

SKRIPSI

**STUDI ANALISIS KOORDINASI ZONA PROTEKSI RELAI
JARAK SALURAN TRANSMISI GI KENDARI-GI KASIPUTE
SEBELUM DAN SETELAH MASUKNYA SALURAN
TRANSMISI BARU**

Disusun oleh :

MUHAMMAD RIDHA ADHA

D041 20 1125



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

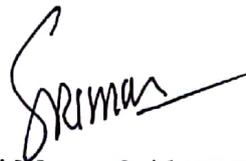
STUDI ANALISIS KOORDINASI ZONA PROTEKSI RELAI JARAK SALURAN TRANSMISI GI KENDARI-GI KASIPUTE SEBELUM DAN SETELAH MASUKNYA SALURAN TRANSMISI BARU

Disusun dan diajukan oleh

Muhammad Ridha Adha
D041201125

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 26 Juni 2024
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,
Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Sri Mawar Said, M.T.
NIP. 196011061986012001



Dr.Eng. Ir. Dewiani, MT.
NIP. 196910261994122001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Ridha Adha

NIM : D041201125

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI ANALISIS KOORDINASI ZONA PROTEKSI RELAI JARAK SALURAN TRANSMISI GI KENDARI-GI KASIPUTE SEBELUM DAN SETELAH MASUKNYA SALURAN TRANSMISI BARU

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 26 Juni 2024

Yang Menyatakan



Muhammad Ridha Adha

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT., karena atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“STUDI ANALISIS KOORDINASI ZONA PROTEKSI RELAI JARAK SALURAN TRANSMISI GI KENDARI-GI KASIPUTE SEBELUM DAN SETELAH MASUKNYA SALURAN TRANSMISI BARU”**.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk dapat menyelesaikan pendidikan tahap sarjana di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa selama penyusunan skripsi ini, penulis banyak dihadapi dengan berbagai hambatan, namun berkat adanya bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Orang tua dan saudara penulis yang telah memberikan doa dan dukungan selama penyelesaian tugas akhir ini.
2. Ketua Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.
3. Ibu Dr. Ir. Sri Mawar Said, M.T. selaku dosen pembimbing penulis yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya selama membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T., IPM dan Ibu Dr. Ir. Zaenab Muslimin, M.T. selaku dosen penguji telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran, koreksi, dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir penulis.
5. Segenap Dosen dan Staf Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak memberikan ilmu selama perkuliahan dan membantu kelancaran proses penyusunan tugas akhir ini.
6. Teman-teman PROCEZ20R yang telah kebersamai penulis dalam menjalani kehidupan bermahasiswa.
7. Keluarga besar Korps Asisten Laboratorium Teknik Energi Universitas

Hasanuddin (LABTE UNHAS) atas pengalaman dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

8. Teman-teman lab riset Laboratorium Relay Proteksi dan Pengukuran yang telah memberikan dukungan kepada penulis.
9. Teman-teman UKM UTILMA UNHAS atas pengalaman dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.
10. Dan untuk semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

ABSTRAK

Muhammad Ridha Adha. Studi Analisis Koordinasi Zona Proteksi Relai Jarak Saluran Transmisi GI Kendari-GI Kasipute Sebelum dan Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru (dibimbing oleh Sri Mawar Said)

Pada tahun 2023, di antara saluran transmisi dari GI Kendari sampai GI Kasipute mengalami penambahan saluran transmisi baru yaitu masuknya ruas saluran transmisi GI Tinanggea Switching-GI Tinanggea Smelter. Oleh karena itu diperlukan penyetelan ulang sistem proteksi saluran transmisi dari GI Kendari sampai GI Kasipute. Penambahan saluran dalam jaringan transmisi mempengaruhi nilai impedansi saluran sehingga membutuhkan penyetelan ulang koordinasi zona proteksi relai jarak agar tidak terjadi kegagalan kerja. Oleh karena itu, penelitian ini akan menunjukkan pengaruh perubahan saluran transmisi dari GI Kendari sampai GI Kasipute terhadap pengaturan relai jarak yang digunakan dalam sistem proteksinya, serta dapat diketahui juga dampak yang terjadi jika tidak dilakukan *resetting* relai jarak setelah adanya penambahan saluran transmisi baru. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa setelah penambahan saluran transmisi baru maka terjadi perubahan pada *setting* relai jarak GI Kendari dari 21,1308 Ω menjadi 21,0319 Ω untuk zona-2, dan dari 42,3605 Ω menjadi 24,1864 Ω untuk zona-3. Adapun perubahan pada *setting* relai jarak GI Andoolo dari 14,2192 Ω menjadi 2,1032 Ω untuk zona-1, dari 21,3289 Ω menjadi 4,3414 Ω untuk zona-2, dan dari 42,6577 Ω menjadi 21,5519 Ω untuk zona-3. Sedangkan dampak dari tidak dilakukannya *resetting* relai jarak setelah penambahan saluran transmisi baru salah satunya adalah zona-1 dari relai jarak pada GI Andoolo akan bekerja hingga sekitar 540% dari panjang saluran yang diproteksi, sedangkan seharusnya hanya sekitar 80% saja. Kesalahan tersebut akan mengakibatkan kegagalan kerja dari koordinasi zona proteksi relai jarak saluran transmisi GI Kendari sampai GI Kasipute setelah adanya penambahan saluran transmisi baru.

Kata Kunci: Relai Jarak, Saluran Transmisi, Gardu Induk, *Setting*, Koordinasi Zona Proteksi.

ABSTRACT

Muhammad Ridha Adha. Analytical Study of Distance Relay Protection Zones Coordination of Transmission Lines from Kendari Substation to Kasipute Substation Before and After New Transmission Line Addition (supervised by Sri Mawar Said)

In 2023, between the transmission lines from Kendari Substation to Kasipute Substation there is the addition of a new transmission line between Tinanggea Switching Substation and Tinanggea Smelter Substation. Therefore, it is necessary to reset the transmission line protection system from Kendari Substation to Kasipute Substation. The addition of lines in the transmission system affects the line impedance value so that it requires resetting the distance relay protection zone coordination to prevent malfunctions. Therefore, this research will show the effect caused by changes in the transmission line from Kendari Substation to Kasipute Substation on the distance relay settings in the protection system, and also determine the impact that will occur if the distance relay is not resetting after the addition of a new transmission line. The results showed that after the addition of the new transmission line, there was a change in the Kendari Substation distance relay settings from 21,1308 Ω to 21,0319 Ω for zone-2, and from 42,3605 Ω to 24,1864 Ω for zone-3. There are also changes to the Andoolo Substation distance relay settings from 14,2192 Ω to 2,1032 Ω for zone-1, from 21,3289 Ω to 4,3414 Ω for zone-2, and from 42,6577 Ω to 21,5519 Ω for zone-3. Meanwhile, the impact of not resetting the distance relay after adding a new transmission line, one of which is that zone-1 of the distance relay on Andoolo Substation will work up to around 540% of the length of the protected line, whereas it should only be around 80%. This error will result in failure to coordinate the distance relay protection zone of transmission lines from Kendari Substation to Kasipute Substation after the addition of a new transmission line.

Keywords: Distance Relay, Transmission Line, Substation, Setting, Zone Protection Coordination.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.2 Sistem Jaringan Transmisi	6
2.3 Sistem Proteksi Tenaga Listrik	7
2.3.1 Filosofi dan kualitas sistem proteksi	7
2.3.2 Komponen yang terdapat pada sistem proteksi.....	8
2.3.3 Daerah asuhan proteksi (<i>protection zone</i>).....	9
2.3.4 Proteksi utama dan proteksi penyanggah	9
2.3.5 Transformator Arus	10
2.3.6 Transformator Tegangan	11
2.4 Sistem Proteksi Saluran Transmisi.....	11
2.5 Gangguan Sistem Tenaga Listrik	16
2.6 Penggunaan <i>Software DigSilent Power Factory</i>	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Judul Penelitian	19
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	19
3.3 Alat dan Bahan	20
3.3.1 Data Penghantar Saluran Transmisi	20
3.3.2 Data Relai Jarak	21
3.3.3 Data Transformator Gardu Induk.....	24
3.4 Metode Pengambilan Data	25
3.5 Metode Analisis Data	25
3.6 Alur Penelitian.....	25
BAB IV HASIL PENELITIAN	27
4.1 Perhitungan Zona Proteksi Relai Jarak	27
4.1.1 Sebelum Masuknya Saluran Transmisi Baru	27
4.1.2 Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru.....	30
4.2 Perbandingan <i>Setting</i> Zona Proteksi Relai Jarak Berdasarkan Hasil Perhitungan dan Data Pengujian	36

4.3	Simulasi Zona Proteksi Relai Jarak Menggunakan <i>Software DigSilent Power Factory</i>	39
4.3.1	Simulasi Sebelum Masuknya Saluran Transmisi Baru	40
4.3.2	Simulasi Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru.....	45
4.3.3	Simulasi Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Tanpa Melakukan <i>Resetting</i> Relai Jarak.....	57
4.3.4	Data Hasil Simulasi Gangguan Relai Jarak.....	62
BAB V PENUTUP.....		64
5.1	Kesimpulan.....	64
5.2	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA		66

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Perbandingan <i>Setting</i> Zona Proteksi Relai Jarak Sebelum Masuknya Saluran Transmisi Baru.....	37
Tabel 2	Perbandingan <i>Setting</i> Zona Proteksi Relai Jarak Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru.....	38
Tabel 3	Data Hasil Simulasi Gangguan Relai Jarak GI Kendari Sebelum Masuknya Saluran Baru.....	62
Tabel 4	Data Hasil Simulasi Gangguan Relai Jarak GI Andoolo Sebelum Masuknya Saluran Baru.....	62
Tabel 5	Data Hasil Simulasi Gangguan Relai Jarak GI Kendari Setelah Masuknya Saluran Baru.....	62
Tabel 6	Data Hasil Simulasi Gangguan Relai Jarak GI Andoolo Setelah Masuknya Saluran Baru.....	63
Tabel 7	Data Hasil Simulasi Gangguan Relai Jarak GI Tinanggea Switching Saluran Menuju GI Tinanggea Smelter	63
Tabel 8	Data Hasil Simulasi Gangguan Relai Jarak GI Tinanggea Switching Saluran Menuju GI Kasipute	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Sistem Tenaga Listrik.....	5
Gambar 2	Komponen-Komponen Sistem Proteksi	9
Gambar 3	Daerah Asuhan Proteksi	9
Gambar 4	Relai Jarak Elektromagnetik.....	13
Gambar 5	Relai Jarak Karakteristik Mho	14
Gambar 6	Saluran Seksi Dengan Banyak Cabang.....	14
Gambar 7	Saluran Seksi Dengan Kondisi $Z_{2max} > Z_{2min}$	15
Gambar 8	Saluran Seksi Dengan Kondisi $Z_{2max} < Z_{2min}$	16
Gambar 9	Single Line Diagram Saluran Transmisi GI Kendari-GI Kasipute Sebelum dan Setelah Penambahan Saluran Baru.....	19
Gambar 10	Diagram Alur Penelitian	26
Gambar 11	Single Line Diagram Kondisi Sebelum Masuknya Saluran Transmisi Baru.....	40
Gambar 12	Diagram <i>Time Distance</i> Kondisi Sebelum Masuknya Saluran Transmisi Baru.....	40
Gambar 13	Simulasi Gangguan Ruas Saluran Kendari-Andoolo Sebelum Masuknya Saluran Transmisi Baru.....	41
Gambar 14	Diagram RX Gangguan 50% Kendari-Andoolo Sebelum Masuknya Saluran Transmisi Baru	42
Gambar 15	Simulasi Gangguan Ruas Saluran Andoolo-Kasipute Sebelum Masuknya Saluran Transmisi Baru.....	43
Gambar 16	Diagram RX Gangguan 10% Andoolo-Kasipute Sebelum Masuknya Saluran Transmisi Baru	44
Gambar 17	Single Line Diagram Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru	45
Gambar 18	Diagram Time Distance Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Pada Plot Pertama.....	46
Gambar 19	Diagram Time Distance Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Pada Plot Kedua	46
Gambar 20	Simulasi Gangguan Ruas Saluran Kendari-Andoolo Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru.....	47
Gambar 21	Diagram RX Gangguan 50% Kendari-Andoolo Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Plot Pertama.....	48
Gambar 22	Diagram RX Gangguan 50% Kendari-Andoolo Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Plot Kedua.....	48
Gambar 23	Simulasi Gangguan Ruas Saluran Andoolo-Tinanggea Switching Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru	49
Gambar 24	Diagram RX Gangguan 10% Andoolo- Tinanggea Switching Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Plot Pertama	50
Gambar 25	Diagram RX Gangguan 10% Andoolo- Tinanggea Switching Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Plot Kedua.....	51
Gambar 26	Simulasi Gangguan Ruas Saluran Tinanggea Switching-Tinanggea Smelter Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru.....	52
Gambar 27	Diagram RX Gangguan 10% Tinanggea Switching-Tinanggea Smelter Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Plot Pertama.....	53

Gambar 28	Diagram RX Gangguan 10% Tinanggea Switching-Tinanggea Smelter Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Plot Kedua	53
Gambar 29	Simulasi Gangguan Ruas Saluran Tinanggea Switching-Kasipute Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru	54
Gambar 30	Diagram RX Gangguan 50% Tinanggea Switching-Kasipute Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Plot Pertama	55
Gambar 31	Diagram RX Gangguan 50% Tinanggea Switching-Kasipute Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Plot Kedua.....	56
Gambar 32	Diagram Time Distance Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Pada Plot Pertama	57
Gambar 33	Diagram Time Distance Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Pada Plot Kedua.....	58
Gambar 34	Simulasi Gangguan Ruas Saluran Tinanggea Switching-Tinanggea Smelter Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Tanpa Melakukan <i>Resetting</i>	59
Gambar 35	Diagram RX Gangguan 10% Tinanggea Switching-Tinanggea Smelter Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Tanpa Melakukan <i>Resetting</i>	59
Gambar 36	Simulasi Gangguan Ruas Saluran Tinanggea Switching-Kasipute Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Tanpa Melakukan <i>Resetting</i>	60
Gambar 37	Diagram RX Gangguan 50% Tinanggea Switching-Kasipute Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Tanpa Melakukan <i>Resetting</i>	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	<i>Single Line Diagram</i> sistem transmisi Sulawesi Tenggara	67
Lampiran 2	Data ruas saluran transmisi GI Kendari-GI Andoolo sebelum masuknya saluran transmisi baru.....	67
Lampiran 3	Data ruas saluran transmisi GI Andoolo-GI Kasipute	68
Lampiran 4	Data ruas saluran transmisi GI Kendari-GI Andoolo setelah masuknya saluran transmisi baru	68
Lampiran 5	Data ruas saluran transmisi GI Andoolo-GI Tinanggea Switching .	69
Lampiran 6	Data ruas saluran transmisi GI Tinanggea Switching-GI Tinanggea Smelter	69
Lampiran 7	Data ruas saluran transmisi GI Tinanggea Switching-GI Kasipute .	70
Lampiran 8	Simulasi Gangguan 10% Kendari-Andoolo Sebelum Masuknya Saluran Transmisi Baru	70
Lampiran 9	Simulasi Gangguan 90% Kendari-Andoolo Sebelum Masuknya Saluran Transmisi Baru	71
Lampiran 10	Simulasi Gangguan 50% Andoolo-Kasipute.....	71
Lampiran 11	Simulasi Gangguan 90% Andoolo-Kasipute	72
Lampiran 12	Simulasi Gangguan 10% Kendari-Andoolo Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Pada Plot Pertama	72
Lampiran 13	Simulasi Gangguan 10% Kendari-Andoolo Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Pada Plot Kedua.....	73
Lampiran 14	Simulasi Gangguan 90% Kendari-Andoolo Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Pada Plot Pertama	73
Lampiran 15	Simulasi Gangguan 90% Kendari-Andoolo Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru Pada Plot Kedua.....	74
Lampiran 16	Simulasi Gangguan 50% Andoolo-Tinanggea Switching Pada Plot Pertama	74
Lampiran 17	Simulasi Gangguan 50% Andoolo-Tinanggea Switching Pada Plot Kedua	75
Lampiran 18	Simulasi Gangguan 90% Andoolo-Tinanggea Switching Pada Plot Pertama	75
Lampiran 19	Simulasi Gangguan 90% Andoolo-Tinanggea Switching Pada Plot Kedua	76
Lampiran 20	Simulasi Gangguan 50% Tinanggea Switching-Tinanggea Smelter Pada Plot Pertama	76
Lampiran 21	Simulasi Gangguan 50% Tinanggea Switching-Tinanggea Smelter Pada Plot Kedua.....	77
Lampiran 22	Simulasi Gangguan 90% Tinanggea Switching-Tinanggea Smelter Pada Plot Pertama	77
Lampiran 23	Simulasi Gangguan 90% Tinanggea Switching-Tinanggea Smelter Pada Plot Kedua.....	78
Lampiran 24	Simulasi Gangguan 10% Tinanggea Switching-Kasipute Pada Plot Pertama	78
Lampiran 25	Simulasi Gangguan 10% Tinanggea Switching-Kasipute Pada Plot Kedua	79

Lampiran 26 Simulasi Gangguan 90% Tinanggea Switching-Kasipute Pada Plot Pertama	79
Lampiran 27 Simulasi Gangguan 90% Tinanggea Switching-Kasipute Pada Plot Kedua.....	80

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perusahaan pembangkitan tenaga listrik harus mampu memasok daya secara terus menerus. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa daya pada beban tidak terganggu dan pelanggan menerima tenaga listrik sesuai kebutuhan. Jika sistem kelistrikan mengalami gangguan, proses penyaluran daya dari pembangkit ke beban dapat berhenti dan mengakibatkan kerugian yang signifikan. Gangguan juga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan yang membantu proses produksi. Akibatnya, sistem perlindungan yang tepat diperlukan untuk melindungi peralatan yang terpasang dari kerusakan yang mungkin terjadi. Tingkat keandalan peralatan proteksi pasti akan dipengaruhi oleh peningkatan beban sistem.

Keandalan suatu sistem tenaga listrik dapat terlihat ketika terjadinya gangguan yang dapat menyebabkan terganggunya penyaluran energi listrik ke konsumen. Dalam suatu sistem tenaga listrik tidak akan mungkin bebas dari gangguan. Gangguan dapat terjadi pada pembangkitan, transmisi, maupun distribusi. Salah satu contoh adalah gangguan yang terjadi pada saluran transmisi. Menyalurkan energi listrik berkapasitas besar dibutuhkan saluran udara tegangan tinggi yang menghubungkan penyaluran tenaga listrik dari pembangkit gardu induk satu ke gardu induk lainnya. Saluran udara tegangan tinggi merupakan salah satu sistem transmisi tenaga listrik yang penting dari sebuah proses penyaluran tenaga listrik. Proses ini banyak kemungkinan gangguan yang terjadi. Gangguan dapat terjadi karena kesalahan sistem, maupun gangguan dari luar seperti pohon tumbang, kawat putus, isolator pecah, petir. Gangguan tersebut bisa menyebabkan terjadinya gangguan kelangsungan operasi maupun kerusakan peralatan pada sistem transmisi tenaga listrik. Sehingga dalam meminimalisir kerusakan peralatan dan kerugian yang ditimbulkan oleh gangguan, maka diperlukan adanya sistem proteksi.

Pemeliharaan rutin saluran transmisi tentu dibutuhkan untuk memastikan bahwa sistem proteksi yang diterapkan pada saluran transmisi andal. Kemudian perlu dilakukan penyelidikan pada sistem proteksi saluran transmisi dengan inspeksi lapangan dan pengecekan semua peralatan proteksi agar dapat mengevaluasi keandalan dari sistem proteksi yang diterapkan. Adanya koordinasi

antar relai proteksi dapat secara terus menerus mengawasi kondisi operasi saluran transmisi dengan selektif, sehingga ketika terjadi suatu gangguan maka relai proteksi tersebut dapat memberikan perintah kepada peralatan pemutus untuk melepaskan saluran yang terganggu dari sistem agar gangguan tidak menyebar ke saluran transmisi lainnya.

Sistem proteksi dibagi menjadi dua bagian berdasarkan area kerja dan kecepatan operasi. Pertama, proteksi utama atau *main protection* yang merupakan proteksi yang terlebih dahulu menangani gangguan. Daerah kerja dari proteksi utama terbatas hanya mencakup zona tertentu dan tidak responsif terhadap yang terjadi di luar zona asuhan proteksinya. Kemudian proteksi utama juga bekerja secara instan atau seketika setelah merasakan adanya gangguan. Kedua adalah proteksi pendukung atau *backup protection* yang merupakan proteksi yang akan menangani gangguan jika terjadi kegagalan pada proteksi utama. Proteksi pendukung ini mempunyai daerah kerja lebih luas dan bekerja tidak instan karena menggunakan jeda waktu.

Salah satu cara untuk meningkatkan keandalan sistem transmisi adalah dengan sistem proteksi menggunakan relai pengaman. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kinerja sistem proteksi pada saluran transmisi, diperlukan perhitungan pengaturan kembali terhadap relai pengaman khususnya pada relai jarak (*distance relay*). Suatu relai jarak bekerja dengan beberapa zona proteksi sehingga dapat berfungsi sebagai proteksi utama dan juga proteksi pendukung. Relai jarak lebih berguna untuk mengidentifikasi adanya kondisi abnormal sepanjang saluran transmisi dan mengirim sinyal perintah kepada peralatan pemutus untuk melepaskan saluran yang terganggu dari sistem agar gangguan tidak menyebar ke saluran transmisi lainnya dan menghindari terputusnya suplai daya listrik untuk saluran yang tidak terkena gangguan. Relai jarak beroperasi menggunakan nilai impedansi pada saluran transmisi sebagai parameter utama, sehingga jika terjadi perubahan impedansi pada saluran yang melewati batas dari pengaturan relai maka akan dianggap terjadi suatu gangguan. Pengaturan batas impedansi saluran pada relai jarak tentu menyesuaikan panjang saluran transmisi yang diproteksi.

Menurut Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) tahun 2021 sampai dengan tahun 2030, sistem jaringan transmisi di Sulawesi Tenggara akan mengalami pengembangan hingga 17 saluran transmisi baru. Beberapa diantaranya adalah saluran transmisi dari GI Kendari sampai GI Kasipute yang direncanakan selesai tahun 2021. Kemudian di antara saluran transmisi tersebut terdapat rencana pembangunan saluran baru yaitu GI Tinanggea Switching-GI Tinanggea Smelter yang direncanakan selesai tahun 2023. Permasalahan yang timbul adalah bagaimana pengaturan zona proteksi relai jarak pada saluran transmisi GI Kendari sampai GI Kasipute terhadap adanya saluran transmisi GI Tinanggea Switching-GI Tinanggea Smelter karena perubahan saluran akan berdampak pada perubahan impedansinya dan akan mempengaruhi pengaturan pada relai jarak yang digunakan. Selain itu, terdapat permasalahan jika tidak segera dilakukan pengaturan zona proteksi relai jarak setelah terjadi perubahan konfigurasi jaringan transmisi setelah penambahan saluran transmisi baru. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, maka perlu menganalisa pengaturan zona proteksi relai jarak sebelum dan setelah penambahan saluran transmisi baru dalam menentukan pengaturan zona proteksi relai jarak yang tepat agar tidak terjadi kegagalan kerja pada koordinasi relai proteksi.

Sistem transmisi Sulawesi Tenggara adalah sistem yang sering mengalami gangguan dan membuat relai jarak selalu bekerja sehingga dibutuhkan pengaturan relai jarak yang tepat terhadap perubahan yang terjadi pada sistem transmisi untuk meningkatkan keandalan sistem. Berdasarkan uraian di atas, maka akan dilakukan penelitian dengan judul “Studi Analisis Koordinasi Zona Proteksi Relai Jarak Saluran Transmisi GI Kendari-GI Kasipute Sebelum dan Setelah Masuknya Saluran Transmisi Baru”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan saluran transmisi GI Tinanggea Switching-GI Tinanggea Smelter terhadap *setting* zona proteksi relai jarak saluran transmisi GI Kendari-GI Kasipute?

2. Bagaimana dampak yang terjadi jika tidak dilakukan *resetting* relai jarak pada GI Kendari dan GI Andoolo setelah adanya penambahan saluran transmisi baru?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan saluran transmisi GI Tinanggea Switching-GI Tinanggea Smelter terhadap *setting* zona proteksi relai jarak saluran transmisi GI Kendari-GI Kasipute.
2. Mengetahui dampak yang terjadi jika tidak dilakukan *resetting* relai jarak pada GI Kendari GI Andoolo setelah adanya penambahan saluran transmisi baru.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi pengaruh penambahan saluran transmisi GI Tinanggea Switching-GI Tinanggea Smelter terhadap *setting* zona proteksi relai jarak saluran transmisi GI Kendari-GI Kasipute.
2. Memberikan informasi dampak yang terjadi jika tidak dilakukan *resetting* relai jarak pada GI Kendari GI Andoolo setelah adanya penambahan saluran transmisi baru.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berfokus pada zona proteksi relai jarak pada saluran transmisi GI Kendari-GI Kasipute.
2. Penambahan saluran baru hanya terbatas pada saluran transmisi GI Tinanggea Switching-GI Tinanggea Smelter.
3. Zona proteksi relai jarak yang digunakan pada penelitian ini adalah *forward zone* dengan karakteristik Mho.
4. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software DigSilent Power Factory*.

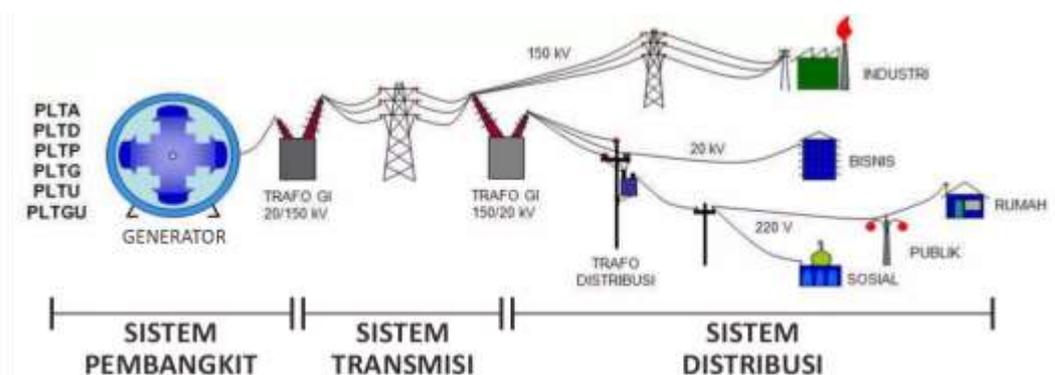
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik ini merupakan kebutuhan tenaga listrik yang bukan saja daerah perkotaan, tetapi sudah merambah ke desa-desa terpencil. Untuk melayani daerah perkotaan dan pedesaan perlu ditingkatkan pula pembangunan jaringan distribusi sehingga terjadi pemerataan pemakaian energi listrik. Mengingat pentingnya energi listrik bagi kehidupan masyarakat dan bagi pembangunan nasional, maka suatu sistem tenaga listrik harus bisa melayani pelanggan secara baik, dalam arti sistem tenaga listrik tersebut aman dan andal. Aman berarti bahwa sistem tenaga listrik tidak membahayakan manusia dan lingkungannya. Andal berarti sistem tenaga listrik dapat melayani pelanggan secara memuaskan misalnya dalam segi kontinuitas dan kualitas. Hal ini akan terwujud apabila proses perencanaan, pelaksanaan pembangunan, pengoperasian dan pemeliharaan suatu sistem tenaga listrik senantiasa mengikuti ketentuan standar teknik yang berlaku.

Prinsip kerja dari sistem tenaga listrik dimulai dari bagian pembangkitan kemudian disalurkan melalui sistem jaringan transmisi pada gardu induk dan dari gardu induk disalurkan serta dibagi-bagi kepada pelanggan melalui saluran distribusi (Afandi, 2005).

Gambar dibawah ini memperlihatkan secara skematis urutan dan fungsi-fungsi pembangkitan, transmisi dan distribusi suatu sistem penyediaan tenaga listrik (Karyana, 2013).



Gambar 1 Sistem Tenaga Listrik

2.2 Sistem Jaringan Transmisi

Transmisi itu sendiri mempunyai arti, yaitu menyalurkan energi dari tempat satu ke tempat yang lain. Sedangkan saluran transmisi adalah menyalurkan energi listrik dari suatu pembangkit sampai ke beban. Transmisi merupakan bagian dari komponen sistem tenaga listrik yang paling mendukung karena merupakan komponen penyalur energi listrik dari pembangkit ke distribusi. Penyaluran tenaga listrik ini mempunyai peranan penting dalam menyuplai tenaga listrik kekonsumen, hal ini dikarenakan apabila terjadi gangguan pada penyaluran tenaga listrik maka dapat mengakibatkan kerugian baik pada konsumen maupun pada PLN sendiri.

Dalam sistem tenaga listrik terdapat dua kategori saluran transmisi, yaitu :

a. Saluran Udara (*overhead line*)

Menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada tiang-tiang transmisi dengan perantaraan isolator-isolator.

b. Saluran bawah tanah (*underground line*)

Menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat yang ditanam di bawah permukaan tanah.

Banyaknya pertimbangan-pertimbangan mengenai efek dari pemakaian saluran transmisi udara maupun bawah tanah maka dipilihlah saluran udara (*overhead line*) karena banyak memiliki keuntungan dari pada saluran bawah tanah, diantaranya biaya perawatan ringan, mudah mendeteksi gangguan (Syafriyudin, 2012).

Sistem transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban melalui saluran transmisi, karena ada kalanya pembangkit tenaga listrik dibangun di tempat yang jauh dari pusat-pusat bebannya, seperti misalnya pembangkit listrik tenaga air dibangun dekat sumber energi alam misalnya berupa air terjun yang jauh di pedalaman, sedangkan pusat beban atau konsumen tenaga listrik misalnya pabrik, industri, komersil, perumahan dan sebagainya kebanyakan di perkotaan. Saluran transmisi ini akan mengalami rugi-rugi tenaga, maka untuk mengatasi hal tersebut tenaga yang dikirim dari pusat pembangkit ke pusat beban harus ditransmisikan dengan tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi (Berahim, 2011).

Gangguan hubung singkat merupakan suatu keadaan ketidaknormalan yang

terjadi pada sistem jaringan transmisi listrik. Suatu kondisi ketidaknormalan tersebut jika terjadi dalam sistem jaringan transmisi listrik akan mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem jaringan transmisi tiga fasa. Gangguan hubung singkat berdasarkan kesimetrisannya dibedakan menjadi gangguan asimetris dan gangguan simetris. Gangguan asimetris terdiri dari gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan antar fasa, gangguan antar fasa ke tanah, sedangkan gangguan simetris terdiri dari gangguan simetris. Gangguan simetris adalah gangguan hubung singkat yang terjadi pada semua fasanya sehingga menyebabkan arus maupun tegangan pada setiap fasanya tetap bernilai seimbang setelah terjadi gangguan (Mardensyah, 2008).

2.3 Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi adalah suatu sistem atau rangkaian yang digunakan untuk membatasi dan mengamankan peralatan listrik dalam sebuah rangkain agar terhindar dari kerusakan. Beberapa kerusakan dalam sistem proteksi dapat berasal dari internal dan eksternal. Kerusakan internal berasal dari rangkain itu sendiri seperti contoh terjadi hubung singkat yang menyebabkan sistem proteksi tersebut aktif dalam jangka waktu tertentu dapat memutus arus dan tegangan dalam rangkaian. Sedangkan kerusakan yang terjadi pada sisi eksternal adalah terjadi akibat gangguan pada jaringan listrik yang terkena pohon, terkupas dan beberapa hal lain yang mengakibatkan sistem proteksi bekerja untuk memutuskan rangkaian listrik (Triyanto, Indrakoesoema, & Kusnadi, 2023).

2.3.1 Filosofi dan kualitas sistem proteksi

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

Kualitas dari sistem proteksi yang diinginkan adalah cepat, sensitif, selektif, dan andal. Cepat berarti, 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. Sensitif berarti, sistem proteksi tersebut harus bereaksi terhadap gangguan yang bagaimanapun

kecilnya selama gangguan tersebut termasuk dalam tugasnya. Selektif berarti, 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 dipisahkan dari sistem. Andal berarti, sistem proteksi tersebut akan bekerja sesuai dengan apa yang diharapkan, dimana keandalan dapat mengacu pada konsep “*security*” atau “*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. Dalam banyak sistem kedua hal diatas tidak mungkin kedua-duanya dipenuhi 100%, sehingga banyak sistem yang merupakan sistem kompromi antara keduanya. Kesederhanaan, dimana digunakan peralatan dan rangkaian yang sederhana akan tetapi tujuan tercapai. Ekonomis, dimana dengan biaya yang minimum dapat dicapai fungsi proteksi yang maksimum.

2.3.2 Komponen yang terdapat pada sistem proteksi

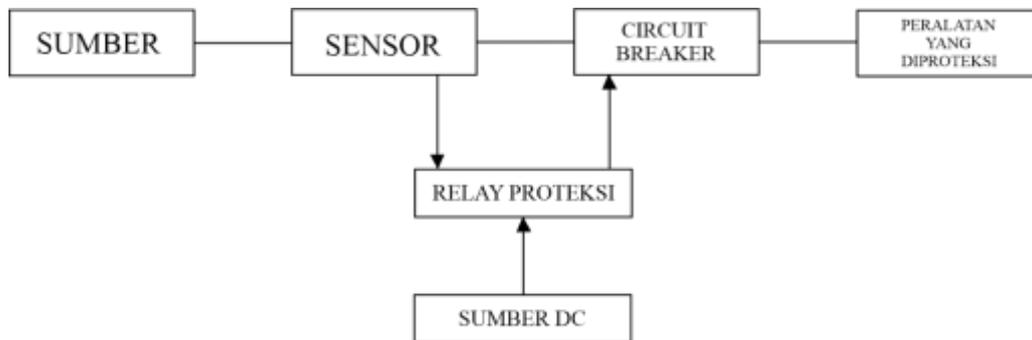
Komponen yang terdapat dalam sistem proteksi adalah:

- a. Peralatan yang diproteksi.
- b. Sensor, yang mendeteksi perubahan parameter sistem dari peralatan yang diproteksi.
- c. Relai Proteksi, yang merupakan otak yang mengevaluasi apakah perubahan parameter tersebut sudah dapat diklasifikasikan sebagai kondisi gangguan atau tidak, dan apabila hasil evaluasi tersebut dianggap sebagai gangguan maka relai proteksi tersebut akan mengeluarkan pertanda bahwa ada kondisi gangguan atau perintah eksekusi trip (membuka) *circuit breaker* yang terkait.
- d. Circuit Breaker adalah alat untuk menghubungkan atau memisahkan peralatan yang diproteksi dari sistem. Sumber DC, pada *static relay*, *digital relay* dan *numeric relay*, sumber DC merupakan sumber daya untuk mengaktifkan rangkaian operasi dari relai, sedangkan pada relai elektromekanik, hal ini tidak dibutuhkan. Sumber DC ini pun, pada umumnya dipakai sebagai sumber daya

untuk *closing* dan *tripping* coil pada CB, meskipun ada juga CB yang masih memakai sumber AC untuk kebutuhan tersebut.

- e. Kawat penghantar, merupakan penghantar informasi antara peralatan-peralatan tersebut.

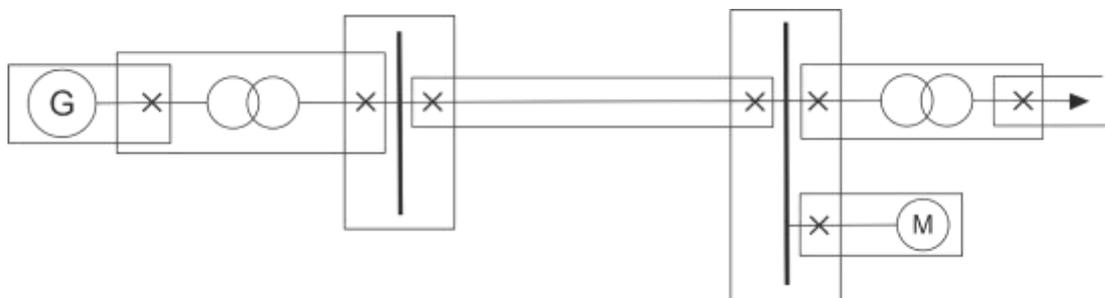
Komponen-komponen yang terdapat dalam sistem proteksi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Komponen-Komponen Sistem Proteksi

2.3.3 Daerah asuhan proteksi (*protection zone*)

Kualitas sistem proteksi salah satunya adalah selektifitas, untuk memenuhi hal tersebut sistem tenaga listrik dibagi atas daerah-daerah asuhan proteksi, dimana pada setiap daerah asuhan proteksi tersebut terdapat relai proteksi yang berfungsi untuk mendeteksi dan memisahkan bagian tersebut dari sistem lainnya apabila terjadi gangguan pada daerah tersebut. Cara yang umum dikenal dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Daerah Asuhan Proteksi

2.3.4 Proteksi utama dan proteksi penyanggah

Pada umumnya, dalam suatu daerah asuhan proteksi terdapat sistem proteksi yang berfungsi sebagai proteksi utama dan proteksi penyanggah. Proteksi utama (*main protection*), adalah sistem proteksi yang pertama kali bereaksi apabila

terjadi gangguan di dalam daerah asuhan proteksinya, dialah yang memberikan perintah untuk melakukan pengisoliran sistem yang terganggu, yang berada di dalam daerah proteksi tersebut dari sistem lainnya secara sempurna. Hal ini dilakukan dengan membuka semua CB yang berada di dalam daerah asuhannya, baik yang dialiri arus hubung singkat.

Proteksi penyanggah (*back-up protection*), adalah sistem proteksi yang harus bereaksi untuk mengisolir sistem yang terganggu tersebut, apabila proteksi utama gagal mengisolir gangguan tersebut. Dimana pengisolasian tersebut dilakukan dengan hanya membuka CB yang dilewati oleh arus hubung singkat. Proteksi penyanggah ada yang berada pada daerah asuhan proteksi yang sama (*local back-up*), atau pada daerah asuhan proteksi yang lain (*remote back-up*). Apabila *local back-up* yang berfungsi, maka daerah yang diisolir sama dengan daerah yang diisolir oleh proteksi utama, sedangkan bila *remote back-up* yang berfungsi maka daerah yang akan terisolir selain daerah proteksi dimana gangguan itu terjadi, bagian dari sistem yang dialiri oleh arus hubung singkat yang berada pada sisi hilir *remote back-up* tersebut akan turut terisolir (Tanyadji & Sarma, 2015).

Terbebas dari gangguan dan kegagalan sistem tidak mungkin dapat dihindari secara total, semakin luas sistem berarti semakin banyak komponen sistem yang terlibat, sehingga kemungkinan terjadinya gangguan dan kegagalan juga meningkat. Sebuah sistem tidak didesain dan dikelola secara baik jika sistem tersebut tidak diproteksi secara baik. Hal ini merupakan ukuran tentang pentingnya suatu sistem proteksi. (Yudha, 2008).

2.3.5 Transformator Arus

Trafo Arus (*Current Transformator-CT*) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada intalasi tenaga listrik di sisi primer (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi (Rusdjaja, 2014).

Trafo arus digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan ampere dan arus yang mengalir dalam jaringan tegangan tinggi. Jika arus yang hendak diukur mengalir pada jaringan tegangan rendah dan besarnya di bawah 5 A, maka

pengukuran dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan suatu ammeter yang dihubungkan seri dengan jaringan. Tetapi jika arus yang hendak diukur mengalir pada jaringan tegangan tinggi, meskipun besarnya di bawah 5 A, maka pengukuran tidak dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan suatu ammeter, karena cara yang demikian berbahaya bagi operator. Cara itu juga berbahaya bagi ammeter yang digunakan karena isolasi ammeter tidak dirancang untuk memikul tegangan tinggi. Jika arus yang hendak diukur mengalir pada jaringan tegangan rendah dan besarnya lebih dari 5 A, maka pengukuran tidak dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan suatu ammeter. Karena pada umumnya, batas kemampuan ammeter hanya mengukur di bawah 5 A.

Selain untuk pengukuran arus, trafo arus juga dibutuhkan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh relai proteksi. Kumputan primer trafo arus dihubungkan seri dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedangkan kumputan sekunder dihubungkan dengan meter atau relai proteksi. Pada umumnya peralatan ukur dan relai membutuhkan arus 1 atau 5 A (Tobing, 2003).

2.3.6 Transformator Tegangan

Trafo tegangan adalah peralatan yang mentransformasi tegangan sistem yang lebih tinggi ke suatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk kebutuhan peralatan indikator, alat ukur/meter dan relai (Rusdjaja, 2014).

Trafo tegangan adalah trafo satu fasa *step-down* yang mentransformasikan tegangan sistem ke suatu tegangan rendah yang layak untuk perlengkapan indikator, alat ukur, relai, dan alat sinkronisasi. Hal ini dilakukan atas pertimbangan harga dan bahaya yang dapat ditimbulkan tegangan tinggi bagi operator. Tegangan perlengkapan seperti indikator, meter, dan relai dirancang sama dengan tegangan terminal sekunder trafo tegangan (Tobing, 2003).

2.4 Sistem Proteksi Saluran Transmisi

Adapun faktor yang mempengaruhi pemilihan jenis relai penghantar adalah panjang saluran transmisi yang didasarkan pada perbandingan impedansi sumber terhadap impedansi saluran yang diproteksi (SIR). SIR menunjukkan kekuatan

sistem yang akan diproteksi, semakin kecil SIR berarti semakin kuat sumber yang memasok saluran transmisi tersebut.

Pada aplikasinya, untuk saluran panjang dan saluran sedang digunakan relai jarak sementara untuk saluran pendek digunakan relai diferensial penghantar. Proteksi utama saluran transmisi terdiri atas proteksi relai jarak dan proteksi relai diferensial. Untuk proteksi utama di sistem 500 kV diprioritaskan menggunakan relai diferensial penghantar.

Relai jarak adalah relai penghantar yang prinsip kerjanya berdasarkan pengukuran impedansi penghantar. Impedansi penghantar yang dirasakan oleh relai adalah hasil bagi tegangan dengan arus dari sebuah rangkaian. Relai ini mempunyai ketergantungan terhadap besarnya SIR dan keterbatasan sensitivitas untuk gangguan satu fasa ke tanah. Relai ini mempunyai beberapa karakteristik seperti mho, quadrilateral, reaktansi, adaptif mho dan lain-lain. Sebagai unit proteksi relai ini dilengkapi dengan pola teleproteksi seperti PUTT, POTT dan blocking. Jika tidak terdapat teleproteksi maka relai ini berupa step distance saja.

Relai jarak sebagai proteksi utama mempunyai fungsi lain yaitu sebagai proteksi cadangan jauh (*remote backup*) untuk penghantar di depan maupun belakangnya (*Zone-2, Zone-3, Zone-3 reverse*). Relai ini biasanya dilengkapi dengan elemen *power swing blocking* untuk mencegah malakerja relai akibat ayunan daya (*power swing*).

Relai jarak mengukur tegangan pada titik relai dan arus gangguan yang terlihat dari relai, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan. Perhitungan impedansi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \quad (1)$$

dengan,

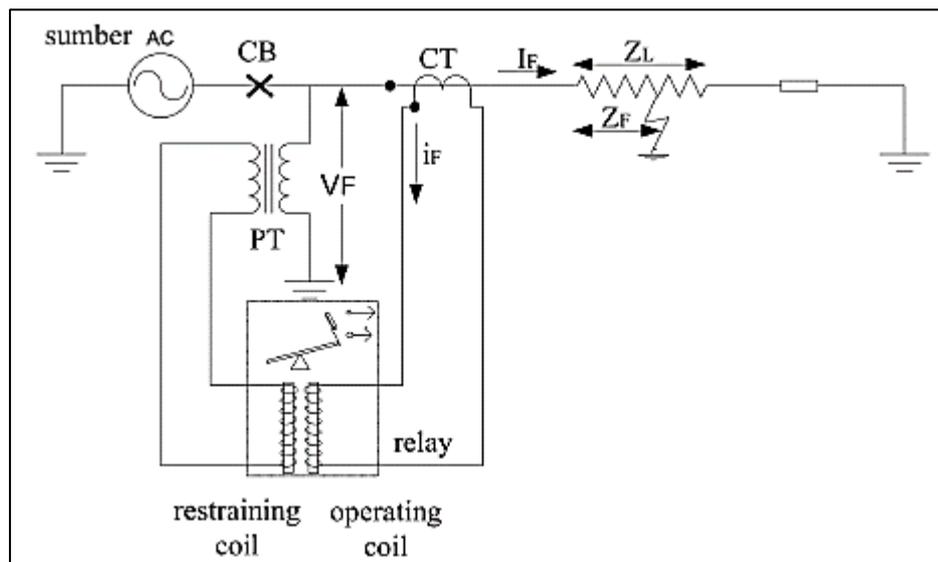
Z_f : Impedansi gangguan (Ohm)

V_f : Tegangan gangguan (Volt)

I_f : Arus gangguan (Ampere)

Berdasarkan persamaan tersebut, terdapat dua parameter yang mempengaruhi nilai impedansi gangguan Z_f yang terbaca pada relai jarak yaitu tegangan

gangguan V_f dan arus gangguan I_f . Parameter-parameter tersebut dapat dirasakan oleh relai jarak dengan bantuan transformator tegangan atau *voltage transformer* (VT) dan transformator arus atau *current transformer* (CT) yang berada pada gardu induk yang sama dengan letak relai jarak tersebut. Transformator tegangan digunakan untuk membaca tegangan pada saat terjadi gangguan, dan tegangan arus digunakan untuk membaca arus hubung singkat saat terjadi gangguan. Setelah relai jarak memperoleh nilai tegangan gangguan V_f dan arus gangguan I_f , maka dapat diketahui nilai impedansi gangguan Z_f dengan perhitungan menggunakan persamaan di atas.



Gambar 4 Relai Jarak Elektromagnetik

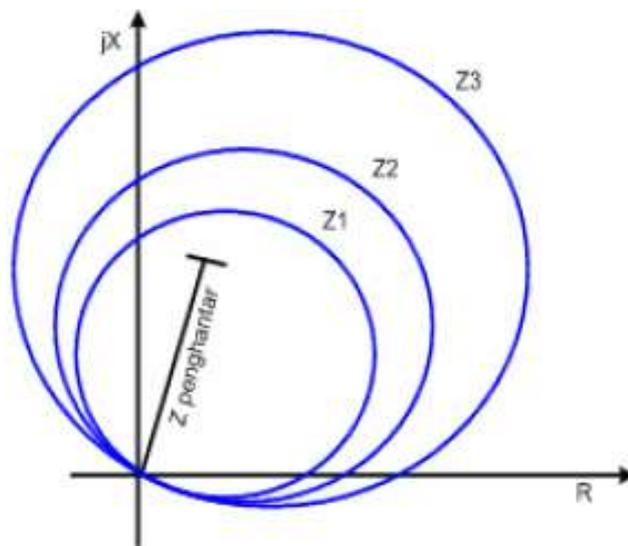
Relai jarak akan bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan impedansi *setting*, dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Bila nilai impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi *setting* relai ($\frac{V_f}{I_f} < \frac{V_s}{I_s}$) maka relai bekerja.
2. Bila nilai impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi *setting* relai ($\frac{V_f}{I_f} > \frac{V_s}{I_s}$) maka relai tidak bekerja (Tanyadji & Sarma, 2015).

Salah satu karakteristik yang digunakan pada relai jarak adalah relai jarak dengan karakteristik Mho. Berikut ciri-ciri dari relai jarak dengan karakteristik Mho:

1. Titik pusatnya bergeser sehingga mempunyai sifat *directional*.

2. Mempunyai keterbatasan untuk mengantisipasi gangguan tanah *high resistance*. Gangguan *high resistance* akan menambah nilai R_f (tahanan gangguan) sehingga relai akan bekerja di luar zona proteksinya (gangguan yang berada di *zone-1* namun karena bersifat resistif sehingga relai membacanya sebagai *zone-2*), begitu pula jika terdapat jenis gangguan kapasitif maupun induktif. Gangguan akan menambah nilai X_f (reaktansi kapasitif atau induktif gangguan) sehingga akan bekerja di luar zona proteksinya.
3. Digunakan untuk karakteristik gangguan fasa-fasa.



Gambar 5 Relai Jarak Karakteristik Mho

Adapun pembagian zona proteksi pada relai jarak yang umumnya terdiri atas zona 1, zona 2, dan zona 3. Zona 1 merupakan zona proteksi utama dari relai jarak, sedangkan zona 2 dan zona 3 merupakan zona proteksi penyangga dari relai jarak.

a. Zona 1

Sebagai proteksi utama, jangkauan zone-1 harus mencakup seluruh saluran yang diproteksi. Namun dengan mempertimbangkan adanya kesalahan-kesalahan dari data konstanta saluran, CT, PT dan peralatan-peralatan lainnya sebesar 20%, maka *zone-1* relai diatur 80 % dari panjang saluran yang diamankan.

$$Z_1 = 0.8 \times Z_{L1} \quad (2)$$

Waktu kerja relai adalah seketika, sehingga tidak dilakukan penyetingan waktu.

b. Zona 2

Zone-2 harus mencakup hingga busbar di depannya (*near end bus*) namun tidak boleh overlap dengan *zone-2* relai jarak di seksi berikutnya. Dengan mengasumsikan kesalahan-kesalahan seperti pada penyetingan *zone-1* sekitar 20 %, maka didapat penyetingan minimum dan maksimum untuk *zone-2* sebagai berikut:

$$Z_{2min} = 1.2 \times Z_{L1} \quad (3)$$

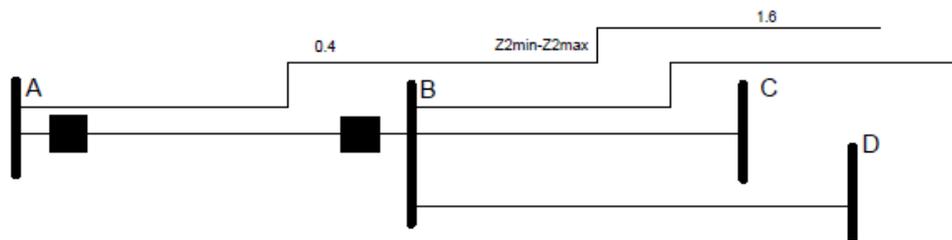
$$Z_{2max} = 0.8 \times (Z_{L1} + (0.5 \times Z_{L2})) \quad (4)$$

dengan,

Z_{L1} : impedansi saluran yang diamankan

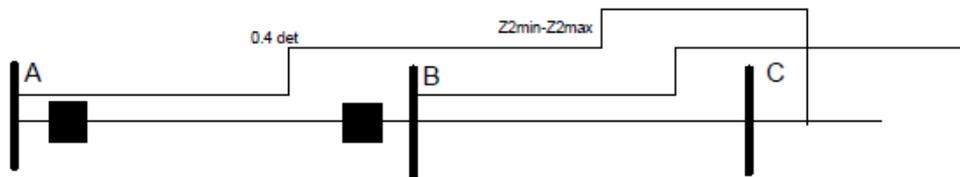
Z_{L2} : impedansi saluran berikutnya yang terpendek (dalam Ω)

Jika pada saluran seksi berikutnya terdapat beberapa cabang, untuk mendapatkan selektifitas yang baik maka *setting* Z_{2max} diambil dengan nilai impedansi penghantar (Ohm) yang terkecil seperti terlihat pada contoh dibawah ini :



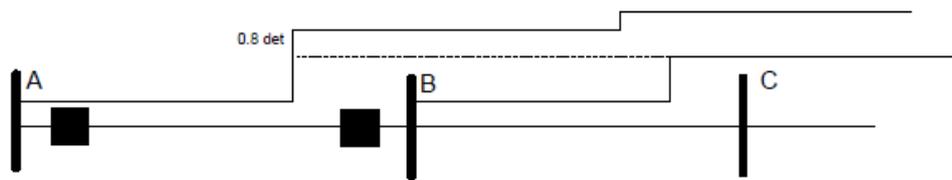
Gambar 6 Saluran Seksi Dengan Banyak Cabang

Untuk keadaan dimana $Z_{2max} > Z_{2min}$ maka *setting* *zone-2* diambil = Z_{2max} dengan $t_2 = 0.4$ detik.



Gambar 7 Saluran Seksi Dengan Kondisi $Z_{2max} > Z_{2min}$

Jika saluran yang diamankan jauh lebih panjang dari saluran seksi berikutnya maka akan terjadi $Z_{2max} < Z_{2min}$. Pada keadaan demikian untuk mendapatkan selektifitas yang baik, maka $zone-2 = Z_{2min}$ dengan *setting* waktunya dinaikkan satu tingkat ($t_2=0.8$ detik) , seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 8 Saluran Seksi Dengan Kondisi $Z_{2max} < Z_{2min}$

Jika pada gardu induk di depannya terdapat transformator daya, maka jangkauan *zone-2* tidak melebihi impedansi transformator $Z_{TR} = 0.8 (Z_{L1} + X_t)$. Hal ini dimaksudkan jika terjadi gangguan pada sisi LV Transformator, relai jarak tidak bekerja.

c. Zona 3

Jangkauan *zone-3* harus mencakup dua busbar GI didepannya yang terjauh (far end bus) sehingga diperoleh penyetingan *zone-3* sebagai berikut :

$$Z_{3min} = 1.2 \times (Z_{L1} + Z_{L3}) \quad (5)$$

$$Z_{3max 1} = 0.8 \times (Z_{L1} + (1.2 \times Z_{L3})) \quad (6)$$

$$Z_{3max 2} = 0.8 \times (Z_{L1} + (0.8 \times Z_{L3} + 0.8 \times Z_{L4})) \quad (7)$$

$$Z_{TR} = 0.8 \times (Z_{L1} + (0.8 \times X_t)) \quad (8)$$

dimana,

Z_{L1} : impedansi saluran yang diamankan

Z_{L3} : impedansi saluran saluran berikutnya yang terpanjang (dalam Ω)

Z_{L4} : impedansi saluran dari far end bus yang terpendek (dalam Ω)

Zone-3 dipilih yang terbesar dari Z_{L1} , Z_{L2} dan Z_{L3} namun tidak melebihi nilai Z_{TR} . Pemilihan 1.6 detik apakah agar melebihi waktu *pole discrepancy* 1.5 detik dan DEF backup. Zone-3 memiliki setting waktu 1.6 detik dan jika saluran yang diamankan adalah penghantar radial, maka setting zone-3 diharapkan tidak melebihi 80% impedansi transformator didepannya.

2.5 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik sangat beragam besaran dan jenisnya. Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal yang dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh beberapa

faktor, yaitu gangguan yang berasal dari sistem dan gangguan yang berasal dari luar sistem. Pada dasarnya suatu sistem tenaga listrik harus dapat beroperasi secara terus-menerus secara normal, tanpa terjadi gangguan. Akan tetapi gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari (Sulistiyo & Zainuddin, 2019).

Untuk keperluan proteksi, penghantar didefinisikan mulai dari lokasi *circuit breaker* (atau peralatan pemutus lainnya) yang berfungsi mengisolir penghantar dari sistem lainnya. Penghantar ini termasuk *DS line*, konduktor, kabel bawah tanah dan peralatan apparatus (termasuk *line trap*, *series capacitors*, *shunt reactors*, dan *autotransformers*) yang terdapat antara kedua circuit breaker.

Saluran transmisi dapat berupa saluran udara, saluran kabel maupun kombinasi dari keduanya. Saluran transmisi udara menggunakan proteksi saluran udara, saluran transmisi kabel menggunakan proteksi saluran kabel. Saluran transmisi yang terdiri dari kombinasi antara saluran kabel dan saluran udara, maka digunakan proteksi saluran kabel atau proteksi yang terpisah antara kabel dan saluran udara.

Sebagian besar gangguan pada saluran udara adalah gangguan temporer sehingga untuk mempertahankan kontinuitas penyaluran digunakan *autorecloser*, sedangkan pada saluran kabel gangguan yang terjadi adalah gangguan yang bersifat permanen sehingga tidak diperlukan penerapan *autorecloser* (PLN, 2013).

2.6 Penggunaan Software DigSilent Power Factory

Program perhitungan *DigSilent Power Factory*, adalah *engineering tool* yang berguna untuk melakukan analisis transmisi, distribusi, dan sistem tenaga listrik industri. *Software* ini telah dirancang sebagai perangkat lunak terintegrasi dan interaktif yang canggih dan *software* ini didedikasikan untuk sistem dan kontrol tenaga listrik analisis untuk mencapai tujuan utama yaitu perencanaan dan optimalisasi operasi.

DigSilent adalah singkatan dari “*Digital Simulation of Electrical Networks*”. *PowerFactory* dirancang dan dikembangkan oleh insinyur dan *programmer* yang berkualifikasi selama bertahun-tahun dalam analisis sistem tenaga listrik dan pemrograman komputer. Akurasi dan validitas hasil yang diperoleh dengan *PowerFactory* telah dikonfirmasi dalam banyak implementasi oleh organisasi yang

terlibat didalam perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga di seluruh dunia.

Software DigSilent yang selama ini digunakan untuk studi aliran daya dan hubung singkat, juga menyediakan fasilitas fungsi proteksi yang diantaranya dapat menampilkan diagram koordinasi waktu dan jangkauan *setting* relai jarak (*Time-Distance Diagram*). Pada *software DigSilent*, nilai jangkauan relai jarak yang dimasukkan adalah nilai *setting* (nilai sekunder). Selain itu, pada saat memasukkan data akan membentuk *database* CT (*Current Transformer*), VT (*Voltage Transformer*), dan data relai proteksi beserta data *setting*-nya secara otomatis.

DigSilent Power Factory memungkinkan pengguna untuk menentukan skema proteksi dengan mengintegrasikan perangkat proteksi ke dalam sistem yang ditentukan oleh model jaringan proyek. Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk membantu koordinasi perangkat proteksi dan untuk menghasilkan representasi grafis dari karakteristik sistem proteksi.

Selain itu, *DigSilent Power Factory* memungkinkan pembuatan *single line diagram* proteksi untuk visualisasi lokasi perangkat proteksi dalam jaringan. *DigSilent PowerFactory* juga dapat membatu untuk koordinasi proteksi jarak secara otomatis dengan konfigurasi yang sesuai *setting* untuk skema proteksi jarak (Benedicta, 2021).