

**SKRIPSI**

**ANALISIS IMPEDANSI EKIVALEN ANTAR GARDU  
INDUKTERHADAP JARINGAN SALURAN  
TRANSMISI 150 kV**



**Oleh**

**MUAMMAR KHADAFI  
105 821 1112 16**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH**

**2023**

**UJIAN SARJANA**

**ANALISIS IMPEDANSI EKIVALEN ANTAR GARDU INDUK  
TERHADAP JARINGAN SALURAN TRANSMISI 150 kV**



**JURUSAN ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2023**



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 IMPEDANSI EKIVALEN ANTAR GARDU INDUK TERHADAP JARINGAN SALURAN TRANSMISI 150 KV**

Nama : 1. Muammar Khadafi

Stambuk : 1. 10582 11112 16

Makassar, 31 Juli 2023

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

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

Pembimbing II

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro



Ir. Adriani, S.T., M.T.,IPM

NBM : 1044 202



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Muammar Khadafi** dengan nomor induk Mahasiswa **10582 11112 16**, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0005/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 Selasa, 04 Juli 2023.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., ASEAN, Eng.

2. Penguji

a. Ketua

Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

b. Sekretaris : Anugrah, S.T., M.M

3. Anggota

1. Dr. Umar Katu, S.T., M.T

2. Dr. Ir. Hj. Hafsah Nirwana, M.T

3. Ir. Adriani, S.T., M.T., IPM

Mengetahui :

Pembimbing I

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

Pembimbing II

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Dekan



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

NBM : 795 108

## ABSTRAK

Abstrak : Renaldi P dan Muammar Khadafi (2023) Analisis Impedansi Ekvivalen Antar Gardu Induk Terhadap Jaringan Saluran Transmisi 150 kv dibimbing oleh DR. Ir Zahir Zainuddin, M.Sc., Rizal A Duyo, S.T., M.T. Adapun tujuan dari pada penelitian ini adalah Untuk mendapatkan data MVA hubung singkat pada bus sisi primer 150 kV di gardu induk Tello. Untuk mandapatkan data MVA hubung singkat pada sisi primer 150 kV di gardu induk Balusu. Untuk mandapatkan nilai reaktansi transformator pada GI Tello, GI Pangkep, dan GI Balusu. Metode yang dipergunakan pada penelittian ini adalah mengadakan penelitian dan pengambilan data di kantor PT. PLN Unit Pelayanan Transmisi (UPT) wilayah SULSELRABAR di Makassar. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah. Data MVA hubung singkat pada bus sisi primer 150 kV di gardu induk Tello adalah sebesar 2294,213 MVA. Untuk data MVA hubung singkat pada sisi primer 150 kV di gardu induk Balusu adalah sebesar 2401,943 MVA. Berdasarkan data teknis, untuk perhitungan reaktansi transformator dibagi menjadi tiga bagian yaitu pada GI Tello, GI Pangkep, dan GI Balusu. Besarnya reaktansi trafo tenaga (Distribusi 1) pada gardu induk Tello adalah sebesar 12.50%. Agar dapat mengetahui besarnya nilai reaktansi urutan positif, negatif, dan nol dalam  $\Omega$  (ohm), maka perlu terlebih dahulu perlu diketahui besarnya nilai ohm pada 100%

**Kata kunci ; Impedansi, Gardu Induk dan Saluran Transmisi**

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rahmat dan HidayahNya 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 Impedansi Ekuivalen Antar Gardu Induk Terhadap Jaringan Saluran Transmisi 150 kv”

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. Ibu DR. Ir. Hj. Nurnawaty, S.T., M.T. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Ibu Adriani, ST, MT., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak. DR. Ir. Zahir Zainuddin. M.Sc selaku Pembimbing I dan Bapak Rizal A Duyo, ST, MT, selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
4. 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.
5. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutam dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa fakultas teknik terkhusus angkatan 2017 dan Angkatan 2016 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 bernabfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

Makassar, Juni 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
ABTRAK .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	2
C. Tujuan Penelitian.....	2
D. Batasan Masalah .....	3
E. Manfaat Penelitian.....	3
F. Metode Penelitian .....	4
G. Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Proteksi Tentang Transformator Distribs.....	7
B. Saluran Transmisi Tenaga Listrik .....	8
C. Komponen Simetris .....	9
1. Komponen Urutan Positif.....	10
2. Komponen Urutan Negatif .....	11
3. Komponen Urutan Nol .....	11
D. Gangguan Hubung Singkat ( <i>Short Circuit Fault</i> ).....	12
1. Impedansi Sumber .....	14
2. Impedansi Transformator .....	15
3. Impedansi Saluran .....	15
4. Impedansi Ekuivalen Jaringan.....	16

5. Gangguan Hubung Singkat Tiga Phasa.....	17
6. Gangguan Hubung Singkat Dua Phasa.....	18
E. Sistem Proteksi.....	19
1. Pengertian Sistem Proteksi .....	19
2. Fungsi dan Peranan Proteksi .....	19
3. Syarat – Syarat Sistem Proteksi.....	20
4. Prinsip Dasar Proteksi .....	21
5. Penyebab Kegagalan Proteksi .....	22
F. Daerah Pengaman ( <i>Protection Zone</i> ).....	22
G. Relay Pengaman.....	24
H. Prinsip Dasar Relay.....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	27
B. Prosedur Penelitian .....	27
C. Teknik Pengumpulan Data.....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Hasil .....	32
1. Data Teknis.....	32
2. Perhitungan Impedansi Sumber.....	38
3. Perhitungan Reaktansi Transformator .....	38
4. Perhitungan Impedansi Saluran Transmisi Terhadap Titik Gangguan .....	40
5. Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan .....	42
<b>BAB V PENUTUP</b>	
A. Kesimpulan .....	49
B. Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>50</b>

## DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 4.1 Data Transformator Distribusi 1 GI Tello .....	33
Tabel 4.2 Data Transformator Distribusi 2 GI Tello .....	33
Tabel 4.3 Data Transformator Distribusi GI Pangkep .....	33
Tabel 4.4 Data Transformator Distribusi GI Borongloe .....	34
Tabel 4.5 Data CT .....	34
Tabel 4.6 Data OCR Pada Gardu Induk Tello .....	35
Tabel 4.7 Data OCR Pada Gardu Induk Pangkep .....	35
Tabel 4.8 Data OCR Pada Gardu Induk Balusu .....	36
Tabel 4.9 Data OCR Pada Saluran Transmisi .....	36
Tabel 4.10 Data Saluran Transmisi .....	37
Tabel 4.11 Reaktansi Transformator .....	39
Tabel 4.12 Impedansi Saluran Transmisi Terhadap Titik Gangguan .....	41
Tabel 4.13 Impedansi Ekuivalen Jaringan .....	47
Tabel 4.14 Impedansi Ekuivalen Jaringan Untuk Saluran Transmisi Antar GI....	47

## DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 2.1 Kondisi Seimbang .....	9
Gambar 2.2 Kondisi Tak Seimbang .....	10
Gambar 2.3 Urutan Fasor Komponen Urutan Positif .....	10
Gambar 2.4 Urutan Fasor Komponen Urutan Negatif .....	11
Gambar 2.5 Komponen Urutan Nol .....	12
Gambar 2.6 Gangguan Tiga Phasa .....	17
Gambar 2.7 Gangguan Hubung Singkat Dua Phasa .....	18
Gambar 2.8 Daerah Pengaman .....	23
Gambar 2.9 Elemen Dasar Relay .....	25
Gambar 3.1 Flow Chart Penelitian .....	29
Gambar 4.1 Diagram Satu Garis .....	32
Gambar 4.2 Rangkaian Impedansi Ekuivalen GI Tello Arah Pengaliran GI Tello	43
Gambar 4.3 Rangkaian Impedansi Ekuivalen GI Pangkep Arah Pengaliran GI Tello .....	44
Gambar 4.4 Rangkaian impedansi Ekuivalen Saluran Transmisi GI Tello – GI Pangkep .....	45

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Proses penyaluran energi listrik mulai dari pembangkit sampai ke konsumen selalu ada gangguan – gangguan yang tidak dapat dihindari. Seperti halnya pada sistem kelistrikan pada saluran transmisi 150 kV di GI Tello – GI Balusu dimana GI Balusu tergolong sebuah gardu induk baru masuk pada sistem kelistrikan wilayah SULSELRABAR yang dimanajemen oleh PT.PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Wilayah SULSELRABAR yang tidak menutup kemungkinan juga terjadinya suatu gangguan yang menimpa sistem kelistrikan di wilayah tersebut. Gangguan – gangguan bisa berupa gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat antar fasa, hubung singkat tiga fasa. Gangguan – gangguan tersebut menimbulkan arus yang sangat besar yang dapat merusak peralatan – peralatan listrik. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan sistem proteksi di sistem kelistrikan tersebut. Sehingga dengan adanya sistem proteksi diharapkan dapat mengisolasi gangguan yang terjadi agar tidak meluas ke area lain. Selain pertimbangan faktor keselamatan manusia, faktor ekonomi juga mendasari mengapa diperlukan sebuah sistem yang berfungsi melindungi peralatan – peralatan dari gangguan peralatan – peralatan dari gangguan yang terjadi.

Keandalan sebuah sistem proteksi sangat dituntut demi terjaganya kontinuitas penyaluran energi listrik. Untuk itu diperlukan koordinasi antar komponen penunjang sistem proteksi. Salah satu komponen penunjang yang

digunakan adalah relay arus lebih (*Over Current Relay/OCR*), relay proteksi ini sangat penting terutama untuk mengatasi gangguan hubung singkat.

Terdapat perhitungan yang kompleks pada koordinasi relay proteksi dengan mempertimbangkan nilai arus gangguan dan waktu operasi relay agar dapat mengetahui dasar *setting* dari relay arus lebih dan gangguan tanah itu sendiri. Sangat mungkin dilakukan perhitungan di suatu titik dimana terdapat beberapa relay arus lebih atau relay gangguan tanah. Akan tetapi jika jaringan listrik yang besar dan kompleks, untuk mengkoordinasi semua relay akan sangat sulit dilakukan dengan perhitungan

Berdasarkan permasalahan di atas maka dari itu penulis mengambil judul tentang “Analisis Koordinasi Setting Proteksi Relay Arus Lebih Saluran Transmisi Sistem 150 kV GI Tello – GI Balusu.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan seperti berikut :

1. Bagaimana koordinasi kerja relay arus lebih dalam mengatasi gangguan hubung singkat yang terjadi
2. Bagaimana menentukan nilai *setting* relay arus lebih ?
3. Bagaimana cara menghitung dan menganalisa besaran nilai *setting* relay arus lebih ?

## **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Untuk mendapatkan data MVA hubung singkat pada bus sisi primer 150 kV di gardu induk Tello
2. Untuk mandapatkan data MVA hubung singkat pada sisi primer 150 kV di gardu induk Balusu
3. Untuk mandapatkan nilai reaktansi transformator pada GI Tello, GI Pangkep, dan GI Balusu.

#### **D. Batasan Masalah**

Untuk mempermudah penulisan skripsi ini dan agar lebih biak dan terarah dan berjalan dengan baik, maka perlu kiranya dibuat suatu batasan masalah, adapun ruang lingkup permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan skripsi ini, yaitu :

1. Penelitian hanya membahas tentang sistem kelistrikan saluran transmisi 150 kV di GI Tello – GI Balusu yang masing – masing hanya mengambil 1 *line* saja.
2. Pada *single line diagram* masing – masing gardu induk yang terhubung pada GI Tello, GI Pangkep, dan GI Balusu melalui saluran transmisi.
3. Dalam analisis hanya memperhitungkan arus gangguan hubung singkat 2 phasa dan gangguan hubung singkat 3 phasa.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Pengetahuan bagi peneliti tentang karakteristik dan pengaturan relay arus lebih dan relay gangguan tanah di wilayah kerja PT.PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Wilayah SULSELBAR.
2. Dapat melakukan *setting* koordinasi relay arus lebih dengan karakteristik yang tepat.
3. Sebagai landasan bagi bidang koordinasi peralatan proteksi.

#### **F. Metode Penelitian**

Untuk memperoleh bahan dan data dalam melengkapi isi dari pada tugas akhir ini penulis melakukan penelitian dengan metode :

##### **1. Penelitian lapangan (Field Research)**

Untuk memperoleh data yang akurat dari perusahaan, maka Penulis mengadakan penelitian lapangan dengan menggunakan metode-metode sebagai berikut :

- Metode Wawancara (Interview) yaitu suatu metode yang digunakan untuk memperoleh data dengan mengadakan penelitian langsung dengan mengajukan beberapa pertanyaan secara lisan terhadap obyek-obyek yang diteliti.
- Metode Pengamatan (Observasi) yaitu Metode yang digunakan untuk memperoleh data dengan mengadakan penelitian langsung terhadap masalah yang diteliti.

## 2. Penelitian Pustaka

Untuk melengkapi data dalam menyusun tugas akhir ini penulis juga mengadakan penelitian dari beberapa literatur yang ada hubungannya dengan materi yang dibahas dalam tugas akhir ini.

### G. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan, penulis menyajikan pokok-pokok bahasan yang terdiri dari 5 bab, Uraian pokok bahasan adalah sebagai berikut :

- Bab I. Pendahuluan, yang terdiri dari latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.
- Bab II. Tinjauan Pustaka, yang terdiri dari Proteksi Tentang Transformator Distribs, Saluran Transmisi Tenaga Listrik, Komponen Simetris , Komponen Urutan Positif, Komponen Urutan Negatif, Komponen Urutan Nol, Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit Fault*), Impedansi Sumber, Impedansi Transformator, Impedansi Saluran, Impedansi Ekuivalen Jaringan, Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa, Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa, Sistem Proteksi, Pengertian Sistem Proteksi, Fungsi dan Peranan Proteksi, Syarat – Syarat Sistem Proteksi, Prinsip Dasar Proteksi, Penyebab Kegagalan Proteksi, Daerah Pengaman (*Protection Zone*), Relay Pengaman , Prinsip Dasar Relay OCR (*Over Current Relay*) , Pengertian OCR, Prinsip Kerja OCR, Karakteristik Waktu OCR, Perhitungan Koordinasi Relay Arus Lebih
- Bab III, Metodologi Penelitian, yang membahas tentang waktu, tempat dan alur serta metode penelitian

- Bab IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan, yang terdiri dari Data Teknis, Perhitungan Impedansi Sumber, Perhitungan Reaktansi Transformator, Perhitungan Impedansi Saluran Transmisi Terhadap Titik Gangguan , Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan, Perhitungan Arus Hubung Singkat, Gangguan Arus Hubung Singkat Antar Fasa, Gangguan Arus Hubung Singkat Tiga Fasa, Setting Arus OCR, Setting Waktu OCR, Pembahasan, Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Simulasi, Perbandingan Arus Hubung Singkat, Koordinasi Waktu Kerja Relay



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Proteksi Tentang Transformator Distribusi**

Penelitian tentang relay OCR telah banyak dilakukan antara lain yaitu pada penelitian yang berjudul Analisis Koordinasi *Setting Over Current Relay* Pada Trafo 60 MVA 150/20 kV dan Penyulang CBU 20 kV di Gardu Induk Cigereleng (Nugraha, 2020). Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan dan analisis penyetelan koordinasi relay proteksi transformator distribusi 60 MVA di gardu induk 150 kV. Hasil penelitian ini dapat meminimalkan *trip* pada penyulang yang disebabkan karena terjadinya gangguan hubung singkat.

Jurnal yang berjudul Analisis Sistem Koordinasi *Over Current Relay* (OCR) Pada Gardu Induk (GI) 150 kV Sokulilo (Henantyo, 2016). Dalam jurnal ini bertujuan untuk menganalisa besaran nilai *setting* dan karakteristik OCR yang digunakan di gardu induk Sukolilo serta mengetahui koordinasi dari OCR yang digunakan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa adanya gangguan arus dapat berpengaruh pada respon OCR dalam menangani suatu gangguan pada transformator 150/20 kV.

Berdasarkan dari pemaparan di atas, maka dilakukan pengembangan yang memiliki keterkaitan dengan penelitian tersebut yaitu tentang koordinasi *setting back up* proteksi relay OCR. Referensi tersebut digunakan untuk menentukan batasan – batasan masalah yang kemudian akan dikembangkan lebih lanjut pada penelitian ini.

## **B. Saluran Transmisi Tenaga Listrik**

Saluran transmisi tenaga listrik berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari pembangkitan sampai ke distribusi atau gardu induk. Dalam penyalurannya sistem transmisi dibagi menjadi dua kategori, yaitu saluran udara (*overhead line*) dan saluran bawah tanah (*underground*).

Saluran transmisi memiliki kategori tergantung pada panjang dari saluran transmisi serta ketelitian yang diinginkan. Dilihat dari panjangnya saluran transmisi dapat dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu (Stevenson, 2020):

- a. Saluran transmisi pendek, dengan jarak kurang dari 80 km (50 mil)
- b. Saluran transmisi menengah, dengan jarak antara 80 km (50 mil) dan 240 km (150 mil)
- c. Saluran transmisi panjang, dengan jarak lebih dari 240 km (150 mil)

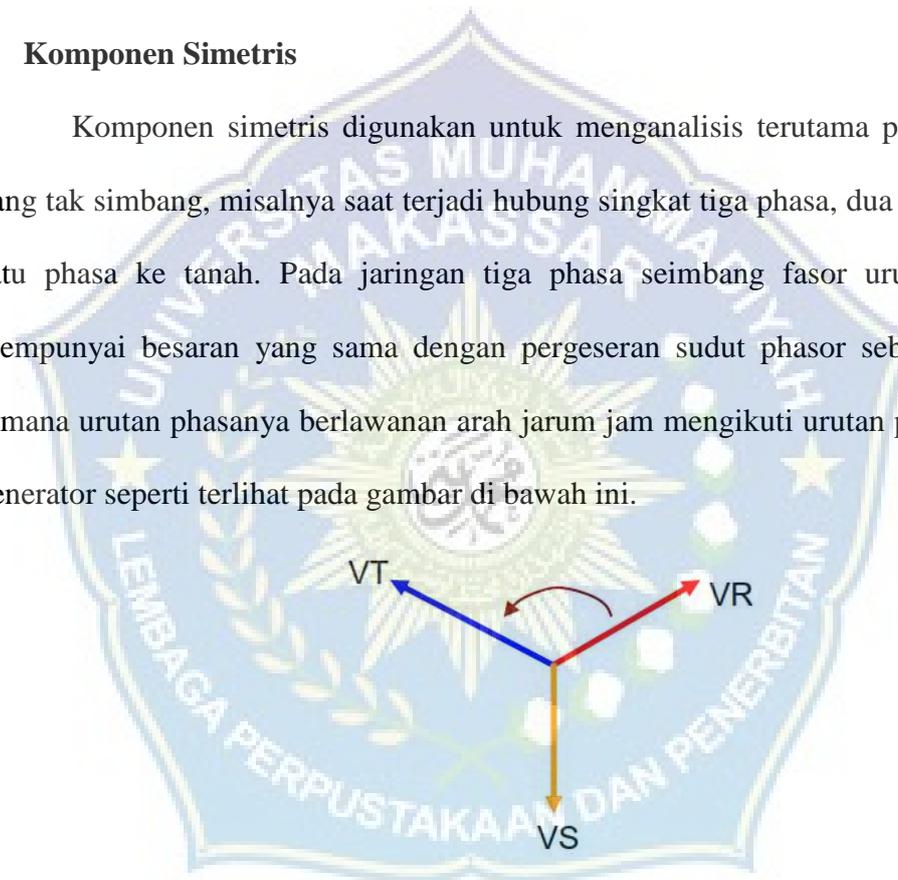
Dalam menyalurkan energi listrik saluran transmisi udara dapat dilihat berdasarkan besaran tegangannya, yaitu (Laksana, 2020):

- a. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) Digunakan pada pembangkitan dengan kapasitas di atas 500 MW, 200kV- 500kV. Tujuannya adalah agar drop tegangan dan penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien. Pembangunan transmisi ini cukup efektif untuk jarak 100 km sampai dengan 500 km.
- b. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), tegangan operasi antara 30 KV sampai dengan 150 kV. Konfigurasi jaringan pada umumnya single atau double sirkuit, dimana 1 sirkuit terdiri dari 3 fasa dengan 3 atau 4 kawat.

Biasanya hanya 3 kawat dan penghantar netralnya digantikan oleh tanah sebagai saluran kembali. Jika transmisi ini beroperasi secara parsial, jarak terjauh yang paling efektif adalah 100 km. Jika jarak transmisi lebih dari 100 km maka tegangan jatuh (drop voltage) terlalu besar, sehingga tegangan diujung transmisi menjadi rendah.

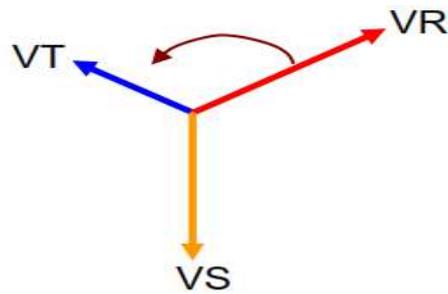
### C. Komponen Simetris

Komponen simetris digunakan untuk menganalisis terutama pada sistem yang tak simbang, misalnya saat terjadi hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa ke tanah. Pada jaringan tiga fasa seimbang fasor urutan fasa mempunyai besaran yang sama dengan pergeseran sudut phasor sebesar  $120^{\circ}$ , dimana urutan phasanya berlawanan arah jarum jam mengikuti urutan fasa pada generator seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 Kondisi Seimbang  
(Sumber: Karyana, 2020)

Jika terjadi hubung singkat, misalnya di fasa T, maka fasor tegangan menjadi tak seimbang, dimana besaran fasa T menjadi lebih kecil, sedangkan fasa lain (R & S) kemungkinan akan menjadi lebih besar dari sebelumnya seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.2 Kondisi Tak Seimbang  
(Sumber: Karyana, 2020)

Menurut teorema Fortescue, tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga sistem phasor yang seimbang yaitu komponen urutan positif, komponen urutan negatif, dan komponen urutan nol.

### 1. Komponen Urutan Positif

Komponen urutan positif terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam fasa sebesar  $120^0$ , dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti dengan fasor aslinya. Pada komponen urutan positif setiap fasanya diberi notasi 1:  $a_1$ ,  $b_1$ , dan  $c_1$ . Untuk lebih jelasnya fasor komponen urutan positif dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



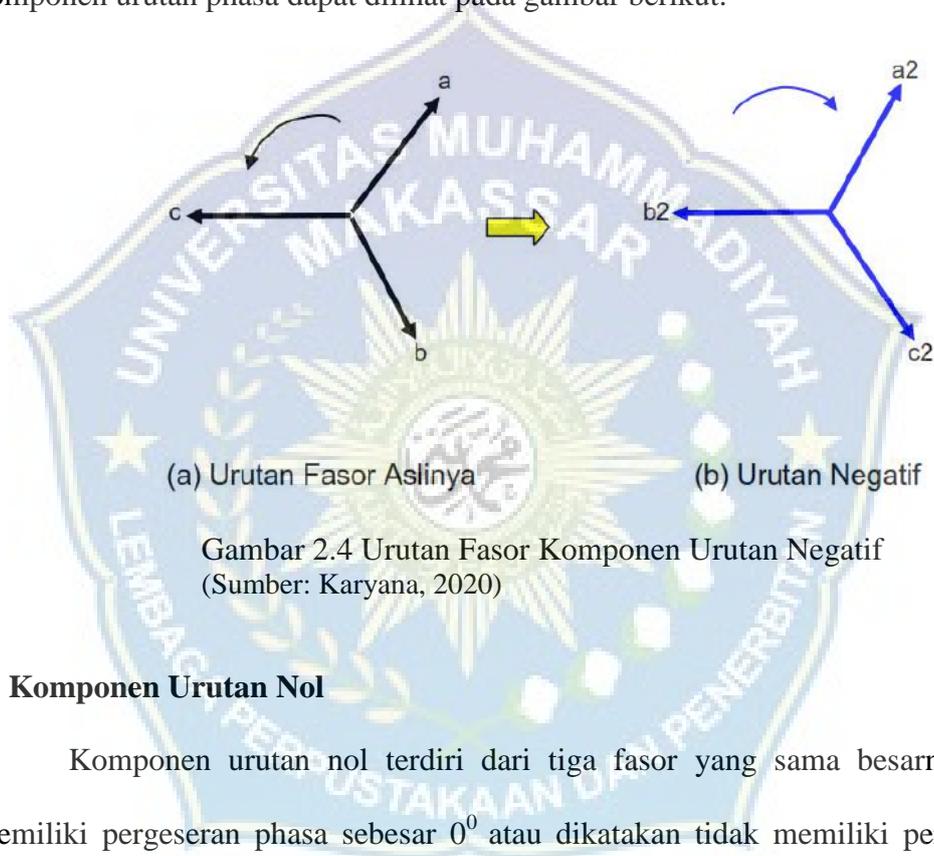
(a)Urutan Fasor Aslinya

(b)Urutan Positif

Gambar 2.3 Urutan Fasor Komponen Urutan Positif  
(Sumber: Karyana, 2020)

## 2. Komponen Urutan Negatif

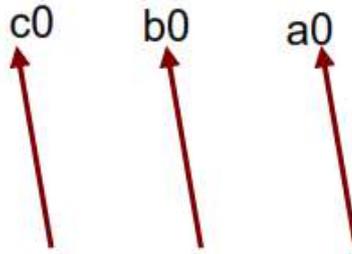
Komponen urutan negatif terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam fasa sebesar  $120^0$ , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya. Pada komponen urutan negative setiap fasa diberi notasi 2:  $a_2$ ,  $b_2$ , dan  $c_2$ . Untuk lebih jelasnya fasor komponen urutan fasa dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Urutan Fasor Komponen Urutan Negatif  
(Sumber: Karyana, 2020)

## 3. Komponen Urutan Nol

Komponen urutan nol terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan memiliki pergeseran fasa sebesar  $0^0$  atau dikatakan tidak memiliki perbedaan sudut antar fasa. Komponen urutan nol setiap fasanya diberi notasi 0:  $a_0$ ,  $b_0$ , dan  $c_0$ . Untuk lebih jelasnya fasor komponen urutan nol dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.5 Komponen Urutan Nol  
(Sumber: Karyana, 2020)

#### **D. Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit Fault*)**

Hubung singkat merupakan salah satu gangguan sistem tenaga listrik yang mempunyai karakteristik transient yang harus dapat diatasi oleh peralatan pengaman. Hubung singkat terjadi akibat hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Gangguan hubung singkat salah satu bagian yang sangat penting dalam analisis suplai daya listrik untuk mengetahui perhitungan arus yang mengalir dalam komponen-komponen penyusun jaringan saat terjadi gangguan. Dalam mencapai keadaan gangguan ini, tidak jarang di berbagai titik pada jaringan sengaja dibuat gangguan. Besarnya arus gangguan ini dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan berapa setting arus yang sebaiknya digunakan untuk proteksi serta rating-rating CB yang diperlukan. Selain itu studi hubung singkat atau studi gangguan bertujuan untuk (Laksana, 2020):

- a. Untuk menentukan arus maksimum dan minimum hubungan singkat tiga phasa

- b. Untuk menentukan arus gangguan tak-simetris bagi gangguan satu dan dua fasa ke tanah, gangguan antar fasa dan rangkaian terbuka.
- c. Untuk menentukan kapasitas pemutus dari *circuit breaker* (CB).
- d. Untuk menentukan distribusi arus gangguan dan tingkat tegangan busbar selama gangguan

Ada beberapa jenis gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik 3 fasa, yaitu:

- 1. Hubung singkat tiga fasa simetris:
  - a. Tiga fasa (L – L – L)
  - b. Tiga fasa (3L – G)
- 2. Hubung singkat tiga fasa tak simetris:
  - a. Satu fasa ke tanah (L – G)
  - b. Antar fasa ke tanah (2L – G)
  - c. Antar fasa (L – L)

Semua gangguan arus hubung singkat yang telah disebutkan diatas dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar yaitu:

$$I = \frac{V}{Z} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A)

V = Tegangan sumber (V)

Z = Impedansi jaringan, nilai ekuivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tenaga (ohm)

Ada beberapa asumsi yang perlu diperhatikan dalam analisa gangguan, yaitu (Laksana, 2020):

- a. Beban normal, kapasitansi pengisian saluran (line charging capacitance), hubungan shunt diabaikan.
- b. Semua tegangan internal sistem mempunyai magnitude dan sudut fasa sama.
- c. Biasanya tahanan seri dari saluran transmisi dan trafo diabaikan.
- d. Semua trafo dianggap pada posisi tap nominal.
- e. Generator, motor direpresentasikan dengan sumber tegangan tetap yang dihubungkan seri:
  - Dengan reaktansi sub-peralihan  $X_d''$  (sistem dalam keadaan sub-peralihan)
  - Atau dengan reaktansi peralihan  $X_d'$  (sistem dalam keadaan peralihan)
  - Atau dengan reaktansi sinkron  $X_d$  (sistem dalam keadaan *steady state*)

### 1. Impedansi Sumber

Sebelum menentukan besar arus hubung singkat terlebih dahulu harus menghitung besar impedansi sumber. Dalam menghitung impedansi sumber adapun data yang dibutuhkan adalah daya hubung singkat pada bus 150 kV yang dihitung dengan menggunakan persamaan (Affandi, 2020):

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

$X_s$  = Impedansi sumber (ohm)

$kV^2$  = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

$MVA$  = Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)s

## 2. Impedansi Transformator

Pada perhitungan impedansi trafo yang diambil adalah harga reaktansinya sedangkan tahanannya diabaikan karena bernilai sangat kecil. Adapun untuk menghitung impedansi trafo lakukan dengan cara seperti berikut.

Langkah pertama mencari nilai tahanan pada 100% pada sisi 150 kV, yaitu dengan menggunakan rumus (Affandi, 2020):

$$X_t(\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

$X_t$  = Impedansi trafo tenaga (ohm)

$kV^2$  = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Kemudian mencari nilai reaktansi tenaganya:

- Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ ) harus juga diketahui data % reaktansi pada trafo dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Affandi, 2020):

$$X_t = \% \text{ reaktansi trafo} \times X_t (\text{Pada } 100\%) \dots \dots \dots (2.4)$$

## 3. Impedansi Saluran

Untuk perhitungan impedansi saluran, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per km dari saluran yang akan di hitung yang biasanya juga disesuaikan dengan letak lokasi gangguan terhadap panjang saluran yang mungkin terjadi. Besar nilai impedansinya juga tergantung pada jenis penghantarnya dan luas penampang penghantar itu juga.

Disamping itu besar impedansi saluran juga dipengaruhi oleh perubahan temperatur dan konfigurasi saluran. Sebagai contoh, nilai impedansi suatu saluran dinyatakan dalam:  $Z = (R + jX)$ .

Sehingga untuk mendapatkan besar impedansi saluran dapat menggunakan rumus (Affandi, 2020):

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ jarak gangguan} \times \text{panjang saluran (km)} \times Z_1 \text{ (ohm)} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

$Z_1$  = Impedansi urutan positif (ohm)

$Z_2$  = Impedansi urutan negative (ohm)

Jika pada data yang telah diketahui besar impedansinya sudah 100% dari panjang saluran maka persamaannya:

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ jarak gangguan} \times Z_1 \text{ (ohm)} \dots\dots\dots (2.6)$$

#### 4. Impedansi Ekuivalen Jaringan

Menghitung besar impedansi ekuivalen adalah akumulasi dari besar nilai impedansi positif dan negatif dari titik gangguan sampai ke sumber. Karena dari sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah terhubung seri maka perhitungan impedansi ekuivalen positif dan negatif dapat dijumlah langsung. Adapun untuk menghitung impedansi ekuivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Affandi, 2020):

$$Z_{1eki} = Z_{2eki} = Z_s + Z_t + Z_L \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

$Z_{1eki}$  = Impedansi ekuivalen jaringan urutan positif (ohm)

$Z_{2eki}$  = Impedansi ekuivalen jaringan urutan negatif (ohm)

$Z_s$  = Impedansi sumber (ohm)

$Z_t$  = Impedansi trafo (ohm)

$Z_L$  = Impedansi saluran (ohm)

## 5. Gangguan Hubung Singkat Tiga Phasa

Pada gambar berikut ini menunjukkan rangkaian ekivalen hubung singkat 3 phasa.



Gambar 2.6 Gangguan Tiga Phasa  
(Sumber: Laksana, 2020)

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa arus maupun tegangan dalam keadaan gangguan tidak mengandung unsur urutan nol atau impedansi netral. Oleh sebab itu, pada hubung singkat tiga phasa sistem pentanahan nertal tidak berpengaruh terhadap besarnya arus hubung singkat.

Persamaan urutan tegangan pada gangguan hubung singkat tiga phasa dapat dicari dengan persamaan yang mengacu pada persamaan 2.1 (Affandi, 2020):

$$I_{3phasa} = \frac{V_{ph-n}}{Z_{1eki}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

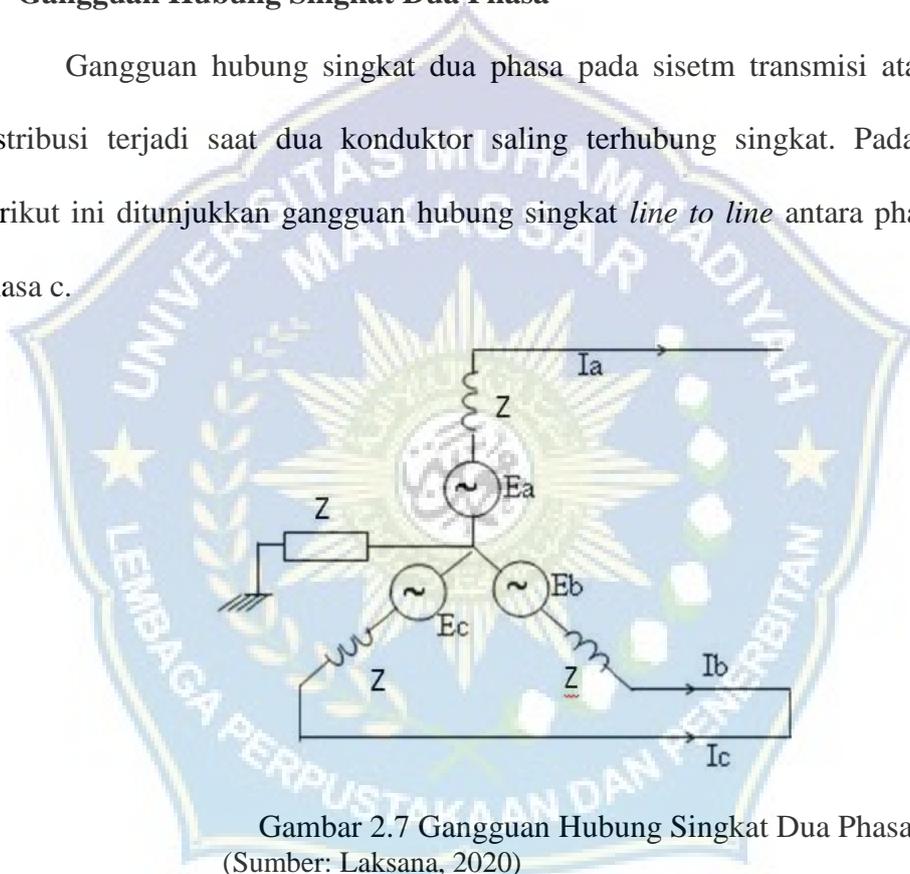
$I_{3\text{phasa}}$  = Arus hubung singkat 3 phasa (A)

$V_{\text{ph-n}}$  = Tegangan phasa ke netral sistem 150 kV =  $\frac{150000}{\sqrt{3}}$  (V)

$Z_{1\text{eki}}$  = impedansi ekivalen urutan positif (ohm)

## 6. Gangguan Hubung Singkat Dua Phasa

Gangguan hubung singkat dua phasa pada sisetm transmisi atau sistem distribusi terjadi saat dua konduktor saling terhubung singkat. Pada gambar berikut ini ditunjukkan gangguan hubung singkat *line to line* antara phasa b dan phasa c.



Gambar 2.7 Gangguan Hubung Singkat Dua Phasa  
(Sumber: Laksana, 2020)

Dari gambar di atas diperoleh hubungan yang mengacu pada pada persamaan 2.1 seperti rumus berikut:

$$I_{2\text{phasa}} = \frac{V_{\text{ph-ph}}}{Z_{1\text{eki}} + Z_{2\text{eki}}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

$I_{2\text{phasa}}$  = Arus hubung singkat 2 phasa (A)

$V_{ph-ph}$  = Tegangan phasa ke phasa 150 kV = 150000 V

$Z_{1eki}$  = Impedansi urutan positif (ohm)

$Z_{2eki}$  = Impedansi urutan negative (ohm)

## **E. Sistem Proteksi**

### **1. Pengertian Sistem Proteksi**

Adapun filosofi dasar dari Sistem proteksi yang dikemukakan oleh Sonny Tanyadji dan Sarma Thaha (2020:11) dalam karyanya bahwa

“Filosofi dasar dari sistem proteksi adalah bagaimana melindungi sistem tenaga listrik dari eksese gangguan yang terjadi pada sistem, dengan cara memisahkan gangguan tersebut dari sistem lainnya dengan cepat dan tepat”.

Proteksi adalah pengaman listrik pada sistem tenaga listrik yang dipergunakan untuk mengamankan sistem tenaga listrik yang terganggu dengan sistem tenaga listrik yang tidak terganggu, sehingga sistem kelistrikan yang tidak terganggu dapat terus bekerja (mengalirkan arus ke beban) (Rahman, 2020).

### **2. Fungsi dan Peranan Proteksi**

Adapun fungsi dan peranan proteksi dalam sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut (Parhupsi, 2020) :

- a. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan *abnormal* lainnya yang dapat membahayakan peralatan atau sistem.

- b. Memisahkan bagian sistem yang terganggu secepat mungkin sehingga kerusakan dapat dibatasi seminimum mungkin dan bagian sistem lainnya tetap data beroperasi.

### 3. Syarat – Syarat Sistem Proteksi

Ada beberapa persyaratan yang sangat perlu diperhatikan pada suatu sistem proteksi agar dalam pengoperasiannya dapat bekerja sesuai fungsinya secara maksimal. Syarat – syarat tersebut antara lain (Tanyadji, 2020):

#### a. Selektivitas

Sistem proteksi tersebut harus bereaksi dengan tepat, sehingga yang dipisahkan dari sistem hanya bagian yang terganggu, tanpa menyebabkan bagian lain yang tidak seharusnya terpisah dari sistem turut terpisah dari sistem..

#### b. Sensivitas

Sistem proteksi tersebut harus bereaksi terhadap gangguan yang bagaimanapun kecilnya selama gangguan tersebut termasuk tugasnya.

#### c. Keandalan

Sistem proteksi tersebut akan bekerja sesuai dengan apa yang diharapkan dimana keandalan dapat mengacu pada konsep *security* dan *dependability*.

Keandalan dengan konsep *security* berarti suatu kepastian bahwa sistem proteksi tidak akan salah operasi, yang berarti sistem proteksi tidak akan bereaksi terhadap gangguan yang bukan diperuntukkan kepadanya, bagaimanapun besarnya gangguan tersebut, sedangkan keandalan dengan konsep *dependability*

berarti suatu kepastian bahwa sistem proteksi pasti bereaksi untuk kondisi yang dirasakan sebagai gangguan.

**d. Kecepatan**

Reaksi sistem proteksi tersebut harus secepat mungkin memisahkan daerah yang terganggu dari sistem lainnya, tanpa menimbulkan hal – hal lain yang menimbulkan bentuk gangguan baru pada sistem.

**e. Kesederhanaan**

Peralatan dan rangkaian yang digunakan dalam sistem proteksi diharapkan sederhana akan tetapi tujuannya tetap tercapai.

**f. Ekonomis**

Diharapkan dalam sistem proteksi tercapainya penggunaan biaya yang minimum dengan fungsi proteksi yang maksimum.

**4. Prinsip Dasar Proteksi**

Berdasarkan fungsinya, relay proteksi dibedakan atas dua jenis, yaitu relay proteksi utama (*main protection relay*) dan relay cadangan (*back up protection relay*). Bilamana terjadi gangguan dalam salah satu zona, relay proteksi yang berfungsi sebagai *main protection* akan membuka semua CB dalam daerah tersebut sehingga gangguan akan terisolir secara sempurna dari sistem lainnya.

Agar *back up protection* tidak mengalami kegagalan operasi akibat hal yang sama dengan *main protection*, maka *back up protection* tidak boleh mempunyai kesamaan dengan *main protection* dalam hal *detector* atau sensor yang dipakai mendeteksi perubahan parameter dari sistem, CB yang diperintahkan dan sumber DC untuk relay.

Penyettingan waktu kerja relay proteksi cadangan dibuat lebih lama dibandingkan dengan relay proteksi utama, sehingga adanya perbedaan waktu kerja yang cukup untuk bekerjanya sistem proteksi utama (Rahman, 2020).

## 5. Penyebab Kegagalan Proteksi

Kegagalan atau keterlambatan kerja proteksi dapat disebabkan antara lain karena (Parhusip, 2020):

- a. Relay telah rusak atau tidak konsisten kerjanya.
- b. *Setting* relaynya tidak benar (kurang sensitif atau kurang cepat)
- c. Baterainya lemah atau kegagalan sistem DC *supply* sehingga tidak mampu mentripkan PMT.
- d. Hubungan kontak kurang baik.
- e. Kemacetan mekanisme *tripping* pada PMT karena kotor, karat, patah atau meleset.
- f. Kegagalan PMT dalam memutuskan arus gangguan yang bisa disebabkan oleh arus gangguannya terlalu besar melampaui kemampuan pemutusya (*interrupting capability*), atau kemampuan pemutusya telah menurun.
- g. Kegagalan saluran komunikasi teleproteksi.
- h. Trafo arus terlalu jenuh.

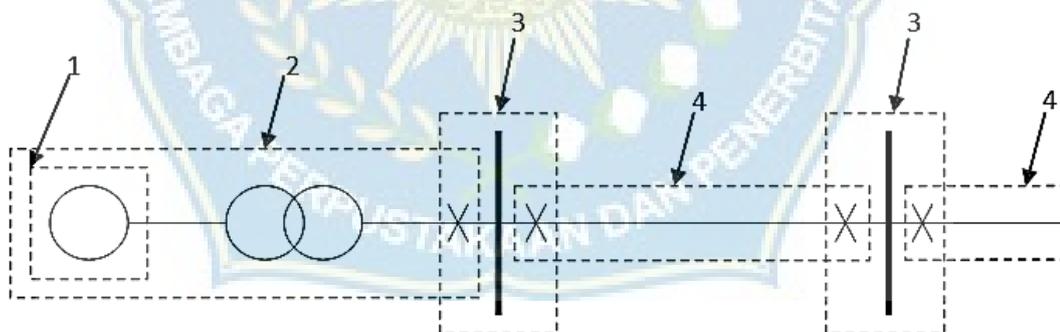
## F. Daerah Pengaman (*Protective Zone*)

Suatu bagian dari sistem daya (generator, transformator, jaringan transmisi, *busbar*, dll) dilindungi berdasarkan daerah pengamannya. Keseluruhan sistem daya dicakup oleh beberapa daerah pengaman dan tidak ada bagian sistem

yang tidak diamankan. Setiap daerah mencakup satu atau dua komponen sistem daya. Daerah yang berdekatan saling *overlap*, sehingga tidak daerah yang tidak dilindungi. Batas daerah pengaman ditentukan lokasi trafo arus. Daerah pengaman dapat dibagi atas dua sistem yaitu (Laksana, 2020):

1. Sistem unit adalah suatu sistem dimana daerah dapat ditentukan secara pasti. Pengaman hanya bereaksi terhadap gangguan di dalam daerah yang dilindunginya, dan tidak bereaksi terhadap gangguan lewat (gangguan di luar daerah pengamannya).
2. *Non* sistem unit seperti pengaman gangguan hubung singkat tidak mempunyai batas yang pasti. Setiap daerah mempunyai skema pengaman tertentu dan setiap skema pengaman mempunyai sistem pengaman.

Untuk lebih jelasnya gambaran tentang daerah pengaman suatu sistem proteksi terhadap sistem daya listrik dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.8 Daerah Pengaman  
(Sumber: Laksana, 2015)

Keterangan:

----- : Batas daerah pengaman ditentukan oleh lokasi CT

X : Pemutus tenaga (PMT)

1 : Daerah pengaman generator – trafo unit

- 2 : Daerah pengaman generator – trafo unit
- 3 : Daerah pengaman busbar
- 4 : Daerah pengaman jaringan transmisi

### **G. Relay Pengaman**

Rele pengaman merupakan susunan atau rangkaian, baik elektronik maupun magnetik yang mampu merespon terhadap adanya suatu gangguan atau kesalahan dalam sistem tenaga listrik dan secara otomatis memutuskan hubungan peralatan yang terganggu atau memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga (*circuit breaker*) agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem yang normal. Rele proteksi dirancang untuk memutuskan jika terjadi hubung singkat yang dapat mengakibatkan gangguan besar terhadap operasi sistem yang normal (kerusakan peralatan, drop tegangan dan lain-lain), untuk itu semua rele proteksi dirancang untuk memutuskan elemen sistem yang mengalami gangguan.

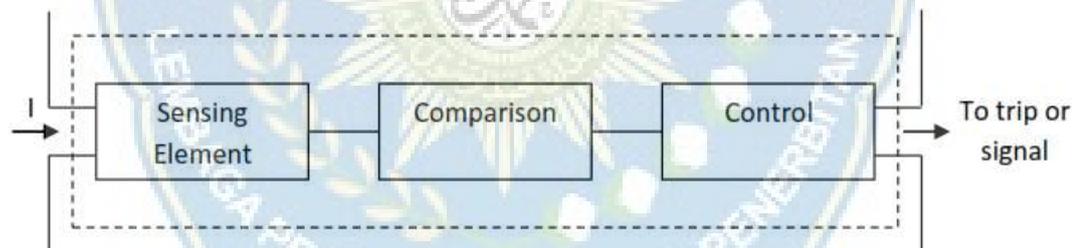
Relay juga didesain untuk memberikan sinyal apabila terjadi *overload* atau hubung singkat yang tidak terlalu membahayakan elemen sistem yang terganggu maupun sistem secara keseluruhan, sehingga mencegah pemutusan suplai tenaga listrik ke konsumen. Karakteristik operasi dari suatu relay tergantung pada besaran – besaran yang diberikan padanya, misalnya arus dan tegangan dan berbagai kombinasi dari kedua besaran ini dan juga dengan cara bagaimana relay tersebut didesain untuk memberikan respon terhadap informasi – informasi tersebut (Laksana, 2015).

## H. Prinsip Dasar Relay

Relay pada umumnya dapat dibedakan menjadi tiga elemen dasar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15 yaitu:

- a. Elemen perasa, mengukur adanya besaran listrik, misalnya perubahan arus dan tegangan pada sistem.
- b. Elemen pembanding, bertugas membandingkan besaran yang terukur dengan besaran yang telah diset sebelumnya.
- c. Elemen pengontrol, merupakan sinyal atau mengontrol rangkaian lain, misalnya membuat sakelar suatu rangkaian tertutup.

Berikut ini akan ditinjau bentuk yang paling sederhana dari suatu relay arus elektromagnetik yang disiapkan untuk merespon magnitude arus yang mengalir dalam rangkaian yang dikontrol.



Gambar 2.9 Elemen Dasar Relay  
(Sumber: Laksana, 2020)

Dalam rangkaian listrik terdiri dari tiga elemen, arus  $I$  adalah arus yang diserap relay dan sumber DC adalah sumber untuk rangkaian pen – *trip*. Besar arus ini dibatasi sampai harga tertentu, dan apabila melewati harga yang sudah ditentukan maka jaringan akan diputus oleh *circuit breaker* (CB) atau dikirim sinyal *impuls* kepada *alarm*, atau menunjukkan telah mengalir arus yang besar

dalam rangkaian. Agar operasi rangkaian di atas berlangsung demikian, maka satu peralatan khusus yang disebut relay harus berada pada rangkaian (Laksana, 2020).



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

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

##### 1. Waktu

Pelaksanaan kegiatan penelitian ini dimulai pada bulan Maret 2023 sampai dengan bulan Agustus 2023.

##### 2. Tempat

Tempat untuk melakukan kegiatan penelitian ini dilakukan di Jl. Sultan Alauddin No. 259 Gunung Sari Kec. Rappocini Kota Makassar

#### **B. Prosedur Penelitian**

Tahapan-tahapan yang dilakukan dari masalah hingga hasil atau kesimpulan membentuk suatu alir yang sistematis yang dinamakan alir metode penelitian. Diagram alir metode penelitian pada tugas akhir ini dimaksudkan untuk mempermudah proses penelitian.

Diagram alir ini digunakan sebagai pedoman dalam melakukan penelitian agar tidak kehilangan arah serta tidak menyimpang dari tujuan awal sehingga hasil yang didapat sesuai dengan perencanaan sebelumnya.

Penelitian dimulai dari melakukan studi literatur. Studi literatur ini bertujuan untuk mempelajari mengenai impedansi ekivalen transformator, baik itu dari internet, buku, maupun jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penulisan dari tugas akhir ini.

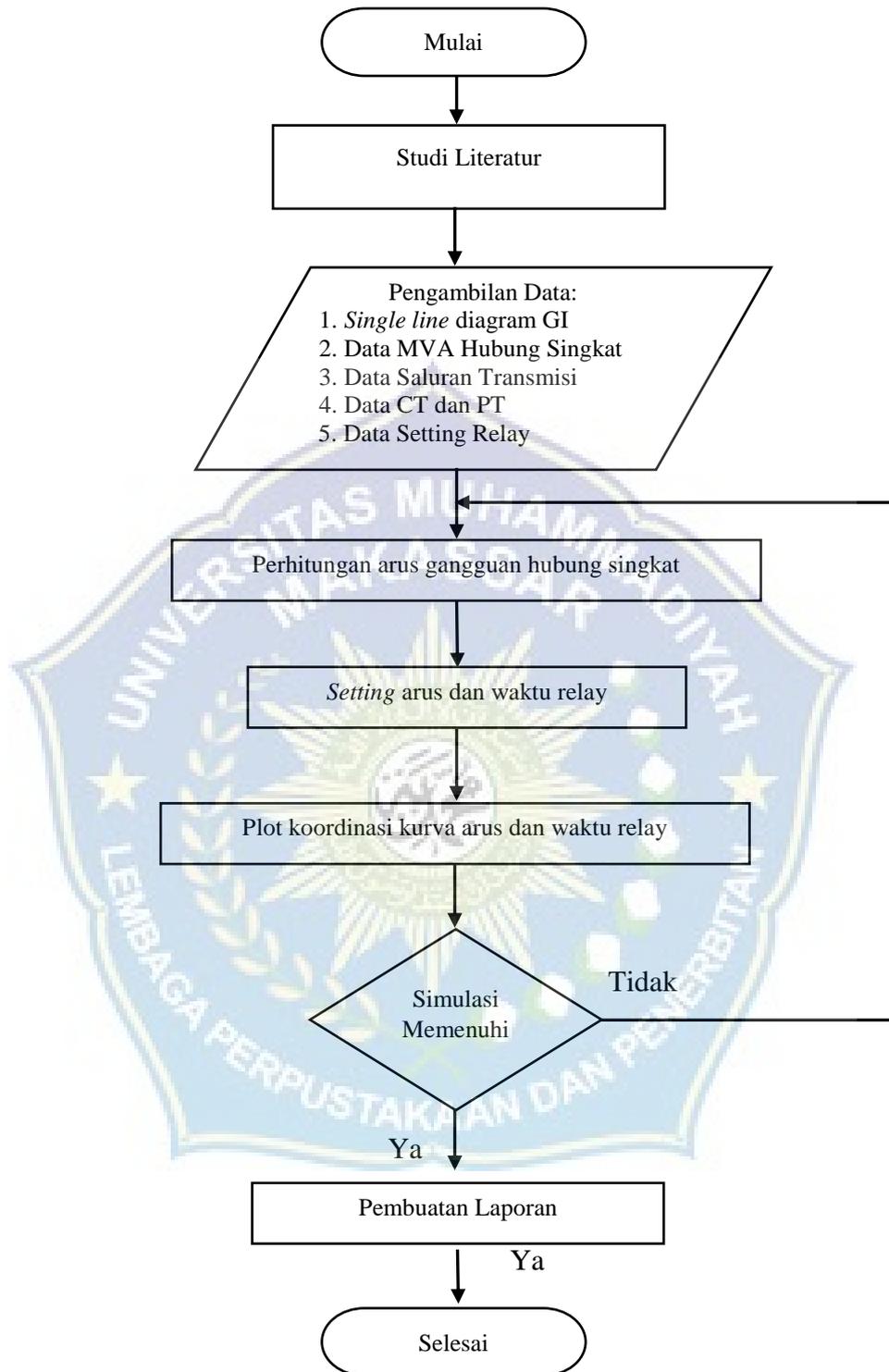
Tahapan selanjutnya adalah studi lapangan. Pada tahap ini yang dilakukan adalah peninjauan langsung ke lapangan yakni di kantor PT. PLN Unit Pelayanan Transmisi (UPT) wilayah SULSELRABAR tempat dimana dilakukan pengambilan data-data yang diperlukan.

Kemudian pada tahap pengambilan data yang dilakukan adalah mengunjungi lokasi yang di jadikan objek penulisan tugas akhir melakukan pengukuran pada objek serta melakukan tanya jawab dengan staf ataupun teknisi yang bersangkutan dan mencari data-data tambahan dari literatur.

Pada tahap pengolahan data digunakan metode *statistik* dimana perhitungan untuk mendapatkan nilai-nilai dilakukan dengan cara perhitungan manual, kemudian data yang diperoleh selanjutnya akan dianalisis.

Analisis yang dilakukan yaitu dengan membandingkan hasil dari perhitungan yang dilakukan dengan standar yang ada. Kemudian diperoleh hasil evaluasi dari penelitian ini serta rekomendasi-rekomendasi yang dapat diberikan untuk menjaga atau memperbaiki sistem pembumian yang ada.

Berikut adalah gambar diagram alir prosedur penelitian.



Gambar 3.1 *Flow Chart* Prosedur Penelitian

### C. Teknik Pengumpulan Data

Dalam melakukan pengumpulan data, yang dilakukan adalah melakukan pengambilan data yang dibutuhkan pada instansi terkait, melakukan wawancara langsung, dan juga dapat juga dengan melakukan pencarian referensi pada kumpulan literature yang telah didapatkan untuk untuk menunjang penelitian. Adapun data – data yang dibutuhkan dalam pembuatan skripsi ini antara lain sebagai berikut:

- a. Data Single Line Diagram
- b. Data Transformator
- c. Data Saluran Transmisi
- d. Data Rasio Transformator Arus (CT)
- e. Data Setting Backup Proteksi
- f. Data MVA Hubung Singkat

Teknik pengumpulan data merupakan cara yang digunakan penulis untuk mendapatkan data dalam suatu penulisan. Adapun teknik pengumpulan data yang digunakan pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Observasi

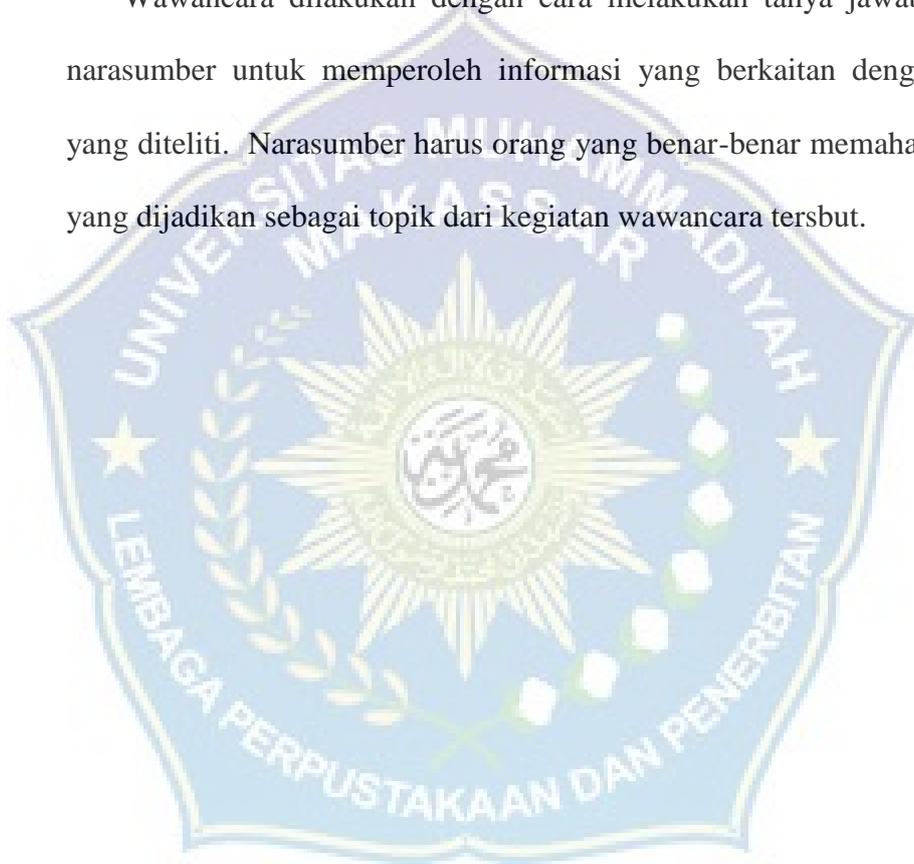
Pada proses melakukan observasi, penulis melakukan peninjauan langsung ke tempat yang dijadikan objek penulisan yakni di kantor PT. PLN Unit Pelayanan Transmisi (UPT) wilayah SULSELRABAR .

## 2. Studi literatur

Pada studi literatur, penulis mendapatkan informasi dari berbagai sumber, baik itu dari jurnal-jurnal maupun dari buku-buku yang pembahasannya sesuai dengan judul maupun tujuan dari tugas akhir ini.

## 3. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan cara melakukan tanya jawab dengan narasumber untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan objek yang diteliti. Narasumber harus orang yang benar-benar memahami objek yang dijadikan sebagai topik dari kegiatan wawancara tersebut.



## BAB IV

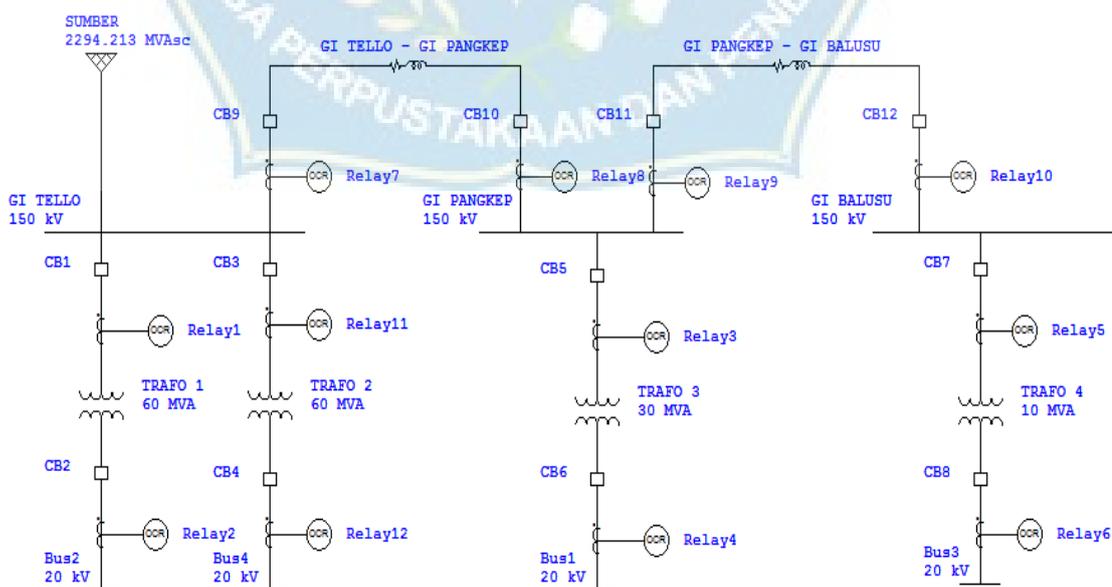
### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Data Hasil Penelitian

##### 1. Data Teknis

###### a. Diagram Satu Garis

Untuk data diagram satu garis diambil pada gambar *single line diagram* sistem SULSELRABAR dan difokuskan pada tiga gardu induk yaitu GI Tello, GI Pangkep, dan GI Balusu. Pada saluran transmisi yang menghubungkan ketiga gardu induk tersebut masing – masing memiliki 2 saluran yang menghubungkan antara gardu induk dan hanya 1 saluran yang digunakan untuk analisis. Adapun gardu induk yang juga terhubung pada masing – masing ketiga gardu induk diabaikan selain ketiga gardu induk yang telah disebutkan. Gambar diagram satu garis dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.1 Diagram Satu Garis

b. Data Transformator

Data transformator yang digunakan meliputi besar tegangan kerja, besar kapasitas daya (MVA) transformator, persen (%) reaktansi transformator, dan besar reaktansi. Untuk lebih jelasnya data transformator yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Data Transformator Distribusi 1 GI Tello

<b>Data</b>	<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>
Kapasitas	60	MVA
Teg. Kerja	150/20	kV
% Reaktansi	12.5	%
Reaktansi ( $X_1$ )	46.88	Ohm

Tabel 4.2 Data Transformator Distribusi 2 GI Tello

<b>Data</b>	<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>
Kapasitas	60	MVA
Teg. Kerja	150/20	kV
% Reaktansi	13.25	%
Reaktansi ( $X_1$ )	49.69	Ohm

Tabel 4.3 Data Transformator Distribusi GI Pangkep

<b>Data</b>	<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>
Kapasitas	60	MVA
Teg. Kerja	150/20	kV
% Reaktansi	12.5	%
Reaktansi ( $X_1$ )	46.88	Ohm

Tabel 4.4 Data Transformator GI Borongloe

Data	Nilai	Satuan
Kapasitas	10	MVA
Teg. Kerja	150/20	kV
% Reaktansi	9.13	%
Reaktansi ( $X_1$ )	44.74	Ohm

Pada tabel 4.4, khusus untuk GI Balusu dikarenakan GI tersebut masing tahap perencanaan maka data transformator yang mendekati nilai kapasitas daya pada GI Balusu adalah pada GI Borongloe yang diambil sebagai rujukan untuk mengganti data transformator pada GI Balusu.

c. Data CT

*Current Transformer* digunakan untuk mengkonversi arus yang besar menjadi lebih kecil untuk keperluan pengukuran peralatan proteksi seperti relay. Adapun data CT yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.5 Data CT

Gardu Induk	Sisi 150 kV (Ampere)	Sisi 20 kV (Ampere)
GI Tello (Distribusi 1)	150/5	1200/5
GI Tello (Distribusi 2)	150/5	1200/5
GI Pangkep	200/5	200/5
GI Balusu	300/5	300/5

Pada Tabel 4.5, khusus untuk GI Balusu juga mengambil rujukan pada GI Borongloe sebagai ganti data CT. Pada saluran transmisi 150 kV GI Tello – GI Pangkep dan GI Pangkep – GI Balusu mempunyai ratio CT yang sama yaitu **600/5** ampere.

d. Data OCR

Relay OCR yang digunakan sebagai pengaman peralatan ketika terjadinya gangguan oleh adanya arus hubung singkat yang berasal dari gangguan hubung singkat antar fasa maupun gangguan hubung singkat tiga fasa. Adapun data relay yang digunakan pada gardu induk pada sisi 150 kV dan 20 kV maupun pada saluran transmisi antar gardu induk dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.6 Data OCR Pada Gardu Induk Tello

Data Relay 150 kV	Data Spesifikasi
Merek/Type	ALSTHOM MCGG82/P120
Set Arus	0.8 A
TMS	0.25 s
Karakteristik Waktu	Standar Invers (SI)
Data Relay 20 kV	Data Spesifikasi
Merek/Type	ALSTHOM MCGG82/P120
Set Arus	0.75 A
TMS	0.15 s
Karakteristik Waktu	Standar Invers (SI)

Tabel 4.7 Data OCR Pada Gardu Induk Pangkep

Data Relay 150 kV	Data Spesifikasi
Merek/Type	ALSTHOM MCGG82/P120
Set Arus	0.75 A
TMS	0.6 s
Karakteristik Waktu	D2

Data Relay 20 kV	Data Spesifikasi
Merek/Type	ALSTHOM MCGG82/P120
Set Arus	0.75 A
TMS	0.15 s
Karakteristik Waktu	Standar Invers (SI)

Tabel 4.8 Data OCR Pada Gardu Induk Balusu

Data Relay 150 kV	Data Spesifikasi
Merek/Type	ALSTHOM MCGG82/P120
Set Arus	0.35 A
TMS	0.275 s
Karakteristik Waktu	Standar Invers (SI)
Data Relay 20 Kv	Data Spesifikasi
Merek/Type	ALSTHOM MCGG82/P120
Set Arus	0.35 A
TMS	0.275 s
Karakteristik Waktu	Standar Invers (SI)

Pada tabel 4.8, data OCR yang digunakan pada GI Balusu juga merujuk pada data OCR pada GI Borongloe.

Tabel 4.9 Data OCR Pada Saluran Transmisi

Data Relay 150 Kv	Data Spesifikasi
Merek/Type	SEG MIRI/IRI1
Set Arus	1.2 A
TMS	2 s
Karakteristik Waktu	Standar Invers (SI)

Pada Tabel 4.10, data OCR untuk saluran transmisi antar gardu induk masing – masing sama baik saluran transmisi GI Tello – GI Pangkep dan GI Pangkep – GI Balusu.

Untuk data OCR berupa type relay P120 dan IRI1 diambil dari data type relay *software* ETAP 12.6 yang telah disesuaikan dengan merek dan fungsi relaynya.

e. Data Penghantar Saluran Transmisi

Data saluran transmisi yang diambil meliputi besar tegangan kerja, panjang saluran, jenis penghantar, impedansi urutan saluran transmisi dan dalam hal ini data impedansi urutan yang diambil hanya impedansi urutan positif. Adapun data saluran transmisi dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.10 Data Saluran Transmisi

Rute Transmisi	Data Spesifikasi
<b>1. GI Tello – GI Pangkep</b>	
Tegangan Kerja	150 kV
Panjang Saluran	45.5 km
Jenis Penghantar	ACSR 240 mm <sup>2</sup>
Impedansi ( $Z_1$ )	5.56 + j18 $\Omega$
<b>2. GI Pangkep – GI Balusu</b>	
Tegangan Kerja	150 Kv
Panjang Saluran	44.38 km
Jenis Penghantar	ACSR 240 mm <sup>2</sup>
Impedansi ( $Z_1$ )	5.33 j18.03 $\Omega$

## 2. Perhitungan Impedansi Sumber

Data MVA hubung singkat pada bus sisi primer 150 kV di gardu induk Tello adalah sebesar 2294,213 MVA, dari persamaan 2.2 maka impedansi sumber ( $X_s$ ) adalah:

$$x_s = \frac{kV^2}{MVA}$$

$$x_s = \frac{150^2}{2294,213} = 9.81 \Omega$$

Dalam satuan per unit dengan nilai dasar (*base*) 225 didapatkan:

$$x_s = \frac{9.81}{225} = 0.0436 \text{ pu}$$

Untuk data MVA hubung singkat pada sisi primer 150 kV di gardu induk Balusu adalah sebesar 2401,943 MVA, maka impedansi sumber ( $X_s$ ) adalah:

$$x_s = \frac{kV^2}{MVA}$$

$$x_s = \frac{150^2}{2401,943} = 9.37 \Omega$$

Dalam satuan per unit didapatkan:

$$x_s = \frac{9.37}{225} = 0.0416 \text{ pu}$$

## 3. Perhitungan Reaktansi Transformator

Berdasarkan data teknis, untuk perhitungan reaktansi transformator dibagi menjadi tiga bagian yaitu pada GI Tello, GI Pangkep, dan GI Balusu. Besarnya reaktansi trafo tenaga (Distribusi 1) pada gardu induk Tello adalah sebesar 12.50%. Agar dapat mengetahui besarnya nilai reaktansi urutan positif, negatif,

dan nol dalam  $\Omega$  (ohm), maka perlu terlebih dahulu perlu diketahui besarnya nilai ohm pada 100% nya yaitu:

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{150^2}{60} = 375 \Omega$$

Nilai reaktansi trafo tenaga:

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

$$X_t = 12.50 \% \times 375 \Omega$$

$$X_t = 46.875 \Omega \text{ (Untuk urutan positif dan negatif)}$$

Dalam satuan per unit dengan nilai dasar (*base*) 225 didapatkan:

$$x_t = \frac{46.875}{225} = 0.208 \text{ pu}$$

Untuk lebih jelasnya besarnya nilai reaktansi untuk masing – masing trafo tenaga pada gardu induk Tello, Pangkep, dan Balusu yang disesuaikan dengan hasil perhitungan di atas dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.11 Reaktansi Transformator

Trafo	$X_t$ (pada 100%) ( $\Omega$ )	$X_{t1} = X_{t2}$ ( $\Omega$ )	Dalam Per Unit (pu)
<b>a. GI Tello</b>			
Distribusi 1	375	46.875	0.208
Distribusi 2	375	49.688	0.221
<b>b. GI Pangkep</b>			
Distribusi	750	93.75	0.416
<b>c. GI Balusu</b>			
Distribusi	2250	205.425	0.913

#### 4. Perhitungan Impedansi Saluran Transmisi Terhadap Titik Gangguan

Perhitungan impedansi saluran transmisi yang disesuaikan pada data teknis, dimana besarnya impedansi pada saluran transmisi tersebut sudah 100% dari panjang saluran antara gardu induk. Impedansi saluran yang digunakan dalam perhitungan ini adalah impedansi urutan positif dan negatif. Impedansi urutan nol tidak digunakan karena nanti dalam melakukan perhitungan arus hubung singkat yang digunakan hanya arus hubung singkat 3 fasa dan antar fasa. Pada perhitungan impedansi saluran disesuaikan dengan titik gangguan yang akan terjadi terhadap panjang saluran transmisi yang terhubung antar gardu induk. Besarnya impedansi saluran transmisi adalah sebagai berikut.

- a. Impedansi saluran transmisi antara GI Tello – GI Pangkep

Simulasi lokasi gangguan terdiri dari:

25%, 50%, 75%, x impedansi saluran transmisi

Impedansi urutan positif dan impedansi urutan negatif pada 100% panjang

$$\text{saluran} = 5.56 + j18 = 18.84 \angle 72.83^\circ \Omega$$

Dalam satuan per unit dengan nilai dasar (*base*) 225 didapatkan:

$$Z_L = \frac{5.56 + j18}{225} = 0.0247 + j0.08 \text{ pu}$$

Jadi perhitungan impedansi saluran terhadap lokasi gangguan dengan jarak

25%, 50%, dan 75% pada saluran tersebut adalah:

$$25\% = 0.25 \times 18.84 = 4.71 \angle 72.83^\circ = 1.39 + j4.5 \Omega$$

$$= 0.0062 + j0.02 \text{ pu}$$

$$50\% = 0.5 \times 18.84 = 9.42 \angle 72.83^\circ = 2.78 + j9 \Omega$$

$$= 0.0124 + j0.04 \text{ pu}$$

$$75\% = 0.75 \times 18.84 = 14.13 \angle 72.83^\circ = 4.17 + j13.5 \Omega$$

$$= 0.0185 + j0.06 \text{ pu}$$

b. Impedansi saluran transmisi antara GI Pangkep – GI Balusu

Simulasi lokasi gangguan terdiri dari:

25%, 50%, 75%, x impedansi saluran transmisi

Impedansi urutan positif dan impedansi urutan negatif pada 100% panjang

$$\text{saluran} = 5.33 + j18.03 = 18.8 \angle 73.53^\circ \Omega$$

$$= 0.0237 + j0.0801 \text{ pu}$$

Jadi perhitungan impedansi saluran terhadap lokasi gangguan dengan jarak

25%, 50%, dan 75% pada saluran tersebut adalah:

$$25\% = 0.25 \times 18.8 = 4.7 \angle 73.53^\circ = 1.33 + j4.51 \Omega$$

$$= 0.0059 + j0.02 \text{ pu}$$

$$50\% = 0.5 \times 18.8 = 9.4 \angle 73.53^\circ = 2.67 + j9.01 \Omega$$

$$= 0.0119 + j0.04 \text{ pu}$$

$$75\% = 0.75 \times 18.8 = 14.1 \angle 73.53^\circ = 3.997 + j13.521 \Omega$$

$$= 0.0178 + j0.0601 \text{ pu}$$

Untuk lebih jelasnya, besar impedansi saluran transmisi terhadap titik gangguan yang terjadi pada saluran dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.12 Impedansi Saluran Transmisi Terhadap Titik Gangguan

Titik Gangguan	Impedansi Saluran ( $Z_1$ & $Z_2$ )	Dalam Per Unit (pu)
<b>a. GI Tello – GI Pangkep</b>		
25%	$1.39 + j4.5 \Omega$	$0.0062 + j0.02$
50%	$2.78 + j9 \Omega$	$0.0124 + j0.04$

75%	$4.17 + j13.5 \Omega$	$0.0185 + j0.06$
100%	$5.56 + j18 \Omega$	$0.0247 + j0.08$
<b>b. GI Pangkep – GI Balusu</b>		
25%	$1.33 + j4.51 \Omega$	$0.0059 + j0.02$
50%	$2.67 + j9.01 \Omega$	$0.0119 + j0.04$
75%	$3.997 + j13.521 \Omega$	$0.0178 + j0.0601$
100%	$5.33 + j18.03$	$0.0237 + j0.0801$

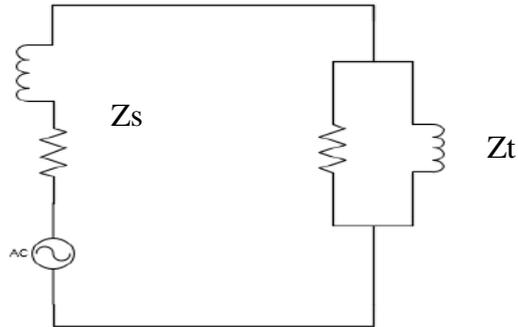
## 5. Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan

Untuk menghitung impedansi ekuivalen jaringan yaitu impedansi ekuivalen urutan positif dan negatif  $Z_{1 \text{ eki}}$  dan  $Z_{2 \text{ eki}}$  dan langsung dapat dihitung sesuai dengan titik lokasi gangguan dengan menjumlahkan impedansi sumber ( $Z_s$ ), impedansi transformator ( $Z_t$ ), dan impedansi saluran ( $Z_L$ ). Adapun perhitungannya dibagi menjadi menjadi 2 bagian yaitu dari arah GI Tello dan dari arah GI Balusu.

### a. Arah GI Tello

#### 1. GI Tello

Karena dari arah GI tello tidak dilalui saluran transmisi maka impedansi yang dijumlahkan adalah  $Z_s + Z_t$  seperti yang diperlihatkan pada gambar diagram impedansi ekuivalen berikut.



Gambar 4.2 Rangkaian Impedansi Ekuivalen GI Tello Arah Pengaliran GI Tello

$$Z_{1\text{ eki}} = Z_{2\text{ eki}} = Z_s + Z_t$$

- Distribusi 1

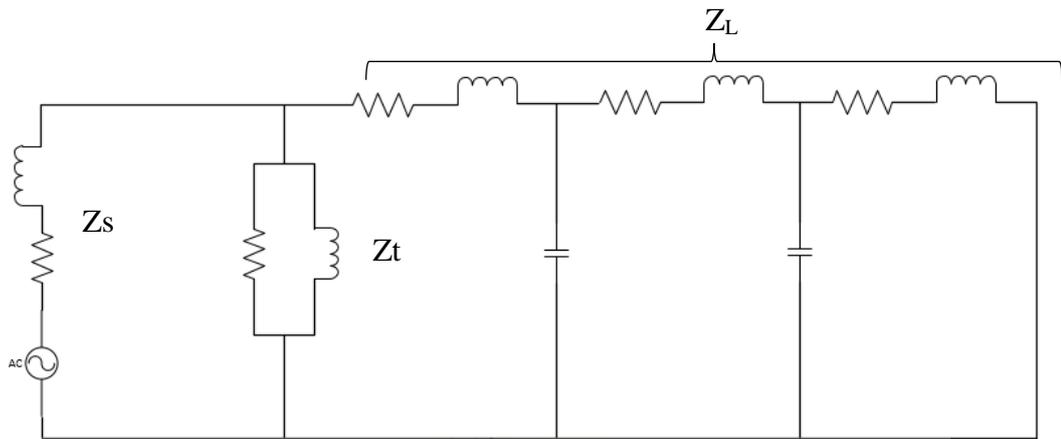
$$\begin{aligned} Z_{1\text{ eki}} = Z_{2\text{ eki}} &= j9.81 + j46.875 \\ &= j56.685 \Omega \\ &= 0 + j56.685 \Omega \\ &= 0 + j0.252 \text{ pu} \end{aligned}$$

- Distribusi 2

$$\begin{aligned} Z_{1\text{ eki}} = Z_{2\text{ eki}} &= j9.81 + j49.688 \\ &= j59.489 \Omega \\ &= 0 + j59.489 \Omega \\ &= 0 + j0.264 \text{ pu} \end{aligned}$$

## 2. GI Pangkep

Untuk pengaliran ke GI Pangkep melalui saluran transmisi sehingga impedansi yang dijumlahkan adalah  $Z_s + Z_t + Z_L$  seperti yang terlihat pada gambar rangkaian impedansi ekuivalen berikut.



Gambar 4.3 Rangkain Impedansi Ekuivalen GI Pangkep Arah Pengaliran GI Tello

$$\begin{aligned}
 Z_{1 \text{ eki}} = Z_{2 \text{ eki}} &= Z_s + Z_t + Z_L \\
 &= j9.81 + j93.75 + 5.56 + j18 \\
 &= j103.56 + 5.56 + j18 \\
 &= 5.56 + j121.56 \Omega \\
 &= 0.0247 + j0.5403 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

### 3. GI Balusu

Karena dari arah GI Tello ke GI Balusu dilalui oleh 2 saluran transmisi yaitu dari GI Tello – GI Pangkep ( $Z_{L1}$ ) lalu GI Pangkep – GI Balusu ( $Z_{L2}$ ), maka impedansi salurannya harus di jumlah terlebih dahulu lalu dapat dihitung impedansi ekivalennya.

$$\begin{aligned}
 Z_L &= Z_{L1} + Z_{L2} \\
 Z_L &= (5.56 + j18) + (5.33 + j18.03) \\
 &= 10.89 + j36.03 \Omega \\
 &= 0.0484 + j0.1601 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

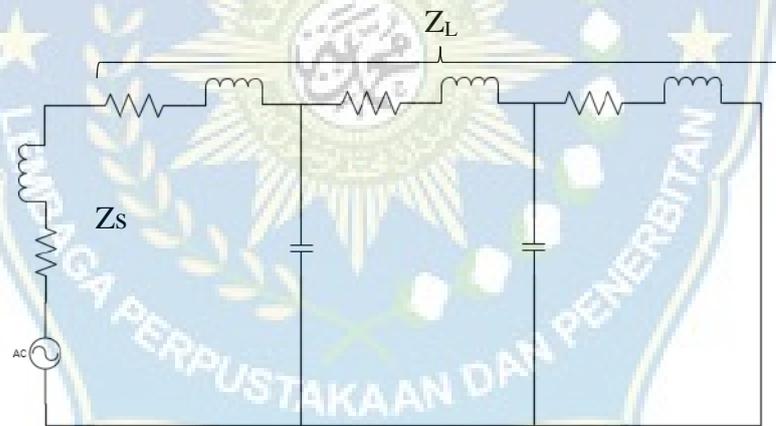
Maka besar impedansi ekivalennya adalah:

$$Z_{1 \text{ eki}} = Z_{2 \text{ eki}} = Z_s + Z_t + Z_L$$

$$\begin{aligned}
&= j9.81 + j205.425 + 10.89 + j36.03 \\
&= j215.235 + 10.89 + j36.03 \Omega \\
&= 10.89 + j251.265 \Omega \\
&= 0.0484 + j1.1167 \text{ pu}
\end{aligned}$$

#### 4. Saluran transmisi GI Tello – GI Pangkep

Untuk impedansi ekivalen pada saluran transmisi GI Tello – GI Pangkep hanya melibatkan salurannya saja sehingga impedansi transformator tidak dimasukkan dalam perhitungan. Dalam menghitung impedansi ekivalen pada sisi saluran, disesuaikan dengan titik gangguan terhadap panjang saluran yang menghubungkan antar gardu induk. Untuk lebih jelaskan besar impedansi ekivalennya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.4 Rangkain Impedansi Ekivalen Saluran Transmisi GI Tello – GI Pangkep

$$Z_{1 \text{ eki}} = Z_{2 \text{ eki}} = Z_s + Z_L$$

$$Z_{1 \text{ eki}} = Z_{2 \text{ eki}} = j9.81 + Z_L$$

$$25\% \quad = j9.81 + 1.39 + j4.5 = 1.39 + j14.31 \Omega$$

$$= 0.0062 + j0.0636 \text{ pu}$$

$$50\% = j9.81 + 2.78 + j9 = 2.78 + j18.81 \Omega$$

$$= 0.0124 + j0.0836 \text{ pu}$$

$$75\% = j9.81 + 4.17 + j13.5 = 4.17 + j23.31 \Omega$$

$$= 0.0185 + j0.1036 \text{ pu}$$

$$100\% = j9.81 + 5.56 + j18 = 5.56 + j27.81 \Omega$$

$$= 0.0247 + j0.1236 \text{ pu}$$

#### 5. Saluran transmisi GI Tello – GI Balusu

Dikarenakan dilalui oleh 2 saluran dari sisi sumber maka impedansi salurannya harus di jumlah terlebih dahulu lalu dapat dihitung impedansi ekivalennya.

$$Z_L = Z_{L1} + Z_{L2}$$

$$Z_L = (5.56 + j18) + (5.33 + j18.03)$$

$$= 10.89 + j36.03 \Omega$$

$$= 0.0484 + j0.1601 \text{ pu}$$

Maka besar impedansi ekivalennya adalah:

$$Z_{1 \text{ eki}} = Z_{2 \text{ eki}} = Z_s + Z_L$$

$$Z_{1 \text{ eki}} = Z_{2 \text{ eki}} = j9.81 + Z_L$$

$$25\% = j9.81 + 2.72 + j9.01 = 2.72 + j18.82 \Omega$$

$$= 0.0121 + j0.0836 \text{ pu}$$

$$50\% = j9.81 + 5.45 + j18.02 = 5.45 + j27.83 \Omega$$

$$= 0.0242 + j0.1237 \text{ pu}$$

$$75\% = j9.81 + 8.17 + j27.02 = 8.17 + j36.83 \Omega$$

$$= 0.0363 + j0.1637 \text{ pu}$$

$$100\% = j9.81 + 10.89 + j36.03 = 10.89 + j45.84 \Omega$$

$$= 0.0484 + j0.2037 \text{ pu}$$

Untuk lebih jelasnya, besar impedansi ekivalen jaringan serta pada arah GI Balusu dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.13 Impedansi Ekivalen Jaringan

Arah Sumber	Gardu Induk	Impedansi Ekivalen Jaringan ( $Z_{1eki}$ & $Z_{2eki}$ )	Dalam Per Unit (pu)
GI Tello	GI Tello (Distribusi 1)	$0 + j56.685$	$0 + j0.252$
	GI Tello (Distribusi 2)	$0 + j59.489$	$0 + j0.264$
	GI Pangkep	$5.56 + j121.56$	$0.0247 + j0.5403$
	GI Balusu	$10.89 + j251.265$	$0.0484 + j1.1167$
GI Balusu	GI Balusu	$0 + j214.795$	$0 + j0.9546$
	GI Pangkep	$5.33 + j121.15$	$0.0236 + j0.5384$
	GI Tello (Distribusi 1)	$10.89 + j92.275$	$0.0484 + j0.4101$
	GI Tello (Distribusi 2)	$10.89 + j95.088$	$0.0484 + j0.4226$

Untuk besar impedansi ekivalen jaringan berdasarkan titik gangguan terhadap panjang saluran transmisi antar gardu induk dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.14 Impedansi Ekivalen Jaringan Untuk Saluran Transmisi Antar GI

Arah Sumber	Saluran Transmisi	Titik Gangguan	Impedansi Ekivalen Jaringan ( $Z_{1eki}$ & $Z_{2eki}$ )	Dalam Per Unit (pu)
GI Tello	GI Tello – GI Pangkep	25%	$1.39 + j14.31$	$0.0062 + j0.0636$
		50%	$2.78 + j18.81$	$0.0124 + j0.0836$

		75%	$4.17 + j23.31$	$0.0185 + j0.1036$	
		100%	$5.56 + j27.81$	$0.0247 + j0.1236$	
	GI Tello – GI Balusu	25%	$2.72 + j18.82$	$0.0121 + j0.0836$	
		50%	$5.45 + j27.83$	$0.0242 + j0.1237$	
		75%	$8.17 + j36.83$	$0.0363 + j0.1637$	
		100%	$10.89 + j45.84$	$0.0484 + j0.2037$	
	GI Balusu	GI Balusu – GI Pangkep	25%	$1.33 + j13.88$	$0.0059 + j0.0617$
			50%	$2.67 + j18.38$	$0.0119 + j0.0817$
75%			$3.997 + j22.89$	$0.0178 + j0.102$	
100%			$5.33 + j27.4$	$0.0237 + j0.122$	
GI Balusu – GI Tello		25%	$2.72 + j18.38$	$0.0121 + j0.0817$	
		50%	$5.45 + j27.39$	$0.0242 + j0.122$	
		75%	$8.17 + j36.39$	$0.0363 + j0.162$	
		100%	$10.89 + j45.4$	$0.0484 + j0.202$	

## BAB V

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

1. Data MVA hubung singkat pada bus sisi primer 150 kV di gardu induk Tello adalah sebesar 2294,213 MVA
2. Untuk data MVA hubung singkat pada sisi primer 150 kV di gardu induk Balusu adalah sebesar 2401,943 MVA
3. Berdasarkan data teknis, untuk perhitungan reaktansi transformator dibagi menjadi tiga bagian yaitu pada GI Tello, GI Pangkep, dan GI Balusu. Besarnya reaktansi trafo tenaga (Distribusi 1) pada gardu induk Tello adalah sebesar 12.50%. Agar dapat mengetahui besarnya nilai reaktansi urutan positif, negatif, dan nol dalam  $\Omega$  (ohm), maka perlu terlebih dahulu perlu diketahui besarnya nilai ohm pada 100%

#### B. Saran

Dari analisis yang telah dilakukan, adapun sarannya adalah:

1. Penelitian selanjutnya, diharapkan menggunakan data *real* pada GI Balusu seperti data transformator dan setting relay saat datanya sudah tersedia di PT.PLN (Persero) UPT SULSELRABAR agar hasil yang didapatkan lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, Irfan. 2020. *Analisa Setting Relay Arus Lebih dan Relay Gangguan Tanah Pada Penyulang Sadewa di GI Cawang*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia
- Hernantyo, Fendy Gilang dan Subuh Insur Haryudo. 2021. Analisis Sistem Koordinasi *Over Current Relay* (OCR) Pada Gardu Induk (GI) 150 kV Sukolilo. *Jurnal Teknik Elektro, (Online)*, 5 (3): 0 – 60, ([ejournal.unesa.ac.id](http://ejournal.unesa.ac.id)), diakses 10 Desember 2016.
- Karyana. 2020. *Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*. Edisi Pertama. PT.PLN (Persero): Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban Jawa Bali.
- Laksana, I Putu Dimas Darma. 2021. *Studi Analisis Backup Proteksi Pada SUTT 150 kV GI Kapal – GI Pemecutan Kelod Akibat Uprating dan Penambahan Saluran*. Skripsi. Bukit Jimbaran: Universitas Udayana.
- Nugraha, Sandi. 2020. Analisis Koordinasi *Setting Over Current Relay* Pada Trafo 60 MVA 150/20 kV dan Penyulang CBU 20 kV di Gardu Induk Cigereleng. Skripsi. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Parhupsi, Ira Debora. 2021. *Relay Jarak Sebagai Pengaman Utama Pada Pola Proteksi SUTT PT. PLN (Persero) Udiklat Semarang*. Makalah Seminar Kerja Praktek. Semarang: Universitas Diponegoro
- Rahman, Muhammad Nur dan Fithriyah. 2021. *Evaluasi Distance Relay dan OCR-GFR Pada Saluran Transmisi 150 kV GI Tello-Sungguminasa*. Laporan Hasil Penelitian. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Stevenson, William D, Jr. 2019. *Analisa Sistem Tenaga*. Diterjemahkan oleh Budiono Ismail. Malang: Lembaga Penerbitan Universitas Brawijaya.
- Tanyadji, Sonny dan Sarma Thaha. 2020. *Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Cetakan Pertama. Makassar: Innawa.



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 : Renaldi P/Muammar Khadafi

NIM : 105821101817/105821111216

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	3 %	10 %
2	Bab 2	25 %	25 %
3	Bab 3	5 %	10 %
4	Bab 4	7 %	10 %
5	Bab 5	5 %	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, 07 Juni 2023

Mengetahui

Kepala UPT- Perpustakaan dan Penerbitan,

  
S. Hum, M.I.P.  
NPM. 964 591

Jl. Sultan Alauddin no 259 makassar 90222  
Telepon (0411)866972,881 593,fax (0411)865 588  
Website: [www.library.unismuh.ac.id](http://www.library.unismuh.ac.id)  
E-mail : [perpustakaan@unismuh.ac.id](mailto:perpustakaan@unismuh.ac.id)

BAB I RENALDI P/Muammar  
khadafi -  
05821101817/105821111216

by Tahap Tutup

Submission date: 07-Jun-2023 12:36PM (UTC+0700)

Submission ID: 2110820444

File name: BAB\_1\_YG\_SDH\_DIPERBAIKI.docx (27.22K)

Word count: 527

Character count: 3277

BAB I RENALDI P/Muammar khadafi -  
05821101817/105821111216

ORIGINALITY REPORT

3%

SIMILARITY INDEX

3%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

[ejurnal.undana.ac.id](http://ejurnal.undana.ac.id)

Internet Source

2%

2

[repository.its.ac.id](http://repository.its.ac.id)

Internet Source

2%

Exclude quotes

On

Exclude matches

Off

Exclude bibliography

On



BAB II RENALDI P/Muammar  
khadafi -  
05821101817/105821111216

by Tahap Tutup

mission date: 07-Jun-2023 09:21AM (UTC+0700)

mission ID: 2110701808

name: BAB\_2\_-\_2023-06-07T091918.662.docx (175.25K)

file count: 1801

character count: 10801

ORIGINALITY REPORT

25%

SIMILARITY INDEX

25%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

docplayer.info

Internet Source

19%

2

www.scribd.com

Internet Source

4%

3

text-id.123dok.com

Internet Source

3%

Exclude quotes

On

Exclude bibliography

On

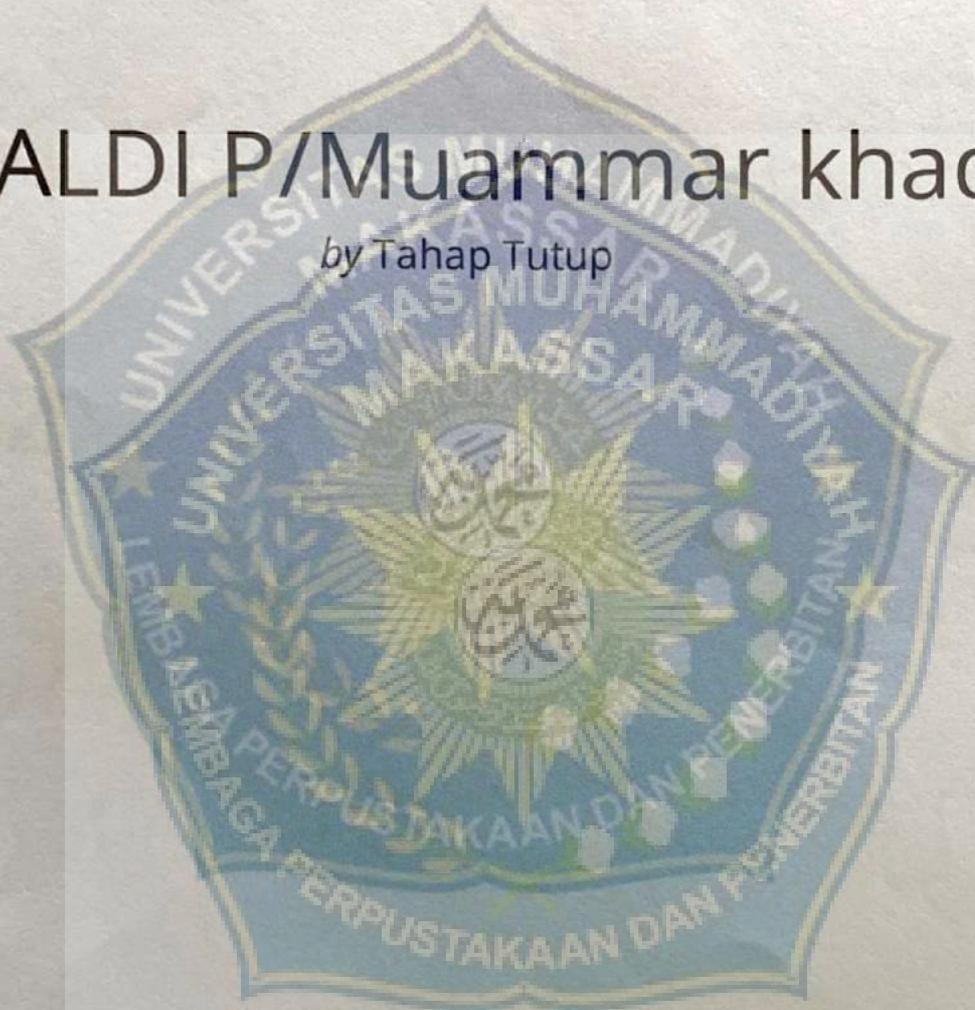
Exclude matches

0%



# RENALDI P/Muammar khadafi

by Tahap Tutup



**Submission date:** 07-Jun-2023 09:25AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2110704876

**File name:** BAB\_3\_99.docx (84.98K)

**Word count:** 482

**Character count:** 3152

# RENALDI P/Muammar khadafi

## ORIGINALITY REPORT

5%

SIMILARITY INDEX

5%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://eprints.umm.ac.id">eprints.umm.ac.id</a> Internet Source	2%
2	<a href="http://mafiadoc.com">mafiadoc.com</a> Internet Source	2%
3	<a href="http://repository.its.ac.id">repository.its.ac.id</a> Internet Source	2%

Exclude quotes

On

Exclude bibliography

On

Exclude matches

Off



BAB IV RENALDI P/Muammar  
Khadafi -  
05821101817/105821111216

by Tahap Tutup



mission date: 07-Jun-2023 09:28AM (UTC+0700)

mission ID: 2110706553

name: BAB\_4\_84.docx (761.72K)

word count: 888

character count: 4913

BAB IV RENALDI P/Muammar khadafi -  
05821101817/105821111216

ORIGINALITY REPORT

7%

SIMILARITY INDEX

7%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

3%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

123dok.com

Internet Source

5%

2

ojs.unimal.ac.id

Internet Source

2%

Exclude quotes

On

Exclude bibliography

On

Exclude matches

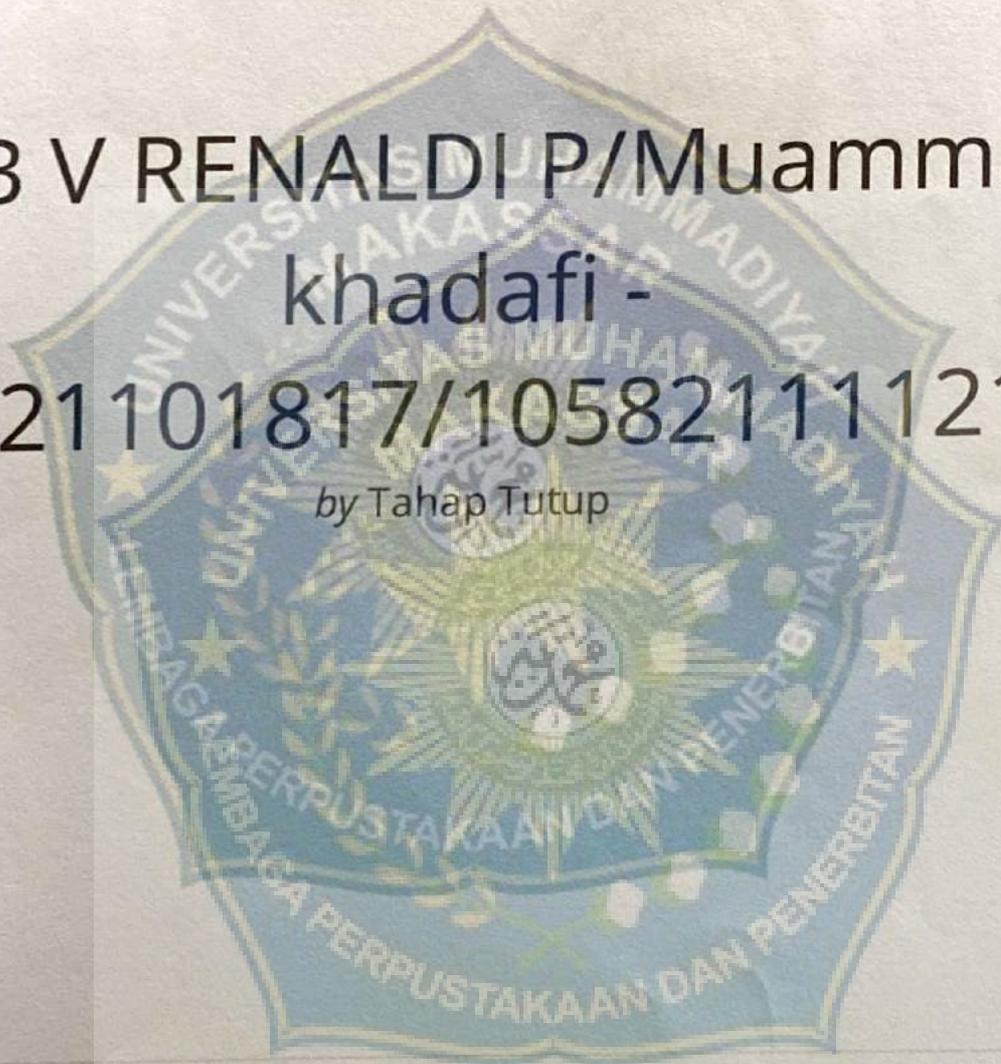
< 200



# BAB V RENALDI P/Muammar khadafi -

05821101817/105821111216

by Tahap Tutup



mission date: 07-Jun-2023 09:34AM (UTC+0700)

mission ID: 2110710536

name: BAB\_5\_87.docx (36.62K)

l count: 367

acter count: 2197

BAB V RENALDI P/Muammar khadafi -  
05821101817/105821111216

ORIGINALITY REPORT

5%

SIMILARITY INDEX

5%

INTERNET SOURCES

5%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

id.123dok.com

Internet Source

5%



Exclude quotes On

Exclude matches 2%

Exclude bibliography On

