac{1}{100/5} \\ &= 2,1 \text{ A} \end{aligned}$$

2) Nilai Setelan Waktu (Tms)

$$\begin{aligned} T_{ms} &= \frac{tx \left[ \frac{(I_{fault})}{(I_{set})} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= \frac{0,3x \left[ \frac{(1285,43)}{(42)} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= 0,15 \text{ detik} \end{aligned}$$

**2. Perhitungan setelan relai arus lebih pada sisi 20 KV dari trafo daya**

Untuk menentukan nilai setelan relai arus Lebih, terlebih dahulu mengetahui arus nominal trafo daya.

Kapasitas : 16 MVA= 16.000 KVA

Tegangan : 150/20 KV

Impedansi : 10,64%

Adapun ratio CT yang terpasang pada sisi 20 KV dari transformator masing-masing 600/5 - 1200/5 A dan CT tersambung pada 600/5

a. Arus nominal trafo pada sisi 20 KV:

1) Nilai setelan arus

$$\begin{aligned} I_n \text{ (sisi 20 KV)} &= \frac{KVA}{KV\sqrt{3}} \\ &= \frac{16.000}{20\sqrt{3}} = 461,8802 \text{ A} \end{aligned}$$

$$I \text{ set (primer)} = 1,05 \times I_n$$

$$= 1,05 \times 461,8802$$

$$= 484,974 \text{ A}$$

Nilai setelan tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang disetkan pada relai arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan data ratio CT yang terpasang pada sisi 20 kV tersebut yaitu:

$$\begin{aligned} I \text{ set (sekunder)} &= I \text{ set (primer)} \times \frac{1}{\text{RatioCT}} \\ &= 484,974 \times \frac{1}{600/5} \\ &= 4,0414 \text{ A} \end{aligned}$$

2) Nilai setelan waktu (Tms)

Rumus yang digunakan untuk menghitung setelan waktu relai adalah:

$$t = \frac{0,14 \times Tms}{\left[\frac{Ifault}{Iset}\right]^{0,02} - 1}$$

Adapun waktu kerja relai arus lebih di sisi 20 kV harus dibuat lebih lambat berkisar 0,4 detik dari relai di feeder 20 kV (dari relai yang di sisi hilirnya) yang tujuannya adalah supaya relai sisi 20 kV memberi kesempatan pada relai feeder untuk bekerja lebih dahulu, agar bila terjadi gangguan hubung singkat di feeder tertentu, feeder tersebut saja yang trip. Sedangkan busbar 20 kV masih terhubung, sehingga beban di feeder lain masih bisa melayani. Untuk itu maka nilai Tms yang akan disetkan pada relai arus lebih di sisi 20 kV adalah:

$$Tms = \frac{tx \left[\frac{(Ifault)}{(Iset)}\right]^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$Tms = \frac{(0,3+0,4)x \left[\frac{(Ifault)}{(Iset)}\right]^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$Tms = \frac{0,7x \left[\frac{(Ifault)}{(Iset)}\right]^{0,02} - 1}{0,14}$$

Arus hubung singkat 3 fasa pada rel (busbar) 20 kV adalah

$$I_{hs} \text{ 3 fasa} = \frac{Vf}{Z_s + Z_r} = \frac{20000}{Z_s + Z_r} \cdot A$$

Di mana:

$Z_s$  = impedansi sumber dilihat dari sisi 20 kV yakni sebesar 4 Ohm

$Z_r$  = impedansi transformator sebesar  $X_{t1} = 0,2830$  Ohm

Maka:  $Z_s + Z_r = 4 + 0,2830$

$$= 4,2830 \text{ Ohm}$$

$$I_{hs} \text{ 3 fasa (pada rel 20 kV)} = \frac{20000}{Z_s + Z_r}$$

$$I_{hs} \text{ 2 fasa (pada rel 20 kV)} = \frac{20000}{2(Z_s + Z_r)}$$

$$= \frac{20000}{2(4,2830)}$$

$$= 2334,81A$$

Karena Tms pada relai arus lebih di feeder 20 kV diset pada arus gangguan sebesar arus gangguan hubung singkat 2 fasa maka perhitungan menentukan nilai Tms relai arus lebih di sisi 20 kV adalah sebagai berikut:

$$T_{ms} = \frac{tx \left[ \frac{(I_{fault})}{(I_{set})} \right]^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,7x \left[ \frac{(2334,81)}{(484,974)} \right]^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= 0,160 \text{ detik}$$

### 3. Perhitungan setelan relai gangguan fasa-tanah (GFR) masing-masing feeder

a. Setelan relai gangguan fasa-tanah (GFR) feeder Pelanduk

1) Nilai setelan arus

Sesuai kaidah penyetelan relai gangguan fasa-tanah yaitu:

$$I_{set} = 10\% \times I_{CT}$$

Sedangkan ratio CT yang tersambung pada feeder Pelanduk adalah 200/5 A

$$\begin{aligned} I_{set} (\text{primer}) &= 10\% \times 200/5 \\ &= 4A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{set} (\text{sekunder}) &= I_{set} (\text{Primer}) \times \frac{1}{\text{RatioCT}} \\ &= 4 \times \frac{1}{200/5} \\ &= 0,1 \text{ A} \end{aligned}$$

2) Nilai setelan waktu

Setelan waktu relai standar invers pada relai gangguan fasa-tanah sama dengan setelan relai arus lebih yaitu menggunakan rumus:

$$T_{ms} = \frac{tx \left[ \frac{(I_{fault})}{(I_{set})} \right]^{0,02} - 1}{0,14}$$

Hanya saja I fault di sini didapat dari hasil analisa arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dalam hal ini diambil nilai arus gangguan fasa ke tanah pada lokasi 45% panjang feeder, dan waktu kerja relai di feeder adalah  $t \sim 0,3$  detik, maka nilai Tms yang akan disetkan pada relai gangguan fasa tanah (GFR) adalah:

$$T_{ms} = \frac{tx \left[ \frac{(I_{fault})}{(I_{set})} \right]^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T_{ms} = \frac{0,3 \left[ \frac{(273,6823)}{(4)} \right]^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T_{ms} = 0,189 \text{ detik}$$

b. Setelan relai gangguan fasa-tanah (GFR) feeder Soreang

1) Nilai setelan arus

Pada feeder Soreang ratio CT yang tersambung adalah 100/5 A maka dengan cara yang sama seperti pada feeder Pelanduk akan diperoleh:

$$I_{set} (\text{primer}) = 2 \text{ A}$$

I set (sekunder) = 0,1 A

2) Nilai setelan waktu

$$T_{ms} = \frac{0,3x\left[\frac{(270,2363)}{(2)}\right]^{0,02} - 1}{0,14}$$

Tms = 00,22 detik

c. Setelan relai gangguan fasa-tanah (GFR) feeder Bojo

1) Nilai setelan arus

Pada feeder Bojo ratio CT yang tersambung adalah 200/5 A  
maka dengan cara yang sama seperti yang di atas diperoleh:

I set (primer) = 2 A

I set (sekunder) = 0,1 A

2) Nilai setelan waktu

$$T_{ms} = \frac{0,3x\left[\frac{(245,8068)}{(2)}\right]^{0,02} - 1}{0,14}$$

Tms = 0,216 detik

d. Setelan relai gangguan fasa-tanah (GFR) feeder Pangsid

1) Nilai setelan arus

Pada feeder Pangsid ratio CT yang tersambung adalah 200/5 A  
maka dengan cara yang sama seperti yang di atas diperoleh:

I set (primer) = 4 A

I set (sekunder) = 0,1 A

2) Nilai setelah waktu

$$T_{ms} = \frac{0,3x\left[\frac{(267,4599)}{(4)}\right]^{0,02} - 1}{0,14}$$

Tms = 0,188 detik

## BAB V

## PENUTUP

### A. Kesimpulan

Dari hasil analisa yang dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh dengan mengikuti ketentuan/kaidah penyetelan relai untuk pengamanan gangguan arus lebih dapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Agar mendapatkan koordinasi sistem proteksi arus lebih pada sisi 20 kV di GI pare-pare dengan baik, berdasarkan data-data yang ada seperti di atas diperlukan penyetelan arus dan waktu kerja pada relai arus lebih dengan pemilihan karakteristik standar inverse (normally inverse) sebagai berikut:
  - Feeder Pelanduk I set = 2,1 A Tms = 0,134
  - Feeder Soreang I set = 2,73 A Tms = 0,137
  - Feeder Bojo I set = 3,045 A Tms = 0,108
  - Feeder Pangsid I set = 2,1 A Tms = 0,15
  - Sisi 20 KV dari trafo II set = 4,044 A Tms = 0,16
2. Penyetelan arus dan waktu kerja pada relai gangguan fasa-tanah (ground fault relay, GFR) dengan pemilihan karakteristik standar inverse sebagai berikut:
  - Feeder Pelanduk I set=0,1 A Tms = 0,189
  - Feeder Soreang I set = 0,1 A Tms = 0,22
  - Feeder Bojo I set =0,1 A Tms =0,216
  - Feeder Pangsid I set = 0,1 A Tms = 0,188
3. Nilai setelan arus dan waktu kerja relai dengan analisa di atas berlaku apabila relai disetting dengan karakteristik standar inverse. Apabila dipilih karakteristik yang lain maka setelan dihitung sesuai rumus yang berlaku untuk masing-masing karakteristik tersebut.
4. Dengan adanya koordinasi sistem proteksi yang baik maka dapat memperkecil daerah pemadaman dan mempersingkat waktu pemadaman.
5. Dari hasil analisa perhitungan setelan relai arus lebih gangguan arus hubung singkat untuk masing-masing feeder di mana setelan sebelumnya yang ada di gardu induk Pare-pare 0,15 maka arus dirubah ke nilai setelan yang memberikan kerja relai yang lebih selektif di mana nilai Tms itu adalah:

- a. Feeder Pelanduk : Tms = 0,134
- b. Feeder Soreang : Tms = 0,137
- c. Feeder Bojo : Tms = 0,108
- d. Feeder Pangsid : Tms = 0,15
- e. Sisi 20 kV : Tms = 0,16

Jadi koordinasi waktu pemutusan relai arus lebih pada sisi 20 kV, harus memberi kesempatan relai pada setiap feeder bekerja lebih dahulu agar bila terjadi gangguan hubung singkat di feeder tersebut, maka feeder itu saja yang trip. Hal ini dapat terlihat pada nilai Tms di atas waktu pemutusan di sisi 20 kV dengan feeder lainnya selisih waktu kerja pemutusannya berbeda.

#### **B. Saran-saran**

Setelah menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini dapat diajukan saran-saran sebagai berikut:

1. Jika ada perubahan pada jaringan/sistem yang mungkin akan mempengaruhi koordinasi atau selektivitas proteksinya, maka nilai setelan relai proteksi yang bersangkutan harus ditinjau kembali pada setelan yang baru.
2. Pemeliharaan peralatan/sistem proteksi sangat diperlukan baik dalam periode tertentu maupun karena adanya perubahan jaringan atau sistem. Hal ini guna mempertahankan kondisi untuk meyakinkan bahwa peralatan/sistem proteksi itu tetap dapat berfungsi sebagaimana mestinya, sehingga kegagalan kerja proteksi dapat dihindari.

## DAFTAR PUSTAKA

Dinas Proteksi, Divlur/Dijusaha. *"Koordinasi Relai Arus Lebih dan Gangguan Tanah Dengan Fasititas Lotus 123"*. Diktat. PT.PLN (Persero). Kantor Pusat.

Jhon Parson and H.G. Barnet, *Electrical Translation and Distribution Reference Book*, Westinghouse Electrical Corporation, Eats Pittsburg, Fourth Edition, 2020.

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), *Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL)*, Jakarta, 2021.

PLN Wilayah VIII, Basil Rapat Dinas Tahunan PLN Wlayah VIII, Makassar, 2021.

R.F Lawrence, *General Considiration of Distribution*, Westinghouse Electrical Corporation, Pennsylvania, Volume 3, Taun 2000.

Soemarto Sudirman Ir., *Pola Pengaman Sistem Distribusi*, Topik I, Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 22021.

Soekarto J. *"Trafo Arus (Currant Transformator,CT)"*. Diktat. PT.PLN (Persero)Jasa Pendidikan dan Pelatihan.

Hutauruk.T.S.ME.Ir. *"Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan "*. 2000. Hlangga.

Stevenson.Ir. William,D. *"Analisa Sistem Tenaga"*. 2020.Erlangga. Sumanto;MA. *"Teori Transformalor" Wl.Andi Ofset.*

## LAMPIRAN



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR  
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Alamat Kantor: Jl. Sultan Alauddin NO.259 Makassar 90221 Tlp. (0411) 866972,881593, Fax (0411) 865588

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

### SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

UPT Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar,  
Menerangkan bahwa mahasiswa yang tersebut namanya di bawah ini:

Nama : Harianto / Muhammad Said.S  
Nim : 105821105317 / 105821103417  
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	0 %	10 %
2	Bab 2	0 %	25 %
3	Bab 3	10 %	10 %
4	Bab 4	0 %	10 %
5	Bab 5	0 %	5 %

Dinyatakan telah lulus cek plagiat yang diadakan oleh UPT- Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar Menggunakan Aplikasi Turnitin.

Demikian surat keterangan ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 28 Agustus 2023  
Mengetahui

Kepala UPT Perpustakaan dan Penerbitan,



Wahidul Huda, M.I.P  
NIM 1964 591

BAB I HARIANTO 105821103417  
● MUHAMMAD SAID.S  
105821105317

by Tahap Tutup

**Submission date:** 27-Aug-2023 06:48PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2151985857

**File name:** BAB\_1\_SKRIPSI\_UJI\_PLAGIASI.docx (17.69K)

**Word count:** 420

**Character count:** 2587

BAB I HARIANTO 105821103417 MUHAMMAD SAID.S  
105821105317

ORIGINALITY REPORT

0%

SIMILARITY INDEX

0%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES



Exclude quotes

Exclude bibliography

Exclude matches < 2%



## BAB II HARIANTO

• 105821103417 MUHAMMAD

SAID.S 105821105317

*by Tahap Tutup*

**Submission date:** 27-Aug-2023 06:49PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2151986024

**File name:** BAB\_2\_SKRIPSI\_UJI\_PLAGIASI.docx (555.39K)

**Word count:** 1592

**Character count:** 10229

BAB II HARIANTO 105821103417 MUHAMMAD SAID.S  
105821105317

ORIGINALITY REPORT

0%  
SIMILARITY INDEX

0%  
INTERNET SOURCES

0%  
PUBLICATIONS

0%  
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES



Exclude quotes  On  
Exclude bibliography  On

Exclude matches < 2%



# BAB III HARIANTO

• 105821103417 MUHAMMAD

SAID.S 105821105317

by Tahap Tutup

**Submission date:** 27-Aug-2023 06:49PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2151986202

**File name:** BAB\_3\_SKRIPSI\_UJI\_PLAGIASI.docx (59.63K)

**Word count:** 520

**Character count:** 3190

BAB III HARIANTO 105821103417 MUHAMMAD SAID.S  
105821105317

ORIGINALITY REPORT

**10%** SIMILARITY INDEX      **10%** INTERNET SOURCES      **0%** PUBLICATIONS      **7%** STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

- 1** Submitted to Universitas Muhammadiyah Makassar Student Paper **7%**
- 2** digilibadmin.unismuh.ac.id Internet Source **2%**

Exclude quotes  On      Exclude matches  < 2%

Exclude bibliography  On



BAB IV HARIANTO  
105821103417 MUHAMMAD  
SAID.S 105821105317

*by Tahap Tutup*

---

**Submission date:** 27-Aug-2023 06:50PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2151986503

**File name:** BAB\_4\_SKRIPSI\_UJI\_PLAGIASI.docx (472.57K)

**Word count:** 2082

**Character count:** 11323

BAB IV HARIANTO 105821103417 MUHAMMAD SAID.S  
105821105317

ORIGINALITY REPORT

<b>0</b> %	<b>0</b> %	<b>0</b> %	<b>0</b> %
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES



Exclude quotes  On Exclude bibliography  On Exclude matches  < 2%



BAB V HARIANTO  
105821103417 MUHAMMAD  
SAID.S 105821105317

by Tahap Tutup

**Submission date:** 27-Aug-2023 06:51PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2151987149

**File name:** BAB\_5\_SKRIPSI\_UJI\_PLAGIASI.docx (15.99K)

**Word count:** 248

**Character count:** 1569

BAB V HARIANTO 105821103417 MUHAMMAD SAID.S  
105821105317

ORIGINALITY REPORT

0%	0%	0%	0%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

Exclude quotes  On Exclude matches < 2%  
Exclude bibliography  On

