

TUGAS AKHIR

PEMODELAN SISTEM PROTEKSI RELE JARAK DALAM MENDETEKSI GANGGUAN SALURAN TRANSMISI 150 kV MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik (S.T). Pada Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

ZUNAI
2107220066



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Zunaidi

NPM : 2107220066

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Pemodelan Sistem Proteksi Rele Jarak Dalam Mendeteksi Gangguan Saluran Transmisi 150 kV Menggunakan Matlab Simulink

Bidang Ilmu : Sistem Tenaga Listrik

Telah Berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2025

Mengetahui dan menyetujui
Dosen Pembimbing

Dr. Rohana, S.T., M.T

Dosen Pembanding I

Faisal Idris Pasaribu, S.T, S.Pd., M.T

Dosen Pembanding II

Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Surat yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Zunaidi
Tempat / Tanggal Lahir : Bagan Asahan / 23 November 2001
NPM : 2107220066
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan Sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

“Pemodelan Sistem Proteksi Rele Jarak Dalam Mendeteksi Gangguan Saluran Transmisi 150 kV Menggunakan Matlab Simulink”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian kerja hasil milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan / keserjanaan saya

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 30 Agustus 2025

Saya yang menyatakan,


Zunaidi

METERAN
TEMPEL
15/27ANX053921879

ABSTRAK

Sistem transmisi tenaga listrik berperan penting dalam penyaluran energi dari pusat pembangkit ke pusat beban. Keandalan saluran transmisi sangat dipengaruhi oleh kemampuan sistem proteksi dalam mendeteksi dan mengisolasi gangguan secara cepat dan selektif. Rele jarak merupakan salah satu alat proteksi utama pada saluran transmisi karena bekerja berdasarkan pengukuran impedansi untuk menentukan lokasi gangguan. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan sistem proteksi rele jarak pada saluran transmisi 150 kV menggunakan Matlab Simulink, menganalisis pengaruh lokasi gangguan terhadap kinerja rele, dan mengoptimalkan parameter zona proteksi. Metodologi penelitian meliputi pembuatan model sistem tenaga di Simulink, pemodelan rele jarak dengan 3 zona proteksi (zona 1, zona 2, dan zona 3), serta pengujian respon sistem terhadap berbagai jenis dan lokasi gangguan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem proteksi berhasil mendeteksi gangguan secara akurat pada setiap zona, di mana zona 1 bekerja tanpa delay, zona 2 bekerja dengan delay 0,2 detik, dan zona 3 dengan delay 1,4 detik. Lokasi gangguan yang lebih jauh dari relay menyebabkan waktu trip lebih lambat karena nilai impedansi yang lebih tinggi. Penelitian ini membuktikan bahwa pemodelan rele jarak di Matlab Simulink dapat digunakan sebagai alat bantu analisis dan perencanaan sistem proteksi saluran transmisi, serta sebagai media pembelajaran yang efektif dalam bidang teknik tenaga listrik.

Kata kunci: Rele jarak, saluran transmisi 150 kV, proteksi, gangguan, matlab simulink, zona proteksi, impedansi.

ABSTRACT

The electrical power transmission system plays a vital role in delivering energy from generation centers to load centers. The reliability of transmission lines is significantly influenced by the protection system's ability to detect and isolate faults quickly and selectively. Distance relays are one of the primary protection devices in transmission lines, operating based on impedance measurement to determine the fault location. This study aims to model a distance relay protection system for a 150 kV transmission line using Matlab Simulink, analyze the effect of fault location on relay performance, and optimize the parameters of protection zones. The research methodology includes building a power system model in Simulink, modeling a distance relay with three protection zones (zone 1, zone 2, and zone 3), and testing the system's response to various types and locations of faults. Simulation results show that the protection system successfully detects faults accurately in each zone: zone 1 operates without delay, zone 2 with a 0.1-second delay, and zone 3 with a 1.6-second delay. Faults occurring further from the relay result in longer trip times due to higher measured impedance values. This research demonstrates that modeling a distance relay in Matlab Simulink can serve as a useful tool for analyzing and planning transmission line protection systems, as well as an effective learning medium in the field of electrical power engineering.

Keywords: *Distance relay, 150 kV transmission line, protection, fault, Matlab Simulink, protection zone, impedance.*

KATA PENGANTAR



Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Pemodelan Sistem Proteksi Rele Jarak Dalam Mendeteksi Gangguan Saluran Transmisi 150 kV Menggunakan Matlab Simulink”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Teristimewa kepada Orang Tua yang telah memberikan dukungan bagi penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir.
2. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.AP selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Dr. Elvy Sahnur, S.T., M.Pd, selaku Kepala Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Benny Oktrialdi, S.T., M.T, selaku Sekretaris Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Dr. Rohana, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing yang telah membantu menyelesaikan serta memberikan ide-ide dan masukan dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
7. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ide-ide dan masukan dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
8. Ibu Dr. Elvy Sahnur, S.T., M.Pd, selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan ide-ide dan masukan dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

9. Bapak & Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu ketekniklistrikan kepada penulis.

10. Bapak & Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan maupun dalam susunan kalimat yang mana penulis menerima kritikan dan saran demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini. Penulis mengharapkan semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca. Dan akhirnya kepada Allah SWT penulis serahkan segalanya tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya.. Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 30 Agustus 2025

Penulis

Zunaidi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	6
2.2 Sistem Transmisi	7
2.2.1 Komponen Saluran Transmisi	9
2.3 Sistem Proteksi Pada Saluran Transmisi	12
2.3.1 Komponen Sistem Proteksi	14
2.4 Rele Jarak	16
2.4.1 Prinsip Kerja Rele Jarak	17
2.4.2 Syarat – Syarat Rele Jarak.....	17
2.4.3 Karakteristik Rele Jarak	19
2.4.4 Pengaruh Lokasi Gangguan Terhadap Kinerja Rele Jarak.....	21
2.5 Zona Proteksi Pada Saluran Transmisi.....	25
2.5.1 Parameter Zona Proteksi Rele Jarak.....	28
2.6 Pemodelan Sistem Proteksi Rele Jarak	32
2.6.1 Memodelkan Rele Jarak Pada Saluran Transmisi	33
2.7 Matlab Simulink.....	35
2.7.1 Optimalisasi Parameter Zona Proteksi Rele Jarak	36
BAB 3 METODE PENELITIAN	39
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian.....	39
3.2 Data Penelitian	39
3.3 Diagram Blok Penelitian.....	40

3.4	Prosedur Penelitian	43
3.5	Diagram Alir Penelitian	47
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		55
4.1	Pemodelan Rele Jarak Pada Saluran Transmisi 150 kV Menggunakan Matlab Simulink.....	55
BAB 5 PENUTUP.....		64
5.1	Kesimpulan	64
5.2	Saran	64
DAFTAR PUSTAKA.....		65
LAMPIRAN.....		68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Menara Transmisi.....	10
Gambar 2. 2 Isolator.....	11
Gambar 2. 3 Phase Fault Mho Characteristics	20
Gambar 2. 4 Phase Fault Quadrilateral Characteristics	21
Gambar 2. 5 Zona Proteksi.....	25
Gambar 2. 6 Jangkauan Impedansi Zona-1.....	26
Gambar 2. 7 Jangkauan Impedansi Zona-2.....	27
Gambar 2. 8 Jangkauan Impedansi Zona-3.....	28
Gambar 3. 1 Diagram Blok Penelitian	40
Gambar 3. 1 Diagram Blok Penelitian	40
Gambar 3. 2 Diagram Alir PenelitianPengumpulan data	54
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	54
Gambar 4. 1 Single Line System.....	58
Gambar 4. 2 Blok Fault.....	60
Gambar 4. 3 Blok Rele Jarak	60
Gambar 4. 4 Elemen-Elemen Blok Rele Jarak.....	61
Gambar 4. 5 Grafik Kondisi Normal.....	62
Gambar 4. 6 Grafik Mendeteksi Gangguan	63
Gambar 4. 7 Grafik gangguan tiga fasa	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 8 Grafik Gangguan 3 fasa ke tanah	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 9 Grafik gangguan fasa ke fasa	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Patameter Rele Jarak	40
Tabel 4. 1 Data sistem tenaga 150 kV	57
Tabel 4. 2 Menentukan Titik Gangguan.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 3 Hasil analisis simulasi gangguan tiga fasa	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 4 Hasil analisis simulasi gangguan 3 fasa ke tanah	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 5 Hasil analisis simulasi gangguan fasa ke fasa	Error! Bookmark not defined.

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saluran transmisi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik dengan sejumlah konduktor yang dipasang membentang sepanjang jarak antara pusat pembangkit sampai pusat beban. Atau mengirimkan energi listrik dari satu gardu induk ke gardu induk yang lain. Saluran transmisi biasanya digunakan untuk mengirimkan daya listrik yang cukup besar untuk jarak yang relatif jauh. [1].

Rele proteksi merupakan komponen penting dalam kinerja umum sistem tenaga, terutama dalam hal keandalan. Dan untuk menjaga berbagai sistem tenaga dari kerusakan yang disebabkan oleh kondisi abnormal, seperti kenaikan arus yang disebabkan oleh terjadinya gangguan hubung singkat. Hal ini membuat setting rele menjadi sangat penting, sehingga pengoperasian yang benar dapat dipastikan untuk kondisi abnormal dalam sistem yang dilindungi.[2]

Pada umumnya rele yang digunakan untuk mengamankan saluran transmisi yaitu rele jarak yang berfungsi sebagai proteksi utama pada saluran transmisi. Rele jarak dapat di gunakan untuk menentukan letak lokasi gangguan dengan menggunakan perhitungan – perhitungan yang dipengaruhi nantinya oleh nilai impedansi pada saluran tersebut, dengan melakukan perhitungan ini kita bisa menentukan dimana lokasi gangguan [3].

Pemodelan adalah proses untuk membuat sebuah model dari sistem. Model adalah representasi dari sebuah bentuk nyata, sedangkan sistem adalah saling keterhubungan antar elemen yang membangun sebuah kesatuan, biasanya dibangun untuk mencapai tujuan tertentu. Tujuan suatu pemodelan adalah untuk menganalisa dan memberi prediksi yang dapat mendekati kenyataan sebelum sistem di terapkan di lapangan untuk mendeteksi dan mengisolasi gangguan di saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV [4].

Matlab (*Matrix Laboratory*) adalah software/prangkat lunak yang dikembangkan oleh Mathworks, Inc dengan memanfaatkan matriks dalam penggunaannya. Salah satu kegunaan dari Matlab secara umum adalah untuk simulasi atau pemodelan di bidang elektro yaitu matlab simulink. Sehingga Matlab

dapat diaplikasikan dalam teknologi. Aplikasi pemanfaatan Matlab dalam teknologi telah berkembang melalui algoritma yang terus dikembangkan dengan berbagai tujuan, mulai dari identifikasi/deteksi, segmentasi, simulasi bahkan sampai dengan pengembangan pemrograman. Aplikasi Matlab dalam teknologi pemodelan system proteksi diantaranya dalam proses pemodelan dengan simulasi [5].

Rele jarak peran utamanya adalah mendeteksi dan mengisolasi gangguan dengan cepat dan selektif untuk menjaga keandalan dan kestabilan sistem tenaga listrik. Rele jarak sangat diperlukan pada saluran transmisi untuk mendeteksi gangguan yang akurat dan selektivitas proteksi. Rele jarak mampu memberikan proteksi yang selektif dan hanya memutus bagian saluran yang terganggu dengan kecepatan respon yang tinggi, respon cepat ini sangat penting untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada peralatan dan menjaga kestabilan sistem. Kemampuan proteksi jarak jauh saluran transmisi memiliki Panjang yang sangat besar dan gangguan dapat terjadi di berbagai titik sepanjang saluran. Rele jarak tidak dipengaruhi oleh perubahan beban atau arus sistem karena pengukurannya didasarkan pada impedansi saluran bukan pada arus, hal ini menjadikannya lebih andal untuk melindungi saluran transmisi.

1.2 Identifikasi Masalah

Adapun identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kebutuhan sistem proteksi yang handal pada jaringan transmisi 150 kV yaitu yang rentang terhadap gangguan seperti hubung singkat satu fasa atau dua fasa, sehingga diperlukan proteksi yang cepat dan selektif.
2. Kesulitan menentukan zona proteksi rele jarak secara akurat yaitu zona-zona proteksi (Z_1 , Z_2 dan Z_3) harus dirancang dengan pengaturan yang tepat agar mampu mendeteksi gangguan sesuai lokasi dan waktu kerja yang diharapkan.
3. Kurangnya simulasi yang representative terhadap kondisi gangguan nyata yaitu banyak studi hanya mengandalkan perhitungan teoritis tanpa validasi simulasi berbasis waktu untuk berbagai skenario gangguan.
4. Belum optimalnya pemodelan logika kerja rele jarak secara dinamis dan Model yang digunakan sering kali terlalu sederhana dan tidak menggambarkan logika pemilihan zona, penundaan waktu, dan fungsi trip secara menyeluruh.

5. Perlu adanya platform simulasi yang fleksibel dan interaktif untuk evaluasi proteksi yaitu matlab simulink dapat menjadi solusi, namun membutuhkan desain pemodelan proteksi yang kompleks agar hasil simulasi mendekati kondisi nyata.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara memodelkan rele jarak untuk proteksi saluran transmisi 150 kV di Matlab Simulink?
2. Bagaimana pengaruh lokasi gangguan terhadap kinerja rele jarak?
3. Bagaimana zona proteksi memengaruhi kecepatan dan akurasi operasi rele jarak dalam mendeteksi gangguan pada saluran transmisi?

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Difokuskan pada transmisi berkapasitas 150 kV yang digunakan di PT.PLN (Persero) Wilayah Sumatera Utara. Transmisi ini menjadi objek simulasi untuk mengkaji sistem proteksi rele jarak.
2. Sistem tenaga yang dimodelkan merupakan saluran transmisi 150 kV dengan satu jenis gangguan, yaitu gangguan hubung singkat.
3. Analisis dilakukan pada zona 1, zona 2 dan zona 3 sistem proteksi rele jarak
4. Parameter untuk mensimulasikan sistem proteksi rele jarak pada transmisi, diaman adalah, yaitu, Panjang saluran, rele jarak, sumber gangguan, blok dan komponen matlab simulink.
5. Parameter untuk menganalisa kinerja sistem proteksi rele jarak pada transmisi yaitu, waktu operasi, impedansi, akurasi pengukuran, dan pengaruh terhadap jenis gangguan.
6. Rekomendasi parameter optimal untuk meningkatkan keandalah sistem proteksi yaitu, pengaturan waktu, impedansi zona proteksi, karakteristik kurva rele, dan pengukuran impedansi.

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memodelkan rele jarak pada saluran transmisi 150 kV menggunakan Matlab Simulink.
2. Menganalisis pengaruh lokasi gangguan terhadap kinerja rele jarak.
3. Optimalisasi parameter zona proteksi rele jarak dalam mendeteksi gangguan pada saluran transmisi.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi universitas sebagai acuan bagi penelitian selanjutnya terkait proteksi saluran transmisi menggunakan perangkat lunak Matlab Simulink.
2. Bagi Perusahaan membantu operator sistem tenaga dalam memahami pengaturan optimal rele jarak untuk meningkatkan keandalan proteksi.
3. Bagi penulis memberikan wawasan dan referensi bagi pengembangan sistem proteksi saluran transmisi menggunakan rele jarak.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman maka sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai :

BAB 1 Pendahuluan

Menguraikan pentingnya proteksi pada saluran transmisi dan penggunaan matlab Simulink untuk analisis sistem proteksi rele jarak, dilengkapi dengan latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, tujuan, ruang lingkup serta manfaat penelitian.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Membahas teori dasar saluran transmisi, sistem proteksi rele jarak, matlab simulink, pemodelan, dan hasil penelitian sebelumnya yang relevan sebagai landasan teori.

BAB 3 Metodologi Penelitian

Menjelaskan proses perancangan simulasi sistem proteksi rele jarak, pengaturan parameter, dan analisis kinerja menggunakan matlab simulink.

BAB 4 Hasil Dan Pembahasan

Menyajikan hasil simulasi dan analisis kinerja sistem proteksi rele jarak pada saluran transmisi 150 kV dan parameter, termasuk kemampuannya mendeteksi gangguan.

BAB 5 Penutup

Menyajikan Kesimpulan dari hasil penelitian dan memberikan saran pengembangan lebih lanjut.

BAB 2 **TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Tinjauan Pustaka adalah proses umum yang dilalui untuk mendapatkan teori yang relevan dengan masalah yang diteliti. Mencari beberapa kumpulan penelitian yang terkait kemudian diangkat untuk mendukung penelitian yang dibuat agar penelitian semakin menguat. Kajian pustaka meliputi pengidentifikasian secara sistematis, penemuan dan analisis dokumen yang memuat informasi yang berkaitan dengan masalah penelitian.

Beberapa penelitian mengenai Rele Jarak telah dilakukan, namun dengan pendekatan yang berbeda, di antaranya adalah Penelitian yang dilakukan oleh Risca Arie Wahyuningsih, Supriyatna, dan Agung Budi Muljono tentang proteksi rele jarak (*distance relay*) pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV sistem kelistrikan lombok, dimana menghitung setting impedansi rele jarak untuk setiap zona proteksi (zona 1, zona 2, dan zona 3) pada saluran transmisi ampenan-geranjang, penelitian ini menggunakan perangkat lunak etap 7.5 untuk melakukan simulasi gangguan hubung singkat pada saluran transmisi 150 kV, penelitian berhasil menampilkan grafik koordinasi antara impedansi dan waktu operasi pada setiap zona proteksi, yang menunjukkan kesesuaian antara setting rele dan karakteristik sistem [1].

Eteruddin dan Hamzah juga melakukan penelitian tentang Analisis Proteksi Rele Jarak Pada Saluran Transmisi 150 Kv Garuda Sakti –Pasir Putih Menggunakan Pscad, dimana menguji dan menganalisis kinerja rele jarak melalui simulasi gangguan menggunakan software PSCAD, dan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak pscad untuk menganalisis performa rele jarak terhadap gangguan, simulasi menggunakan PSCAD menunjukkan bahwa semua gelombang impedansi gangguan berada dalam lingkaran zona proteksi. hal ini menandakan bahwa rele jarak akan bekerja sesuai dengan pengaturan saat terjadi gangguan.[6]

Analisis Penalaan Rele Jarak sebagai Proteksi Utama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Bandung Selatan – Cigereleng yang diteliti oleh Rhamandita Sudrajat, Mengoptimalkan pengaturan (*setting*) rele jarak untuk memastikan sistem proteksi dapat bekerja secara selektif dan cepat dalam

mengamankan saluran transmisi dari gangguan, Penelitian dilakukan dengan penalaan rele jarak pada saluran transmisi tegangan tinggi antara Gardu Induk Bandung Selatan dan Gardu Induk Cigereleng. Penalaan rele jarak menghasilkan nilai impedansi dan waktu operasi Zona 1: $0,205 \angle 69,39^\circ$ Ohm dengan waktu operasi trip 0 detik, Zona 2: $1,201 \angle 70,76^\circ$ Ohm dengan waktu operasi trip 0,4 detik, Zona 3: $2,175 \angle 70,804^\circ$ Ohm dengan waktu operasi trip 1,6 detik [7].

dan Angga Priyono Kusuma melakukan penelitian Evaluasi Setting Rele Jarak Transmisi 150 Kv Senggiring – Singkawang, Mengevaluasi kinerja proteksi rele jarak sebagai pengaman utama saluran transmisi 150 kV pada sistem kelistrikan Kalimantan Barat, data teknis seperti sumber pembangkit, trafo, dan konduktor yang digunakan pada saluran transmisi senggiring – singkawang, analisis dilakukan berdasarkan simulasi gangguan dan rekaman gangguan meluas yang ada, setting baru dinyatakan dapat bekerja lebih selektif, berdasarkan analisis kinerja rele terhadap simulasi dan rekaman gangguan meluas.[8]

Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Deni Almanda dan Juniyanto tentang Analisis Pengaruh Kompensasi Impedansi Urutan Nol (kZn) Terhadap Keandalan Sistem Proteksi Rele Jarak (Distance Relay) Pada Penghantar Harapan Indah di Gardu Induk Plumping, Mengetahui pengaruh kompensasi impedansi urutan nol (kZn) terhadap keandalan sistem proteksi rele jarak, Data setting awal rele jarak (Z_1, Z_2, Z_3 , dan kZn) diperoleh dari PT PLN (Persero) UPT Pulogadung, kompensasi impedansi urutan nol (kZn) secara signifikan mempengaruhi keandalan sistem proteksi rele jarak pada penghantar harapan indah di gardu induk plumping [9].

2.2 Sistem Transmisi

Sistem tenaga listrik secara umum terbagi menjadi lima sistem utama yaitu pembangkit listrik, sistem transmisi, gardu induk (GI), sistem distribusi dan beban. sumber listrik pada sistem ketenagalistrikan secara umum berasal dari pembangkit tenaga listrik. Lokasi pembangkit listrik umumnya berada jauh dari sumber beban, sehingga untuk menyalurkan energi listrik yang telah dibangkitkan harus disalurkan melalui sistem transmisi. Energi listrik yang dibangkitkan tegangannya akan dinaikan menggunakan transformator penaik tegangan (*step-up transformer*) yang

ada pada gardu induk penaik tegangan untuk kemudian disalurkan melalui sistem transmisi menuju gardu induk untuk kemudian dapat disalurkan ke sumber beban. Tegangan ini dinaikan dengan maksud untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir pada saluran transmisi. Setelah daya listrik yang disalurkan mendekati sumber beban atau gardu induk, maka selanjutnya tegangan transmisi diturunkan melalui transformator penurun tegangan (*stepdown transformer*) pada gardu induk penurun tegangan. Tegangan diturunkan menjadi tegangan menengah 20 kV untuk dapat disalurkan ke gardu distribusi. Kemudian dari gardu distribusi tegangan kembali diturunkan menjadi tegangan rendah 220 V/380 V sehingga selanjutnya dapat disalurkan melalui saluran distribusi menuju pusat-pusat beban.[10]

Jaringan transmisi didasarkan pada rangkaian listrik yang mempunyai besaran-besaran yang didistribusikan. Besaran-besaran tersebut adalah resistansi, induktansi dan kapasitansi.

- a. Resistansi (Tahanan) Sebuah Transmisi Setiap penghantar listrik bersifat melawan arus yang mengalir pada penghantar tersebut. Ini disebut *resistance* (tahanan). Besar kecilnya nilai tahanan penghantar tergantung dari panjang (l) dan luas penampang (A), seperti ditunjukkan oleh persamaan:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

Di mana :

R = Resistansi (Ohm)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

Resistansi berdasarkan panjang dan luas penampang penghantar

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (2.2)$$

Di mana :

R = Resistans (Ω)

ρ = Resistivitas bahan ($\Omega \cdot m$)

l = Panjang penghantar (m)

A = Luas Penampang penghantar (m^2)

- b. Induktansi Sebuah Jaringan Transmisi

Suatu penghantar yang dilalui oleh arus listrik dikelilingi oleh garis gaya magnetik konsentris. Dalam hal ini pada sistem AC, medan magnet yang timbul

disekeliling penghantar tidak konstan, tetapi berubah-ubah dan melingkupi penghantar yang sama seperti dengan penghantar yang lain. Oleh karena sebuah jaringan transmisi udara tiga fasa terdiri dari tiga buah penghantar yang sejajar dengan jarak d meter antara satu dengan yang lain (d lebih besar dibanding dengan jari-jari penghantar r). Tiap-tiap konduktor, jika dilalui arus listrik, dengan sendirinya akan timbul medan magnet yang mana garis-garis gaya seolah-olah berbentuk lingkaran konsisten yang berpusat pada pusat penghantar dan merambat tegak lurus pada sepanjang konduktor, beberapa garis gaya seolah-olah di dalam konduktor dan yang lain di luar.

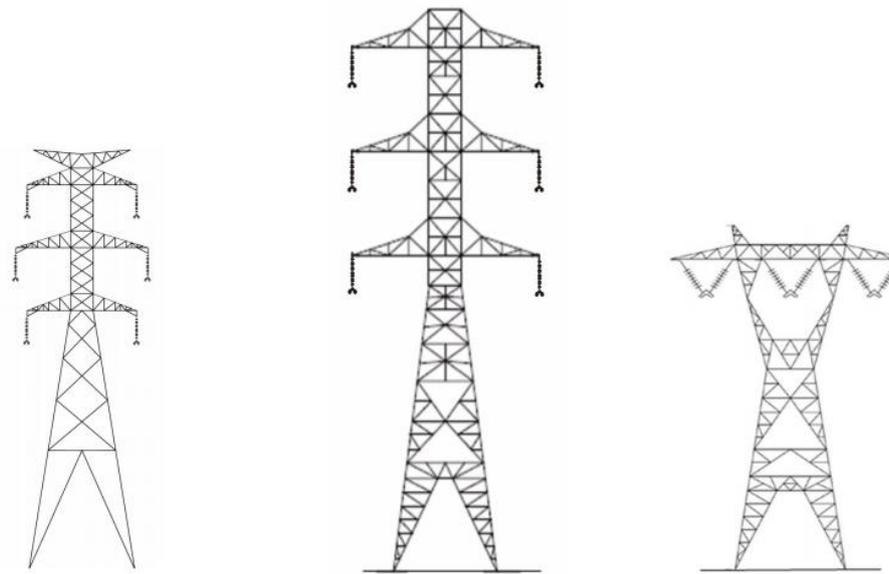
c. Kapasitansi Sebuah Jaringan Transmisi

Dua buah konduktor yang dipisahkan oleh suatu medium adalah sebuah kapasitor. Dalam hal ini jaringan transmisi udaralah merupakan dua buah plate kapasitor yang dipisahkan oleh udara dengan yang lain. Kapasitansi ini didistribusikan sepanjang jaringan dan dipandang sebagai bentuk kondensator yang diserikan yang tersambung antar konduktor. Bilamana suatu perbedaan tegangan dihubungkan pada jaringan, dengan demikian pada jaringan transmisi akan ada arus leading yang mengalir walaupun jaringan transmisi belum dibebani, arus ini sering disebut *Charging Current (IC)*. Besarnya charging current tergantung pada besarnya tegangan transmisi, kapasitansi jaringan dan frekuensi a.c supply. Jika kapasitansi jaringan transmisi udara tinggi, arus pengisian (*Current Charging*) yang mengalir pada jaringan itu besar, yang mana arus pengisian kini akan mengkompensasi komponen reaktif dari arus beban karena itu jumlah arus yang mengalir pada jaringan dapat diperkecil. Pengecilan jumlah arus yang mengalir pada jaringan dapat menyebabkan Memperkecil kerugian-kerugian pada jaringan dan demikian pula dapat menambah efisiensi transmisi. Memperkecil rugi tegangan atau memperbaiki regulasi tegangan.

2.2.1 Komponen Saluran Transmisi

Komponen-komponen utama saluran transmisi terdiri dari

1. Menara transmisi atau tiang transmisi beserta fondasinya



Gambar 2. 1 Menara Transmisi

Menara transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi yang dapat berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang, atau tiang kayu. Tiang-tiang baja, beton, dan kayu umumnya digunakan pada saluran-saluran dengan tegangan kerja relatif rendah (di bawah 70 kV) sedang untuk saluran transmisi tegangan tinggi dan ekstra tinggi digunakan menara baja. Menara baja diklasifikasikan berdasarkan fungsinya yaitu menara dukung, menara sudut, menara percabangan, dan menara transposisi.

2. Isolator

Isolator digunakan untuk mencegah hubung singkat antara kawat penghantar dengan menara. Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Akhir-akhir ini telah banyak dikembangkan jenis-jenis isolator yang baru diantaranya polimer, epoksi resin, dan lain-lain. Berdasarkan penggunaan dan konstruksinya, dikenal tiga jenis isolator yaitu isolator jenis pasak, isolator jenis pos saluran, dan isolator gantung. Isolator jenis pasak dan pos saluran digunakan untuk saluran transmisi dengan tegangan kerja relatif rendah (kurang dari 33kV), sedang isolator gantung dapat digandeng menjadi rentengan isolator yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan.



Gambar 2. 2 Isolator

3. Kawat penghantar (*Conductors*)

Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5 % (Cu 97,5%), dan aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%). Kawat penghantar aluminium terdiri dari berbagai jenis dengan lebang sebagai berikut:

AAC = All Aluminium Conductor, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.

AAAC = All Aluminium Alloy Conductor, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.

ACSR = Aluminium Conductor Steel Reinforced, yaitu kawat penghantar Aluminium berinti kawat baja.

ACAR = Aluminium Conductor Alloy Reinforced, yaitu kawat penghantar Aluminium yang diperkuat dengan logam

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Akan tetapi kelemahannya ialah untuk besar hambatan yang sama, tembaga lebih berat dari aluminium dan juga lebih mahal. Oleh karena itu kawat penghantar aluminium telah menggantikan kawat tembaga. Untuk memperbesar kuat tarik kawat aluminium digunakan campuran aluminium (*aluminium alloy*). Untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antar menara

sangat jauh, maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi. Untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.

4. Kawat tanah (*Ground Wires*)

Kawat tanah atau ground wires disebut juga kawat pelindung (*shield wires*). Kawat tanah berfungsi untuk melindungi kawat-kawat penghantar atau kawat fase terhadap sambaran petir. Dengan demikian kawat tanah dipasang di atas kawat fase. Bahan untuk kawat tanah umumnya dipakai baja (*steel wires*) yang lebih murah, tetapi sering juga digunakan kawat ACSR. [11]

2.3 Sistem Proteksi Pada Saluran Transmisi

Sistem proteksi adalah suatu sistem pengamanan terhadap peralatan listrik, yang diakibatkan adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab yang lainnya. Sistem proteksi merupakan pengamanan listrik pada sistem tenaga listrik yang terpasang pada sistem saluran transmisi tenaga listrik yang dipergunakan untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan listrik atau beban lebih, dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu. Sehingga sistem kelistrikan yang tidak terganggu dapat terus bekerja. Jadi pada hakekatnya pengamanan pada sistem tenaga listrik yaitu mengamankan seluruh sistem tenaga listrik supaya kehandalan tetap terjaga. Sistem proteksi merupakan suatu cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan. Sistem proteksi penyulang tegangan adalah pengamanan yang terdapat pada sel-sel tegangan di Gardu Induk dan pengamanan yang terdapat pada jaringan tegangan [12].

Sistem proteksi juga pengamanan listrik pada sistem tenaga listrik yang terpasang pada sistem transmisi yang dipergunakan untuk mengamankan sistem dari gangguan atau beban lebih, dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu, sehingga sistem kelistrikan yang tidak terganggu dapat terus bekerja. Jadi pada hakekatnya pengamanan pada sistem tenaga listrik yaitu mengamankan seluruh sistem supaya kehandalan tetap terjaga [13].

Arus yang besar bila tidak segera dihilangkan akan merusak peralatan yang dilalui arus gangguan tersebut. Sistem proteksi berfungsi untuk melepaskan atau menghentikan saat terjadi gangguan, sistem proteksi pada dasarnya adalah alat

pengaman yang bertujuan untuk melepaskan atau membuka sistem yang sedang terganggu, sehingga arus gangguan ini akan padam. Tujuan utama dari sistem proteksi adalah mendeteksi kondisi abnormal (gangguan) dan mengisolir peralatan yang terganggu dari sistem [14].

Tujuan dari sistem proteksi dan rele-rele pengaman adalah agar pemutus-pemutus daya dapat dioperasikan dengan tepat dan hanya peralatan yang terganggu yang dipisahkan secepatnya dari sistem, sehingga kesulitan dan kerusakan yang disebabkan gangguan dapat diminimalisir sekecil mungkin. Sistem proteksi memiliki fungsi, yaitu :

1. Mengurangi resiko yang ditimbulkan ke level yang aman dengan menghilangkan gangguan atau abnormal sistem sesegera mungkin dan meminimalkan pemutusan operasi pada sistem tenaga.
2. Mendeteksi gangguan/keadaan tidak wajar pada sistem.
3. Memutus bagian sistem yang terganggu sehingga bagian yang tidak terganggu dapat terus beroperasi [1]

Ada beberapa jenis peralatan sistem proteksi yaitu:

1. Pengaman lebur (*Fuse*) Pengaman lebur atau fuse merupakan pengaman bagian dari saluran dan peralatan dari gangguan hubungan singkat antar fasa (dapat pula sebagai pengaman hubungan tanah bagi sistem yang ditanahkan langsung dan bagian peralatan pada sistem dengan tahanan rendah).
2. *Over Current Relay* (OCR) merupakan pengaman utama sistem terhadap gangguan hubung singkat antar fasa (dan hubungan tanah bagi sistem yang ditanahkan langsung).
3. *Ground Fault Relay* (GFR) merupakan pengaman utama terhadap gangguan hubung tanah bagi sistem yang ditanahkan langsung dan ditanahkan dengan tahanan rendah maupun tahanan tinggi.
4. *Recloser* merupakan pengaman pelengkap untuk membebaskan gangguan yang bersifat temporer.
5. Pemisah manual Pemisah manual merupakan alat pemutus untuk alat pemutus untuk mengurangi daerah yang padam karena gangguan dan mengurangi lamanya pemadaman.

6. *Automatic Sectionalizer (AS)* AS merupakan alat pemutus otomatis untuk mengurangi atau membatasi daerah yang padam karena gangguan.

Sistem proteksi merupakan komponen dalam memastikan keandalan dan keamanan operasi sistem tenaga listrik. Fungsi utamanya adalah mendeteksi, mengisolasi, dan mengurangi dampak gangguan yang terjadi pada jaringan listrik. Dengan bertambahnya kompleksitas sistem tenaga, peran sistem proteksi menjadi semakin penting untuk menjaga stabilitas jaringan, meminimalkan kerugian, dan melindungi peralatan serta keselamatan manusia.

Ada beberapa cara kerja sistem proteksi sebagai berikut :

1. *Fault Detection* (Deteksi Gangguan)

Sistem proteksi akan mendeteksi gangguan dan keadaan tidak normal pada sistem yang ada pada ruang lingkungannya

2. *Fault Clearing* (Melepas Gangguan)

Jika gangguan yang terjadi diatas dengan pengaturan (setting) yang telah ditetapkan pada relai, maka sistem proteksi akan memutuskan rangkaian agar gawai yang ada dalam ruang lingkup proteksinya dapat terputus dan tidak mengganggu perangkat lainnya.

3. *Alert or Notification* (Pemberitahuan)

Memberitahu operator telah adanya gangguan pada lokasi atau sistem agar dapat diatasi dengan cepat.

2.3.1 Komponen Sistem Proteksi

Setiap komponen dirancang untuk mendeteksi, merespons, dan mengatasi gangguan atau kondisi abnormal yang dapat membahayakan peralatan maupun kontinuitas pelayanan listrik. Dengan bekerja secara terpadu, komponen-komponen ini memastikan bahwa gangguan dapat diisolasi dengan cepat, sehingga kerusakan lebih luas dapat dicegah dan sistem dapat kembali beroperasi secara normal.

1. Rele proteksi (*Protection Relay*)

Rele Proteksi disini berfungsi sebagai komponen utama yang dapat kita program atau kita atur sesuai kebutuhan dari gawai yang akan kita proteksi. Rele proteksi ini pula sebagai perasa yang mendeteksi adanya gangguan dan keadaan tidak normal lainnya (*Fault Detection*). Rele proteksi suatu alat yang mengawasi

keadaan sebuah rangkaian dan memberikan perintah untuk membuka rangkaian saat kondisi tidak normal . Rele proteksi harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat sehingga tidak akan mengakibatkan kerusakan, ataupun kalau suatu peralatan terjadi kerusakan secara dini telah diketahui, dari uraian tersebut maka rele proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk :

- a) Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b) Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c) Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d) Memperkecil bahaya bagi manusia. [15]

2. PMT (Pemutus Tenaga Listrik)

Pemutus tenaga listrik ini berfungsi sebagai pemutus sistem jika rele proteksi mendeteksi adanya gangguan pada ruang lingkup sistem proteksinya. PMT ini dikendalikan langsung oleh rele proteksi dan akan langsung memutus sistem jika ada gangguan. Dalam keadaan normal, rangkaian berada dalam kondisi tertutup sehingga membentuk *loop* yang memungkinkan aliran arus listrik berjalan dengan lancar, namun jika dalam keadaan tidak normal, rangkaian akan terbuka untuk memutus *loop* tersebut guna mencegah terjadinya kerusakan atau gangguan lebih lanjut.

3. Trafo arus (*Current Transformator*)

Fungsi dari trafo arus ini merupakan untuk mereduksi arus gangguan yang dirasakan oleh rele proteksi, sehingga memudahkan dalam melakukan pengaturan untuk sistem pengaman serta menjaga keandalan dari rele proteksi.

4. Trafo Tegangan (*Potential Transformator*)

Trafo tegangan adalah trafo satu fasa *step-down* yang mentransformasi tegangan tinggi atau tegangan menengah ke suatu tegangan rendah yang layak untuk perlengkapan indikator, alat ukur, rele, dan alat sinkronisasi. Hal ini dilakukan atas pertimbangan harga dan bahaya yang dapat ditimbulkan tegangan tinggi.

Tegangan perlengkapan seperti indikator, meter, dan relay dirancang sama dengan tegangan terminal sekunder trafo tegangan.

2.4 Rele Jarak

Relai jarak (*distance relay*) merupakan proteksi yang paling utama pada saluran transmisi. Relai jarak menggunakan pengukuran tegangan dan arus untuk mendapatkan impedansi saluran yang harus diamankan. Jika impedansi yang terukur di dalam batas settingnya, maka rele akan bekerja. Disebut relai jarak, karena impedansi pada saluran besarnya akan sebanding dengan panjang saluran. Oleh karena itu rele jarak tidak tergantung oleh besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi tergantung pada jarak gangguan yang terjadi terhadap prele proteksi. Impedansi yang diukur dapat berupa Z , R saja ataupun X saja, tergantung jenis rele yang dipakai. Prinsip kerja relai jarak berdasarkan pada impedansi saluran transmisi, yang besarnya sebanding dengan panjang dari saluran transmisi tersebut. [16]

Rele jarak difungsikan sebagai pengaman utama pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV sistem kelistrikan. Prinsip dasar rele jarak adalah membaca impedansi berdasarkan besaran arus dan tegangan yang dirasakan untuk menentukan apakah rele harus bekerja atau tidak. Agar dapat bekerja secara baik maka diperlukan koordinasi antar rele pada setiap section. Koordinasi rele jarak didasarkan pada parameter transmisi dengan memperhatikan parameter gangguan. [16]

Rele jarak merespon terhadap banyak input sebagai fungsi dari rangkaian listrik yang panjang (jauh) antara lokasi rele dengan titik gangguan. Karena impedansi (Z) saluran transmisi sebanding dengan panjangnya saluran. Untuk pengukuran ini digunakan *Distance Relay* (DR) yang mampu mengukur impedansi saluran yang ditentukan terhadap titik yang dipilih. Oleh karena itu DR membedakan gangguan yang mungkin terjadi antara bagian saluran dengan membandingkan tegangan dan arus dengan power system untuk menentukan apa gangguan ada didalam atau diluar daerah operasinya. [17]

2.4.1 Prinsip Kerja Rele Jarak

Prinsip kerja rele jarak berdasarkan pada impedansi saluran transmisi, yang besarnya sebanding dengan panjang dari saluran transmisi tersebut. Prinsip pengukuran jaraknya dengan membandingkan arus gangguan yang dirasakan oleh rele terhadap tegangan di titik atau lokasi dimana rele terpasang. Dengan membandingkan kedua besaran itu, impedansi saluran transmisi dari lokasi rele sampai titik atau lokasi gangguan dapat diukur. Perhitungan impedansi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :[18]

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \quad (2.3)$$

Dimana :

Z_f = Impedansi gangguan (Ohm)

I_f = Arus gangguan (A)

V_f = Tegangan (V)

Pada proteksi saluran udara tegangan tinggi, rele jarak digunakan sebagai pengaman utama sekaligus sebagai pengaman cadangan untuk saluran transmisi yang berdekatan. Hal ini didasarkan bahwa impedansi saluran transmisi berbanding lurus dengan jaraknya sehingga memungkinkan dilakukan pengukuran impedansi berdasarkan panjang salurannya [19]. Rele jarak memiliki tiga zona proteksi dengan karakteristik tertentu:

Zona 1 = Proteksi utama terhadap gangguan di dekat rele

Zona 2 = Proteksi Cadangan untuk zona 1 dan area yang lebih jauh di sepanjang Saluran

Zona 3 = Proteksi Cadangan akhir untuk gangguan yang berada di saluran berikutnya.

Pengaturan zona proteksi ini harus disesuaikan dengan panjang saluran, jenis gangguan, dan konfigurasi sistem.

2.4.2 Syarat – Syarat Rele Jarak

Syarat-syarat rele pengaman tidak hanya mencakup kecepatan dan ketepatan operasi, tetapi juga meliputi sensitivitas, selektivitas, dan kemampuan untuk bekerja secara stabil di bawah kondisi operasi normal maupun saat terjadi gangguan. Makalah ini bertujuan untuk mengulas syarat-syarat utama yang harus

dipenuhi oleh rele pengaman agar dapat mendukung performa sistem tenaga listrik yang andal dan aman. Sistem proteksi harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1) Kepekaan (*Sensitifitas*)

Sistem proteksi harus mampu mendeteksi sekecil apapun ketidak normalan sistem dan beroperasi dibawah nilai minimum gangguan.

Pada prinsipnya relai harus cukup peka terhadap gangguan di Kawasan pengamanannya, termasuk kawasan pengamanan cadangan-jauhnya, meskipun dalam kondisi yang memberikan deviasi yang minimum.

2) Selektifitas (*Selectivity*)

Sistem proteksi harus mampu menentukan daerah kerjanya dan atau fasa yang terganggu secara tepat. Zona proteksi harus tepat dan memadai untuk memastikan bahwa hanya bagian yang terganggu yang dipisahkan dari sistem pada saat terjadi gangguan atau kondisi abnormal. Pengamanan sedemikian disebut pengamanan yang selektif. Jadi relai harus dapat membedakan apakah :

- a. Gangguan terletak di kawasan pengamanan utamanya dimana ia harus bekerja cepat
- b. Gangguan terletak di bagian berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda (sebagai pengaman cadangan) atau menahan diri untuk trip.
- c. Gangguannya diluar daerah pengamanannya, atau sama sekali tidak ada gangguan, dimana ia harus tidak bekerja sama sekali.

Untuk relai-relai, yang didalam system terletak secara seri, dikoordinir dengan mengatur peningkatan waktu (*time grading*) atau peningkatan setting arus (*current grading*), atau gabungan dari keduanya.

Untuk itulah relai di buat dengan bermacam-macam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan karakteristik relai yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan setting relai yang terkoordinir dengan baik, selektifitas yang baik dapat diperoleh.

3) Kecepatan

Sistem proteksi harus bekerja secara cepat untuk menghindari kerusakan secara thermis pada peralatan yang dilalui arus gangguan serta membatasi kerusakan pada alat yang terganggu, dan untuk memperkecil kerusakan kerugian akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari

bagian sistem lainnya. Waktu total pe mbebasan sistem dari gangguan adalah waktu sejak munculnya gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya.

- a) Mempertahankan kestabilan sistem
- b) Membatasi busur api pada gangguan disaluran udara yang akan berarti memperbesar kemungkinan berhasilnya penutupan balik PMT dan mempersingkat *dead time* (interval waktu buka dan tutup)

4) Keandalan

Kemungkinan suatu sistem proteksi dapat bekerja benar sesuai fungsi yang diinginkan dalam kondisi dan jangka waktu tertentu. Proteksi diharapkan bekerja pada saat kondisi yang diharapkan terpenuhi dan tidak boleh bekerja pada kondisi yang tidak diharapkan. Keandalan sistem proteksi terbagi menjadi tiga yaitu :

- a) Keterpercayaan (*Dependability*) yaitu keandalan kemampuan dalam bekerja. Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja.
- b) Keterjaminan (*Security*) yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja. Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus kerja, misalnya karena lokasi gangguan di luar lokasi pengamannya atau sama sekali tidak ada gangguan atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat. Salah kerja mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi. Jadi pada prinsipnya pengaman tidak boleh salah kerja, dengan kata lain security-nya harus tinggi.
- c) *Availability* yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya.[15].

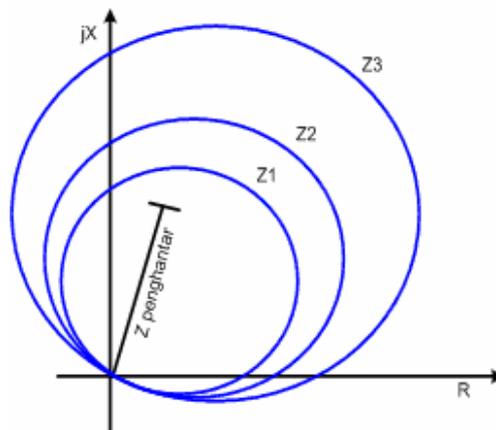
2.4.3 Karakteristik Rele Jarak

Rele jarak memiliki berbagai karakteristik operasional yang dirancang untuk mendeteksi gangguan dengan akurasi tinggi, di antaranya adalah karakteristik mho dan quadrilateral. Karakteristik mho berbentuk lingkaran pada diagram impedansi, yang membuatnya ideal untuk proteksi saluran transmisi panjang karena sensitivitasnya terhadap perubahan sudut daya. Sementara itu, karakteristik

quadrilateral memiliki bentuk area proteksi segi empat, sehingga lebih fleksibel dalam menangani berbagai jenis gangguan, terutama pada kondisi sistem dengan impedansi saluran yang kompleks. Pemahaman mengenai kedua karakteristik ini memungkinkan desain sistem proteksi yang lebih efektif dan andal sesuai kebutuhan jaringan.

1. Mho

- a. Mho adalah salah satu jenis karakteristik pada rele jarak (*distance relay*) yang digunakan dalam sistem proteksi tenaga listrik. Karakteristik mho berbentuk lingkaran dengan pusat di sekitar titik asal pada diagram impedansi. Ciri-ciri dari mho sebagai berikut :
 - b. Titik pusatnya bergeser sehingga mempunyai sifat *directional*.
 - c. 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 zonaproteksinya.
 - d. Bisa digunakan untuk karakteristik gangguan fasa-fasa



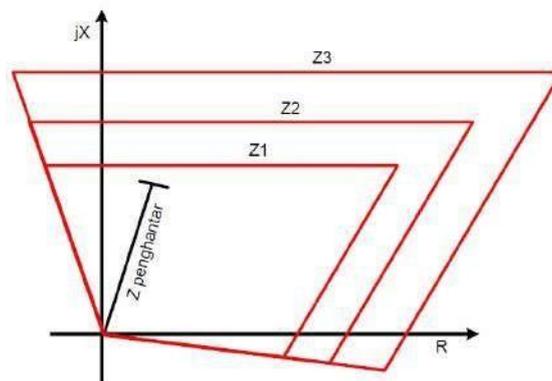
Gambar 2. 3 Phase Fault Mho Characteristics

2. Quadraliteral

Quadrilateral adalah salah satu jenis karakteristik pada rele jarak (*distance relay*), yang digunakan untuk melindungi saluran transmisi dalam sistem tenaga listrik. Sesuai dengan namanya, karakteristik impedansi rele ini berbentuk segi empat pada diagram R-X (Resistansi vs Reaktansi). Rele dengan karakteristik ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi gangguan dengan lebih fleksibel dibandingkan karakteristik lain, seperti mho atau *reactance relay*. Ciri-ciri dari quadrilateral adalah sebagai berikut :

- Karakteristik quadrilateral merupakan kombinasi dari 3 macam komponen yaitu reactance, berarah dan resistif.
- Dengan setting jangkauan resistif cukup besar maka karakteristik relai quadrilateral dapat mengantisipasi gangguan tanah dengan tahanan tinggi (*high resistance*). Dengan Batasan jangkauan resistif kurang dari 50 % impedansi beban.
- Umumnya pada relai elektromekanik dan statis kecepatan relai dengan karakteristik quadrilateral lebih lambat dari jenis mho. Pada relai numerik yang telah menggunakan digital sinyal *microprocessor* (DSP) kecepatan antara karakteristik mho dan quadrilateral relative sama.
- Bisa digunakan untuk karakteristik gangguan fasa-fasa dan fasa-tanah.

[20]



Gambar 2. 4 Phase Fault Quadrilateral Characteristics

2.4.4 Pengaruh Lokasi Gangguan Terhadap Kinerja Rele Jarak

Pengaruh lokasi gangguan terhadap kinerja rele jarak adalah bagaimana jarak antara titik gangguan dan Lokasi rele memengaruhi kemampuan rele jarak dalam mendeteksi, mengukur, dan merespon gangguan pada saluran transmisi. Lokasi

gangguan berdampak signifikan terhadap parameter-parameter operasional rele, seperti waktu operasi, akurasi pengukuran impedansi, selektivitas zona, dan sensitivitas terhadap jenis gangguan.

1. Pengaruh terhadap impedansi yang diukur

Pengukuran impedansi dalam sistem proteksi rele jarak memiliki peran krusial dalam mendeteksi dan menentukan lokasi gangguan pada saluran transmisi listrik. Rele jarak bekerja dengan mengukur impedansi antara posisi pemasangannya dan lokasi gangguan, di mana nilai impedansi ini berbanding lurus dengan jarak ke gangguan. Jika impedansi yang diukur lebih kecil dari batas yang telah disetel, rele akan aktif untuk memutus aliran listrik dan mengisolasi bagian saluran yang mengalami gangguan. Keakuratan pengukuran impedansi dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti konfigurasi jaringan, panjang saluran, dan jenis gangguan yang terjadi. Perubahan konfigurasi jaringan dapat memengaruhi nilai impedansi yang diukur, sehingga diperlukan penyesuaian pada pengaturan rele jarak agar tetap optimal. Panjang saluran yang berbeda juga menghasilkan nilai impedansi yang bervariasi, yang harus diperhitungkan dalam proses pengaturan tersebut. Selain itu, jenis gangguan, seperti gangguan antar fasa atau fasa ke tanah, turut memengaruhi hasil pengukuran impedansi, sehingga rele jarak harus dirancang untuk mengenali perbedaan ini dan merespons dengan tepat.

$$Z_m = Z_l \cdot \frac{d}{D} \quad (2.4)$$

Dimana :

Z_m : impedansi yang diukur oleh rele jarak (Ω)

Z_l : impedansi saluran (Ω)

d : jarak gangguan dari rele (km)

D : panjang total saluran (km)

Semakin dekat gangguan ke relay, nilai Z_m akan semakin kecil, dan relay akan lebih cepat bekerja. Dan semakin jauh gangguan, Z_m akan semakin besar, dan waktu trip akan lebih lama.

2. Pengaruh terhadap operasi rele

Waktu operasi rele proteksi dalam sistem tenaga listrik dipengaruhi oleh beberapa parameter penting, seperti *Time Multiplier Setting* (TMS) dan

karakteristik kurva rele. TMS menentukan sensitivitas waktu operasi rele terhadap arus gangguan semakin kecil nilai TMS, semakin cepat rele merespons terhadap gangguan. Selain itu, karakteristik kurva rele, seperti *inverse*, *very inverse*, atau *extremely inverse*, menentukan bagaimana rele bereaksi terhadap berbagai tingkat arus gangguan. Pemilihan karakteristik kurva yang tepat memastikan bahwa rele beroperasi dengan respons waktu yang sesuai untuk berbagai kondisi gangguan [21]. Selain parameter internal rele, besarnya arus gangguan juga berpengaruh signifikan terhadap waktu operasi rele. Semakin besar arus gangguan yang terdeteksi, semakin cepat rele akan beroperasi untuk memutus aliran listrik guna melindungi peralatan dan menjaga stabilitas sistem. Hal ini disebabkan oleh desain rele yang dirancang untuk memberikan respons lebih cepat pada arus gangguan yang lebih tinggi, sehingga potensi kerusakan dapat diminimalkan. Analisis dan simulasi sistem proteksi dilakukan untuk menentukan pengaturan rele yang optimal. Penggunaan perangkat lunak simulasi memungkinkan evaluasi berbagai skenario gangguan dan respons rele, sehingga pengaturan yang tepat dapat ditentukan untuk memastikan waktu operasi rele yang sesuai dengan kebutuhan sistem. Pendekatan ini membantu dalam meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem proteksi secara keseluruhan [22].

3. Pengaruh terhadap akurasi pengukuran

Akurasi pengukuran impedansi pada rele jarak sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor yang dapat memengaruhi kinerja sistem proteksi. Salah satu faktor utama adalah panjang saluran transmisi yaitu semakin panjang saluran, semakin besar impedansi yang terukur. Perubahan panjang saluran dapat memengaruhi nilai impedansi yang diukur, sehingga diperlukan penyesuaian setting rele jarak untuk memastikan kinerja yang optimal [23].

$$Z_m = \frac{V}{I} \quad (2.5)$$

Tegangan yang rendah akan menyebabkan pengukuran impedansi yang kurang akurat, sehingga relay bisa gagal mendeteksi gangguan dengan benar. Dan arus gangguan besar dapat menurunkan tegangan di titik *relay*, mempengaruhi akurasi pengukuran impedansi.

4. Pengaruh terhadap arus dan tegangan gangguan

Perubahan ini memengaruhi nilai impedansi yang terukur oleh rele, yang pada gilirannya memengaruhi kemampuan rele dalam mendeteksi dan mengisolasi gangguan secara tepat. Selain itu, faktor-faktor seperti arus infeed dari pembangkit listrik yang terhubung ke saluran transmisi juga dapat memengaruhi nilai arus dan tegangan gangguan yang terukur oleh rele. Arus infeed dapat menyebabkan perubahan pada tegangan yang terukur oleh rele pada saat terjadi gangguan, sehingga memengaruhi nilai impedansi yang dihitung oleh rele [24].

$$V = I \cdot (Z_g + R_f) \quad (2.6)$$

$$Z_m = \frac{V}{I} = Z_g + \frac{R_f}{I} \quad (2.7)$$

dimana :

Z_m : impedansi yang diukur oleh rele (Ω)

V : tegangan gangguan pada titik rele (Volt)

I : arus gangguan (ampere)

Z_g : impedansi gangguan pada titik gangguan (Ω)

R_f : resistansi gangguan (Ω)

Arus besar akan menghasilkan pengukuran impedansi yang lebih kecil, dan relay akan bekerja lebih cepat. Arus kecil akan menghasilkan pengukuran impedansi yang lebih besar, yang bisa menyebabkan relay salah operasi atau gagal bekerja. Dan tegangan yang rendah di titik gangguan dapat menyebabkan relay salah mengukur impedansi atau bekerja dengan terlambat.

5. Pengaruh terhadap selektivitas proteksi

Selektivitas dalam sistem proteksi rele jarak merujuk pada kemampuan sistem untuk memastikan bahwa hanya bagian jaringan yang mengalami gangguan yang diputus, sementara bagian lainnya tetap beroperasi normal. Pencapaian selektivitas yang optimal sangat dipengaruhi oleh pengaturan parameter rele, seperti setting impedansi dan waktu operasi. Setting impedansi yang tepat memastikan bahwa rele hanya merespons gangguan yang terjadi dalam zona proteksinya, menghindari pemutusan aliran listrik pada bagian jaringan yang tidak terganggu. Selain itu, pengaturan waktu operasi (*time delay*) yang sesuai memungkinkan rele untuk membedakan antara gangguan nyata dan fluktuasi beban normal, sehingga mencegah pemutusan yang tidak perlu. Koordinasi yang

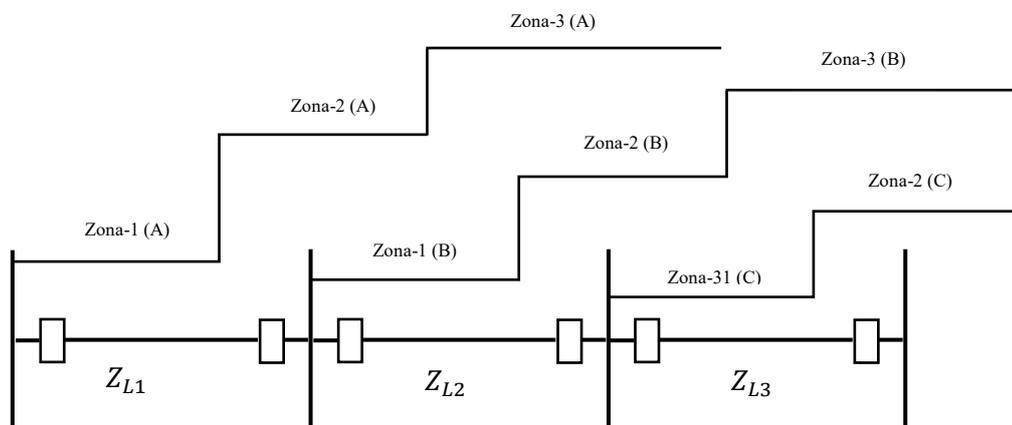
baik antara setting impedansi dan waktu operasi pada berbagai zona proteksi memastikan bahwa rele yang paling dekat dengan lokasi gangguan akan beroperasi terlebih dahulu, sementara rele lainnya akan beroperasi jika rele terdekat gagal berfungsi. Dengan demikian, pemahaman mendalam tentang pengaturan parameter rele dan pengaruhnya terhadap selektivitas sangat penting dalam desain dan pengaturan sistem proteksi rele jarak untuk memastikan keandalan dan stabilitas penyaluran daya listrik.

6. Pengaruh terhadap jenis gangguan

Jenis gangguan, seperti hubung singkat fasa-ke-fasa atau fasa-ke-tanah, memengaruhi nilai arus dan tegangan yang terukur oleh rele. Perubahan nilai gangguan ini akan memengaruhi nilai impedansi yang dihitung oleh rele, sehingga memengaruhi kinerjanya dalam mendeteksi dan mengisolasi gangguan secara tepat [25].

2.5 Zona Proteksi Pada Saluran Transmisi

Prinsip dasar proteksi jarak didasarkan atas karakteristik pengukuran jarak gangguan yang bisa disetel (di-setting) atas lebih dari satu zona proteksi. Yang pertama adalah Zone 1 dengan waktu trip sesaat, kemudian proteksi Zone 2, Zone 3, beturut-turut dengan waktu trip yang lebih lambat. Sebuah rele jarak dapat dibuat hingga mempunyai 3 zona waktu.



Gambar 2. 5 Zona Proteksi

a. Zona 1

Zone 1 adalah daerah proteksi rele jarak yang paling penting dan kritis dibanding dengan *zone-zone* proteksi lainnya. Mengingat pentingnya maka

akurasi pengukuran terhadap daerah proteksi zone 1 sepanjang saluran harus dilakukan dengan tingkat ketelitian dan kecepatan kerja yang tinggi. Sebagai proteksi utama, jangkauan zone-1 harus mencakup seluruh saluran yang diproteksi. Namun dengan mempertimbangkan adanya kesalahan-kesalahan dari maka zona-1 rele diset 80 % dari panjang saluran yang diamankan.

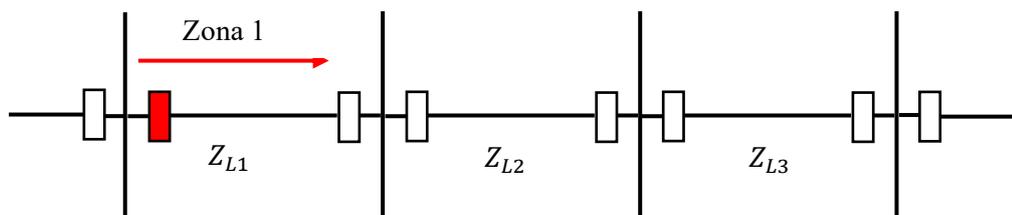
$$Z_1 = 0.8 \times Z_{L1} \quad (2.8)$$

Dimana :

Z_1 = impedansi zona 1 (Ω)

Z_{L1} = impedansi saluran 1 (Ω)

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



Gambar 2. 6 Jangkauan Impedansi Zona-1

b. Zona 2

Jangkauan 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 zona-1 sekitar 20 %, maka didapat penyetingan minimum dan maksimum untuk zona-2 sebagai berikut :

$$Z_2 \text{ min} = 1,2 \cdot Z_{L1} \quad (2.9)$$

$$Z_2 \text{ max} = 0,8 \times (Z_{L1} + (0,5 \cdot Z_{L2}) K) \quad (2.10)$$

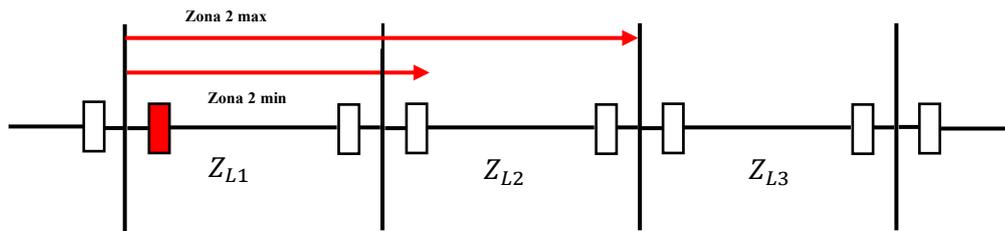
Dimana :

Z_{L1} = impedansi saluran yang diamankan (Ω)

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

K = faktor koreksi (K = 1 s.d 2)

Jika pada saluran seksi berikutnya terdapat beberapa cabang, untuk mendapatkan selektifitas yang baik maka seting $Z_2 \text{ max}$ diambil dengan nilai impedansi penghantar (Ohm) yang terkecil.



Gambar 2. 7 Jangkauan Impedansi Zona-2

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

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.

Jika pada gardu induk di depannya terdapat transformator daya, maka jangkauan zona 2 tidak melebihi impedansi transformator $Z_{TR} = 0.8 (Z_{L1} + k.X_t)$, dimana k = bagian transformator yang diproteksi nilai k direkomendasikan = 0.5. Hal ini dimaksudkan jika terjadi gangguan pada sisi LV Transformator, relai jarak tidak bekerja.

c. Zona 3

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

$$Z_3 = 1,2 (Z_{L1} + Z_{L2}) \quad (2.11)$$

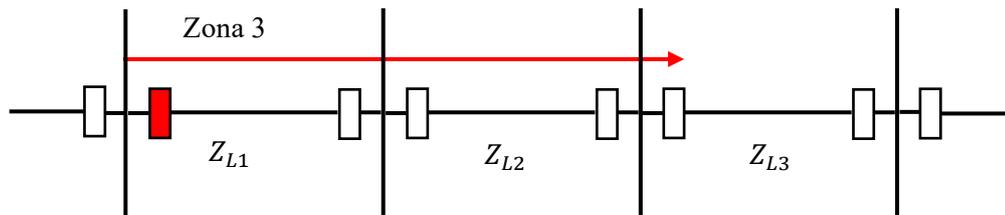
Dimana :

Z_3 : jangkauan zona 3

Z_{L1} : zona saluran 1

Z_{L2} : zona saluran 2

Zona 3 dipilih yang terbesar dari Z_{L1} , Z_{L2} dan Z_{L3} namun tidak melebihi nilai Z_{tr} . Pemilihan 1.6 detik agar melebihi waktu *pole discrepancy* 1.5 detik dan DEF *backup*. Zona 3 memiliki setting waktu 1.6 detik dan jika saluran yang diamankan adalah penghantar radial, maka setting zona 3 diharapkan tidak melebihi 80% impedansi transformator didepannya. [20]



Gambar 2. 8 Jangkauan Impedansi Zona-3

2.5.1 Parameter Zona Proteksi Rele Jarak

Penentuan parameter zona ini memerlukan data seperti Impedansi zona proteksi, pengaturan waktu, toleransi impedansi, karakteristik kurva rele, parameter pengukuran impedansi, pengaturan polaritas dan arah gangguan, kompensasi kapasitansi dan induktansi saluran. Dengan pengaturan yang tepat, rele jarak efektif mengisolasi gangguan pada saluran transmisi, menjaga keandalan sistem tenaga [25].

1. Impedansi zona proteksi

Penentuan parameter impedansi untuk setiap zona proteksi memerlukan data spesifik seperti panjang saluran, jenis konduktor, dan impedansi saluran. Dengan data ini, impedansi untuk setiap zona dapat dihitung menggunakan rumus yang sesuai, memastikan bahwa rele jarak berfungsi efektif dalam mendeteksi dan mengisolasi gangguan pada saluran transmisi [13]. Zona proteksi pada rele jarak umumnya dibagi menjadi tiga yaitu Zona 1, Zona 2, dan Zona 3. Zona 1 biasanya diatur untuk melindungi sekitar 80% dari panjang saluran transmisi dan beroperasi tanpa penundaan waktu, memberikan respons cepat terhadap gangguan yang terjadi dalam jangkauannya [25].

$$Z = \frac{V_s}{I_f} \quad (2.12)$$

Dimana :

Z : impedansi (Ω)

V_s : tegangan sumber (V)

I_f : arus gangguan (A)

2. Pengaturan waktu

Pengaturan waktu (*time delay*) pada rele jarak adalah aspek krusial dalam sistem proteksi saluran transmisi listrik, memastikan selektivitas dan koordinasi yang tepat antara berbagai zona proteksi. Setiap zona—Zona 1, Zona 2, dan Zona 3—memiliki penundaan waktu yang disesuaikan untuk memastikan bahwa gangguan diisolasi secara efisien tanpa mempengaruhi stabilitas sistem secara keseluruhan. Zona 1 biasanya diatur untuk beroperasi tanpa penundaan waktu ($t = 0$ detik), memberikan respons instan terhadap gangguan dalam jangkauannya. Zona 2 memiliki penundaan waktu sekitar 0,4 hingga 0,8 detik, berfungsi sebagai proteksi cadangan jika Zona 1 gagal beroperasi. Zona 3, dengan penundaan waktu sekitar 1,2 hingga 1,6 detik, mencakup area yang lebih luas dan berfungsi sebagai proteksi cadangan tambahan. Penentuan penundaan waktu ini memerlukan analisis mendalam terhadap konfigurasi sistem tenaga listrik, termasuk panjang saluran, impedansi, dan karakteristik beban. Pengaturan yang tepat memastikan bahwa rele jarak dapat mendeteksi dan mengisolasi gangguan secara efektif, menjaga keandalan dan stabilitas sistem tenaga listrik. Penentuan penundaan waktu ini memerlukan analisis mendalam terhadap konfigurasi sistem tenaga listrik, termasuk panjang saluran, impedansi, dan karakteristik beban. Pengaturan yang tepat memastikan bahwa rele jarak dapat mendeteksi dan mengisolasi gangguan secara efektif, menjaga keandalan dan stabilitas sistem tenaga listrik. [25]

$$t_{op} \leq t_{set}$$

Rele bekerja lebih cepat dari waktu setting yang dirancang, artinya gangguan berhasil diisolasi sesuai desain proteksi. Ini adalah kondisi ideal.

$$t_{op} = t_{set}$$

Rele bekerja tepat pada waktu yang diatur, ini juga sesuai dengan desain.

$$t_{op} > t_{set}$$

Ini adalah kondisi gagal operasi karena rele tidak dapat mendeteksi atau memutuskan gangguan dalam waktu yang ditentukan, sehingga dapat menyebabkan kerusakan lebih lanjut atau ketidakstabilan.

3. Toleransi impedansi

Toleransi impedansi dalam pengaturan rele jarak merupakan faktor penting yang memastikan akurasi dan keandalan dalam mendeteksi gangguan pada saluran

transmisi listrik. Toleransi ini mengacu pada batas deviasi yang diizinkan antara impedansi terukur dan nilai impedansi sebenarnya dari saluran. Pertimbangan toleransi ini penting untuk mengatasi variasi yang mungkin terjadi akibat perubahan kondisi operasi, seperti fluktuasi suhu, variasi beban, dan faktor lingkungan lainnya. toleransi impedansi ditentukan berdasarkan analisis mendalam terhadap karakteristik saluran dan perangkat proteksi yang digunakan. Penentuan toleransi yang tepat memastikan bahwa rele jarak tidak terlalu sensitif terhadap fluktuasi normal, namun tetap responsif terhadap kondisi gangguan yang memerlukan isolasi. Hal ini penting untuk mencegah operasi yang tidak diinginkan (*false trips*) yang dapat mengganggu kontinuitas layanan listrik. Selain itu, toleransi impedansi juga mempengaruhi koordinasi antara berbagai zona proteksi dalam sistem tenaga listrik. Dengan menetapkan toleransi yang sesuai, setiap zona proteksi dapat berfungsi secara harmonis, memastikan bahwa hanya bagian saluran yang mengalami gangguan yang diisolasi, sementara bagian lain tetap beroperasi normal. Koordinasi yang baik antara zona proteksi ini esensial untuk menjaga stabilitas dan keandalan sistem secara keseluruhan. [18]

4. Karakteristik kurva rele

Karakteristik kurva rele impedansi menggambarkan respons rele terhadap berbagai kondisi gangguan berdasarkan pengukuran impedansi dalam sistem tenaga listrik. Salah satu karakteristik yang umum digunakan adalah karakteristik Mho, yang berbentuk lingkaran pada diagram impedansi. Rele dengan karakteristik Mho akan beroperasi ketika impedansi yang terukur berada di dalam lingkaran tersebut, yang mencerminkan area proteksi yang ditentukan oleh pengaturan rele. Selain karakteristik Mho, terdapat juga karakteristik Quadrilateral yang membentuk area proteksi berbentuk segi empat pada diagram impedansi. Rele dengan karakteristik ini akan beroperasi jika impedansi yang terukur jatuh dalam area segi empat yang telah ditentukan. Keuntungan dari karakteristik Quadrilateral adalah kemampuannya untuk menyesuaikan batas resistansi dan reaktansi secara independen, sehingga lebih fleksibel dalam penentuan area proteksi, terutama pada saluran dengan karakteristik impedansi yang kompleks. Pemilihan karakteristik kurva rele impedansi yang tepat sangat

penting untuk memastikan bahwa rele dapat mendeteksi dan mengisolasi gangguan secara efektif tanpa menyebabkan pemutusan yang tidak perlu. Analisis mendalam terhadap konfigurasi sistem tenaga listrik dan jenis gangguan yang mungkin terjadi diperlukan untuk menentukan karakteristik kurva yang paling sesuai, sehingga keandalan dan stabilitas sistem dapat terjaga dengan baik.

5. Parameter pengukuran impedansi

Pengukuran impedansi dalam sistem proteksi rele jarak merupakan parameter kunci yang menentukan kepekaan dan keandalan dalam mendeteksi gangguan pada saluran transmisi listrik. Impedansi dihitung berdasarkan perbandingan antara tegangan dan arus yang terukur di lokasi rele, yang kemudian digunakan untuk menentukan jarak ke titik gangguan. Nilai impedansi ini berbanding lurus dengan panjang saluran, sehingga memungkinkan penentuan lokasi gangguan dengan akurasi tinggi. [3]

6. Pengaturan polaritas dan arah gangguan

Pengaturan polaritas dan arah gangguan dalam sistem proteksi rele sangat penting untuk memastikan bahwa rele dapat mendeteksi dan merespons gangguan dengan tepat. Polaritas yang benar memastikan bahwa arus dan tegangan yang diukur oleh rele sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan, sehingga rele dapat membedakan antara kondisi normal dan gangguan. Kesalahan dalam pengaturan polaritas dapat menyebabkan rele gagal beroperasi saat terjadi gangguan atau bahkan beroperasi secara tidak sengaja saat tidak ada gangguan. Selain itu, penentuan arah gangguan juga krusial dalam sistem proteksi, terutama pada jaringan yang kompleks dengan banyak sumber dan jalur distribusi. Rele arah (*directional relay*) digunakan untuk menentukan arah aliran arus gangguan, apakah menuju atau menjauhi titik pengukuran. Informasi ini membantu dalam mengisolasi bagian jaringan yang mengalami gangguan tanpa mempengaruhi bagian lain yang beroperasi normal. Pengaturan yang tepat dari rele arah memastikan selektivitas dan keandalan sistem proteksi.

7. Kompensasi kapasitansi dan induktansi

Kompensasi kapasitansi dan induktansi dalam sistem tenaga listrik bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas penyaluran daya melalui saluran

transmisi. Saluran transmisi memiliki parameter seperti resistansi, induktansi, kapasitansi, dan konduktansi yang mempengaruhi kinerja sistem. Kompensasi dilakukan dengan menambahkan komponen seperti reaktor shunt atau kapasitor seri untuk menyeimbangkan efek induktif dan kapasitif dalam jaringan.[26]

2.6 Pemodelan Sistem Proteksi Rele Jarak

Model dapat didefinisikan sebagai alat bantu atau media yang dapat digunakan untuk mencerminkan dan menyederhanakan suatu realita (dunia sebenarnya) secara terukur. Pemodelan sebenarnya digunakan untuk menyederhanakan keadaan real word sehingga permasalahan-permasalahan dalam real word lebih mudah dimengerti dan dikualifikasikan. Model adalah merupakan representasi dari realita (dengan cara sederhana, mudah murah, dan informatif). Didalam pembuatan sebuah model akan ada suatu proses penyederhanaan (skala,dsb),pendekatan dan asumsi-asumsi.[27]

Pemodelan adalah proses untuk membuat sebuah model dari sistem. Model adalah representasi dari sebuah bentuk nyata, sedangkan sistem adalah saling keterhubungan antar elemen yang membangun sebuah kesatuan, biasanya dibangun untuk mencapai tujuan tertentu. Tujuan suatu pemodelan adalah untuk menganalisa dan memberi prediksi yang dapat mendekati kenyataan sebelum sistem di terapkan di lapangan. Pemodelan, dalam konteks simulasi menggunakan Matlab Simulink, adalah proses menciptakan representasi matematis dari sistem fisik untuk memahami atau mengoptimalkan kinerjanya. Berikut adalah penjelasan spesifik tentang pemodelan. Pemodelan adalah aktivitas menyusun blok-blok atau persamaan yang mewakili komponen sistem fisik. Tujuannya adalah untuk:

- a. Menganalisis perilaku sistem di berbagai kondisi pemodelan memungkinkan simulasi untuk mengevaluasi bagaimana sistem merespons perubahan parameter atau kondisi lingkungan.
- b. Mengidentifikasi kelemahan dan potensi perbaikan dengan memodelkan sistem, kelemahan seperti kerugian energi, titik kegagalan, atau inefisiensi operasional dapat diidentifikasi.

- c. Memvalidasi kinerja sistem terhadap standar pemodelan menyediakan dasar untuk membandingkan performa sistem dengan standar industri atau regulasi teknis.

Dalam Matlab Simulink, pemodelan dilakukan dengan membangun diagram blok yang terdiri dari elemen-elemen seperti sumber, beban, pengontrol, dan pengukur. Simulink menggunakan berbagai blok untuk merepresentasikan elemen-elemen dalam sistem.

2.6.1 Memodelkan Rele Jarak Pada Saluran Transmisi

Pemodelan relai jarak pada saluran transmisi 150 kV menggunakan Matlab Simulink melibatkan pengaturan berbagai parameter, seperti panjang saluran, impedansi saluran, karakteristik proteksi relai, zona proteksi, dan pengukuran arus serta tegangan. Semua parameter ini dikombinasikan untuk menciptakan model yang akurat dalam simulasi, yang memungkinkan analisis yang mendalam mengenai kinerja sistem proteksi dalam menghadapi gangguan pada saluran transmisi. Dengan model yang tepat, relai jarak dapat diatur untuk memberikan proteksi yang optimal, cepat, dan selektif, melindungi saluran transmisi dari kerusakan dan memastikan stabilitas sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Untuk memodelkan rele jarak pada saluran transmisi 150 kV menggunakan Matlab Simulink, ada beberapa parameter dan komponen yang perlu dipertimbangkan dalam pembuatan model yaitu.

1. Impedansi

Impedansi merupakan ukuran resistansi dan reaktansi dalam suatu saluran transmisi, yang sebanding dengan panjang saluran tersebut. Rele jarak bekerja dengan mengukur nilai arus dan tegangan pada suatu titik tertentu untuk menentukan impedansi ($Z=V/I$). Jika impedansi yang terukur berada dalam batas pengaturan rele, maka rele akan beroperasi untuk memutus aliran listrik pada bagian saluran yang bermasalah. Oleh karena itu, penentuan impedansi yang akurat sangat penting dalam pemodelan rele jarak untuk memastikan proteksi yang efektif [23].

$$Z = \frac{V}{I} \quad (2.13)$$

Dimana :

Z : Impedansi (ohm)

V : Tegangan (volt)

I : Arus (ampere)

2. Panjang saluran

Panjang saluran transmisi secara langsung mempengaruhi nilai impedansi total yang dihitung pada saluran tersebut. Semakin panjang saluran, semakin besar nilai impedansi yang dihasilkan, baik untuk komponen resistif maupun reaktif. Dalam pemodelan rele jarak, panjang saluran digunakan untuk menentukan zona proteksi dan pembagian setting impedansi pada setiap zona. Saluran yang lebih panjang mungkin memerlukan pembagian zona yang lebih banyak untuk memastikan proteksi yang akurat terhadap gangguan pada berbagai titik. Selain itu, variasi panjang saluran juga dapat mempengaruhi waktu operasi rele, karena gangguan pada saluran yang lebih panjang memerlukan waktu lebih lama untuk dideteksi dan dianalisis oleh sistem.

$$L_{saluran} = \frac{Z_{terukur}}{Z_{karakteristik}} \quad (2.14)$$

Dimana :

$L_{saluran}$: panjang saluran (m atau km)

$Z_{terukur}$: impedansi yang terukur selama gangguan (Ω)

$Z_{karakteristik}$: impedansi karakteristik saluran per panjang unit (ohm/km)

3. Lokasi rele

Lokasi pemasangan rele pada saluran transmisi adalah faktor penting dalam memastikan efektivitas proteksi. Rele biasanya dipasang di gardu induk atau titik tertentu yang strategis di sepanjang saluran transmisi. Lokasi ini ditentukan berdasarkan kebutuhan untuk melindungi bagian saluran yang paling rentan terhadap gangguan atau untuk memaksimalkan selektivitas proteksi. Lokasi yang ideal memungkinkan rele untuk mendeteksi gangguan dengan cepat dan memberikan respons yang sesuai, tanpa menyebabkan gangguan pada area yang tidak terpengaruh. Selain itu, penempatan rele juga mempengaruhi koordinasi antar-rele dalam sistem yang lebih besar, di mana rele yang lebih dekat dengan gangguan harus lebih dulu beroperasi dibandingkan dengan rele di lokasi lain [28].

Hitung impedansi total saluran :

$$Z_{total} = Z_{karakteristik} \times L_{saluran} \quad (2.15)$$

$$L = \frac{Z_m}{Z_{total}} \times 100\% \quad (2.16)$$

Dimana :

$Z_{karakteristik}$: impedansi saluran per kilometer (Ω/km)

$L_{saluran}$: panjang total saluran (km)

Z_m : impedansi yang diukur oleh rele selama gangguan (Ω)

Z_{total} : impedansi total saluran transmisi dari rele ke ujung saluran (Ω)

L : lokasi gangguan dari posisi rele, dinyatakan dalam persentase panjang saluran (%)

2.7 Matlab Simulink

Matlab adalah salah satu aplikasi canggih untuk komputasi teknik. Matlab memiliki kemampuan penghitungan, visualisasi, dan pemrograman dalam suatu lingkungan yang mudah untuk digunakan karena permasalahan dan pemecahannya dinyatakan dalam notasi matematika biasa. Kegunaan Matlab secara umum adalah untuk matematika dan komputasi, pengembangan algoritma, permodelan, simulasi, dan pembuatan prototype, analisis data, eksplorasi dan visualisasi, pembuatan aplikasi, termasuk pembuatan antarmuka grafis.

Matlab adalah sistem interaktif dengan elemen dasar basis data array yang dimensinya tidak perlu dinyatakan secara khusus. Hal ini memungkinkan pengguna untuk memecahkan banyak masalah perhitungan teknik, khususnya yang melibatkan matriks dan vektor. Kemampuan lain pada Matlab diantaranya sanggup mengerjakan operasional matematika mulai dari perhitungan matematika sederhana seperti penambahan, pengurangan, perkalian dan pembagian hingga dapat melakukan perhitungan bilangan kompleks seperti akar dan pangkat, logaritma, operasi trigonometri seperti sinus, cosinus dan tangen. Seperti kalkulator yang dapat diprogram, Matlab dapat digunakan untuk menyimpan dan memanggil data. Pemakai dapat membuat, menjalankan dan menyimpan sederetan perintah untuk mengotomatisasi perhitungan suatu persamaan penting, melakukan perbandingan logika dan mengatur urutan pelaksanaan perintah.[27]

Matlab (*Matrix Laboratory*) adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik yang merupakan bahasa pemrograman matematika lanjutan

dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Matlab adalah suatu bahasa pemrograman sederhana dengan fasilitas yang jauh lebih hebat dan lebih mudah digunakan dari bahasa seperti V.Basic, Pascal, Java, atau C. Matlab adalah bahasa tingkat tinggi dan interaktif yang memungkinkan untuk melakukan komputasi secara intensif. Matlab telah berkembang menjadi sebuah environment pemrograman yang canggih yang berisi fungsi-fungsi built-in untuk melakukan pengolahan sinyal, aljabar linear dan kalkulasi matematis lainnya. Matlab juga berisi toolbox yang berisi fungsi-fungsi tambahan untuk aplikasi khusus. Penggunaan Matlab meliputi bidang-bidang:

- a. Matematika dan Komputasi Algoritma Data
- b. Pemodelan, Simulasi dan Pembuatan Prototype
- c. Analisis Data, Explorasi, dan Visualisasi Grafik

Seperti bahasa pemrograman lainnya, Matlab pun memiliki variabel, tetapi dalam penulisannya, variabel di dalam Matlab tidak perlu dideklarasikan, karena Matlab mampu mengenali tipe data dari variabel dari isi variabel tersebut. Aturan penulisan variabel pada Matlab sama dengan aturan pada bahasa pemrograman lainnya, yaitu bersifat case sensitive, diawali dengan huruf dan selanjutnya boleh menggunakan gabungan huruf angka atau tanda garis bawah. Matlab mampu mengenali sampai 31 karakter pertama, selanjutnya diabaikan.[29]

Di dalam Matlab Simulink menyediakan berbagai blok fungsional untuk merepresentasikan komponen sistem, seperti, penjumlahan, dan perangkat input/output virtual, memungkinkan pemodelan sistem fisik dan kontrol secara akurat. Matlab Simulink juga mendukung simulasi sistem yang listrik, dan mekanik yang memungkinkan analisis interaksi antar komponen.

2.7.1 Optimalisasi Parameter Zona Proteksi Rele Jarak

Mengoptimalkan rele jarak di Matlab Simulink melibatkan beberapa tahapan penting, mulai dari pemahaman prinsip kerja rele jarak, pembuatan model sistem tenaga, hingga penerapan metode optimasi untuk meningkatkan akurasi dan keandalannya. Rele jarak bekerja berdasarkan pengukuran impedansi antara lokasi rele dan titik gangguan pada saluran transmisi. Untuk mengoptimalkan kinerjanya, langkah pertama adalah menentukan parameter sistem tenaga seperti panjang dan

impedansi saluran transmisi, tegangan nominal, kapasitas daya, serta karakteristik beban. Data ini digunakan untuk mendefinisikan zona proteksi rele, yang biasanya terdiri dari Zona 1 (80-90% panjang saluran), Zona 2 (120-150% panjang saluran), dan Zona 3 (200% panjang saluran) dengan waktu operasi yang disesuaikan untuk setiap zona.

Untuk memastikan sistem proteksi rele jarak yang optimal di Matlab Simulink, beberapa komponen yang perlu digunakan dan disesuaikan adalah sebagai berikut:

1. Sumber tegangan

Sumber tegangan dalam simulasi rele jarak di Matlab Simulink berfungsi untuk merepresentasikan pembangkit listrik yang menyediakan tegangan ke saluran transmisi, sekaligus menjadi referensi utama dalam pengukuran tegangan dan arus untuk menghitung impedansi selama operasi rele. Sumber tegangan ini biasanya dimodelkan menggunakan blok seperti *Three-Phase Voltage Source* atau *Three-Phase Programmable Voltage Source*, yang mampu menghasilkan tegangan 3-fasa sinusoidal dengan parameter yang dapat disesuaikan, seperti amplitudo tegangan, frekuensi, dan sudut fasa.

2. Saluran transmisi

Saluran transmisi dalam simulasi rele jarak di Matlab Simulink berfungsi untuk media penghubung antara sumber tegangan dan beban atau sistem lain, sekaligus menjadi elemen utama yang akan dimonitor oleh rele jarak. Saluran transmisi dimodelkan menggunakan blok seperti *Three-Phase Transmission Line* atau *PI Section Line* yang tersedia di Simscape Electrical. Blok ini dirancang untuk merepresentasikan karakteristik fisik dan parameter listrik saluran transmisi, termasuk resistansi (R), induktansi (L), kapasitansi (C), serta panjang saluran.

3. Beban listrik

Beban dalam simulasi rele jarak di Matlab Simulink yaitu konsumsi daya oleh sistem atau perangkat yang terhubung ke saluran transmisi. Beban ini berperan penting dalam menentukan arus yang mengalir di saluran dan memengaruhi penghitungan impedansi oleh rele jarak, terutama selama operasi normal dan saat terjadi gangguan. Dalam Simulink, beban dapat dimodelkan menggunakan blok seperti *Three-Phase Dynamic Load*, *Three-Phase Series RLC Load*, atau

Three-Phase Parallel RLC Load, yang memungkinkan pengaturan parameter seperti daya aktif (P), daya reaktif (Q), tegangan nominal, dan faktor daya.

4. Gangguan

Gangguan dalam simulasi rele jarak di Matlab Simulink yaitu kondisi tidak normal yang terjadi pada saluran transmisi, seperti hubungan singkat antar fasa atau antara fasa dan tanah. Gangguan ini menjadi fokus utama dalam operasi rele jarak karena memengaruhi tegangan dan arus di saluran transmisi, yang kemudian digunakan untuk menghitung impedansi oleh rele. Dalam Simulink, gangguan dimodelkan menggunakan blok seperti *Three-Phase Fault*, yang memungkinkan pengguna untuk menentukan jenis gangguan (fasa-ke-fasa, fasa-ke-tanah, atau gangguan 3-fasa), lokasi gangguan, durasi gangguan, dan nilai resistansi gangguan.

5. Waktu Operasi

Waktu operasi untuk rele jarak di Matlab Simulink adalah parameter penting yang menentukan seberapa cepat rele merespons gangguan berdasarkan zona proteksinya. Rele jarak memiliki pengaturan waktu operasi yang berbeda untuk setiap zona proteksi, yakni Zona 1, Zona 2, dan Zona 3, untuk memastikan perlindungan yang selektif dan terkoordinasi.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

Data penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) UIP3B Sumatera, jalan. MT Haryono, Jati Karya, Kec. Binjai Utara, Kota Binjai, Sumatera Utara. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari bulan Pebruari hingga maret tahun 2025.

3.2 Data Penelitian

Data penelitian merujuk pada informasi atau fakta yang dikumpulkan untuk menguji hipotesis, atau mencapai tujuan. Data penelitian berupa hasil simulasi, pengukuran sistem, yaitu respons terhadap kondisi tertentu yang diuji dalam model.

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi spesifikasi transmisi dan parameter rele jarak, yaitu :

1. Spesifikasi saluran transmisi

Spesifikasi saluran transmisi 150 kV mencakup parameter Impedansi, dan lingkungan. Informasi ini digunakan dalam berbagai analisis akademik seperti pemodelan sistem transmisi di matlab Simulink dan analisis gangguan untuk proteksi.

2. Parameter rele jarak

Parameter rele jarak mencakup pengaturan teknis seperti tegangan, arus pickup, impedansi, zona proteksi, waktu operasi, dan jenis kurva operasi. Dalam simulasi atau penerapan nyata. Selain itu, data simulasi mencakup skenario gangguan yang meliputi gangguan hubung singkat dan karakteristik saluran transmisi semua data ini digunakan untuk membangun model simulasi di Matlab Simulink guna mengevaluasi kinerja sistem proteksi rele jarak.

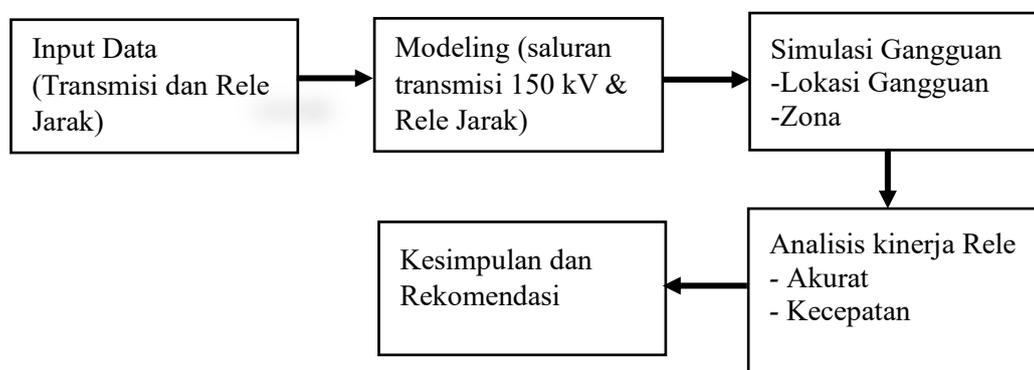
Parameter setting awal dari rele jarak yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada Tabel 3.1. Parameter ini meliputi besar impedansi untuk masing-masing zona proteksi serta waktu tunda (*delay*) yang sesuai dengan standar koordinasi proteksi

Tabel 3. 1 Patameter Rele Jarak

Parameter	Zona 1	Zona 2	Keterangan
Jarak Proteksi	80%	120%	Persentase dar Panjang saluran
Panjang Proteksi	78.47 km	24.07 km	Saluran Transmisi
Waktu Trip	0 detik	0.4 detik	Sesuai Setting Proteksi
Tegangan Sistem	150 kV	150 kV	Tegangan Nominal Sistem
Frekuensi (Hz)	50	50	Frekuensi Sistem

3.3 Diagram Blok Penelitian

Blok diagram penelitian adalah representasi visual yang menggambarkan alur atau proses dari tahapan-tahapan yang dilakukan dalam suatu penelitian. Diagram ini digunakan untuk menunjukkan hubungan antara berbagai komponen atau langkah-langkah dalam penelitian secara sederhana dan sistematis. Dalam blok diagram, setiap langkah atau elemen penting dari penelitian digambarkan dalam bentuk blok (kotak), dan hubungan antar langkah tersebut dihubungkan dengan panah untuk menunjukkan urutan atau aliran proses.



Gambar 3. 1 Diagram Blok Penelitian

A. Penjelasan diagram

Gambar 3. 2 Diagram Blok Penelitian

Pada Gambar 3.1 memperlihatkan langkah-langkah dalam simulasi dan analisis sistem proteksi menggunakan matlab Simulink pada transmisi dan rele. Berikut penjelasan setiap poin blok diagram :

1. Input data (transmisi dan rele jarak)

Data saluran transmisi mencakup informasi tentang karakteristik fisik saluran, seperti panjang total saluran. Saluran ini juga memiliki parameter listrik, termasuk resistansi, induktansi, dan kapasitansi persatuan panjang, yang dihitung berdasarkan sifat material konduktor dan konfigurasi fisiknya. Data ini digunakan untuk menentukan impedansi saluran, yang menjadi salah satu parameter utama dalam mengatur zona proteksi relai jarak. Rele jarak bekerja dengan prinsip pengukuran impedansi antara titik instalasi relai dan lokasi gangguan. Batas impedansi untuk setiap zona dihitung berdasarkan panjang saluran, parameter listrik saluran, dan kemungkinan variasi beban.

2. Modeling (Saluran Transmisi 150 kV & Rele Jarak)

Pemodelan saluran transmisi mencakup representasi fisik dan matematis dari parameter saluran seperti resistansi, induktansi, dan kapasitansi, yang semuanya memengaruhi perilaku listrik saluran tersebut. Dalam analisis jaringan, parameter ini digunakan untuk menghitung impedansi total saluran tegangan serta arus selama operasi normal dan saat terjadi gangguan. Pemodelan rele jarak dilakukan untuk merancang sistem proteksi yang mampu mendeteksi dan merespons gangguan pada saluran transmisi secara cepat dan akurat. Dalam pemodelan, parameter rele seperti zona proteksi, waktu operasi, dan karakteristik proteksi dirancang dengan mempertimbangkan parameter saluran transmisi, seperti panjang, impedansi, dan kondisi operasi jaringan. Karakteristik operasional relai jarak, seperti kurva proteksi mho atau reaktansi, digunakan untuk menentukan sensitivitas terhadap berbagai jenis gangguan. Pemodelan dilakukan menggunakan matlab Simulink.

3. Simulasi gangguan

Dalam simulasi, gangguan direpresentasikan melalui perubahan mendadak pada parameter listrik saluran. Misalnya, ketika terjadi gangguan fasa ke tanah, arus gangguan yang besar akan mengalir melalui titik gangguan, sementara tegangan di sekitar lokasi gangguan turun drastis. Perubahan ini terdeteksi oleh

transformator arus (CT) dan transformator tegangan (PT) yang mengirimkan sinyal ke rele jarak. Dalam simulasi, kondisi gangguan dapat diatur untuk mencakup berbagai skenario, seperti gangguan dekat dengan rele atau di bagian ujung saluran. Tujuannya adalah untuk menguji bagaimana rele merespons dalam berbagai situasi, memastikan bahwa sistem proteksi bekerja sesuai dengan yang dirancang. Melalui simulasi parameter rele dapat dioptimalkan untuk mencapai proteksi yang andal, menghindari pemutusan yang tidak perlu, dan meminimalkan dampak gangguan terhadap keseluruhan jaringan.

4. Analisis rele

Analisis rele jarak dalam sistem tenaga listrik dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat proteksi ini dapat bekerja secara efektif dalam mendeteksi dan merespons gangguan pada saluran transmisi. Rele jarak dirancang untuk memantau perubahan impedansi di jaringan dan menentukan apakah gangguan terjadi dalam area proteksi yang telah ditentukan. Analisis terhadap kinerjanya mencakup dua aspek utama yaitu keakuratan dan kecepatan dalam memberikan respons. Keakuratan rele jarak menjadi hal yang sangat penting, karena kesalahan dalam mendeteksi atau menentukan lokasi gangguan dapat menyebabkan kegagalan sistem proteksi. Ketika rele tidak akurat, ada risiko bahwa gangguan tidak akan terdeteksi, atau sebaliknya, rele dapat mengeluarkan perintah trip meskipun tidak ada gangguan yang sebenarnya (*false trip*). Kecepatan operasi rele merupakan aspek kinerja yang krusial, karena waktu yang diperlukan untuk merespons gangguan memengaruhi seberapa besar dampak gangguan tersebut pada sistem tenaga. Semakin cepat relai mendeteksi gangguan dan mengeluarkan perintah trip, semakin kecil kemungkinan kerusakan pada peralatan jaringan, seperti transformator, generator, atau saluran transmisi.

5. Kesimpulan dan rekomendasi

Mengambil kesimpulan dari hasil penelitian dan memberikan rekomendasi untuk pengembangan sistem proteksi. Kesimpulan dan rekomendasi dalam analisis sistem proteksi tenaga listrik, khususnya pada pemodelan dan simulasi rele jarak, berfungsi sebagai rangkuman temuan utama dan saran untuk peningkatan kinerja sistem. Kesimpulan biasanya berfokus pada evaluasi kinerja

rele berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang dilakukan, sementara rekomendasi menawarkan langkah-langkah atau strategi untuk mengoptimalkan sistem proteksi.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur percobaan adalah rangkaian langkah atau tahapan yang dilakukan dalam sebuah eksperimen atau penelitian untuk menguji hipotesis, mengumpulkan data, dan memperoleh hasil yang dapat dianalisis. Prosedur ini dirancang secara sistematis untuk memastikan bahwa eksperimen dapat dilakukan dengan cara yang terstruktur dan dapat diulang dengan konsistensi yang sama, menghasilkan data yang valid dan dapat dipercaya.

Prosedur penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan berikut:

1. Pemodelan rele jarak pada saluran transmisi 150 kV menggunakan Matlab Simulink.

a. Mengumpulkan data sistem tenaga 150 kV

Data teknis yang diperlukan untuk pemodelan sistem tenaga dikumpulkan pada tahap ini, yang mencakup:

- 1) Panjang saluran transmisi (102.54 km),
- 2) Nilai impedansi saluran (Ω/km),
- 3) Karakteristik sumber (generator),
- 4) Nilai beban,
- 5) Jenis dan lokasi gangguan yang akan disimulasikan,
- 6) Parameter dari rele jarak yang digunakan (karakteristik zona proteksi, waktu kerja).

Data ini berasal dari literatur teknis, standar industri, atau data riil dari Perusahaan Listrik Negara (PLN).

b. Merancang sistem tenaga di MATLAB Simulink

Tahap ini merupakan awal dari proses pemodelan sistem. MATLAB Simulink digunakan untuk membangun representasi dari sistem tenaga 150 kV dalam bentuk blok diagram. Lingkungan Simscape Electrical (SimPowerSystems) digunakan untuk membangun rangkaian kelistrikan dan sistem proteksi.

c. Membuat model sistem tenaga sederhana: Generator – Saluran Transmisi 150 kV – Beban. Dalam tahap ini, dibangun sistem tenaga satu jalur (single line system) yang terdiri dari:

- 1) Generator sebagai sumber tegangan,
- 2) Saluran transmisi 150 kV dengan impedansi per km dan panjang tertentu,
- 3) Beban pada ujung saluran,
- 4) Sistem pentanahan dan peralatan pelengkap lainnya.

Model ini dibuat secara modular agar dapat diuji dengan berbagai jenis gangguan.

d. Menambahkan elemen gangguan (*fault block*) untuk simulasi gangguan

Untuk mensimulasikan kondisi gangguan, ditambahkan blok gangguan (*fault*) dari library Simulink. Jenis gangguan dapat berupa:

- 1) Gangguan satu fasa ke tanah,
- 2) Gangguan dua fasa,
- 3) Gangguan tiga fasa (*three-phase fault*).

Letak gangguan disesuaikan di sepanjang saluran transmisi untuk menganalisis pengaruh lokasi gangguan terhadap kinerja rele.

e. Menambahkan model rele jarak

Rele jarak dimodelkan menggunakan blok logika atau toolbox distance relay.

Model ini disesuaikan agar dapat membaca:

- 1) Arus dan tegangan dari titik pengukuran (biasanya di sisi pengirim),
- 2) Menghitung nilai impedansi saat terjadi gangguan,
- 3) Memicu trip signal jika impedansi berada dalam zona proteksi.

f. Menentukan zona proteksi (Zona 1, 2, 3) dengan setting awal

Zona proteksi ditentukan dengan nilai standar sebagai acuan awal, misalnya:

- 1) Zona 1: 80% dari panjang saluran,
- 2) Zona 2: 120% dari panjang saluran (mencakup sebagian saluran berikutnya),
- 3) Zona 3: 150% dari panjang saluran.

Waktu kerja masing-masing zona juga disesuaikan (zona 1 = instantaneous, zona 2 = delay beberapa detik, dan seterusnya.).

g. Verifikasi model

Setelah semua komponen selesai dipasang, dilakukan verifikasi model untuk memastikan:

- 1) Sistem tenaga bekerja dalam kondisi normal,
 - 2) Rele jarak dapat mendeteksi gangguan dan merespons sesuai zona yang ditentukan,
 - 3) Tidak ada error dalam blok simulasi.
2. Menganalisis pengaruh lokasi gangguan terhadap kinerja rele jarak.

a. Menentukan titik gangguan

Tahapan ini bertujuan untuk mensimulasikan gangguan pada berbagai posisi sepanjang saluran transmisi. Titik-titik gangguan dipilih secara proporsional terhadap panjang saluran transmisi. Penempatan gangguan di berbagai lokasi ini penting untuk mengetahui apakah rele jarak mampu mendeteksi gangguan secara akurat dalam cakupan zona proteksi yang telah ditetapkan (zona 1 dan 2). Pemilihan lokasi ini juga mewakili kondisi gangguan dekat, sedang, dan jauh terhadap titik pengukuran (biasanya di sisi pembangkit atau gardu awal).

b. Mensimulasi gangguan

Setelah titik-titik gangguan ditentukan, langkah selanjutnya adalah menjalankan simulasi gangguan di Matlab Simulink. Pada tahap ini, berbagai jenis gangguan disimulasikan di setiap titik yang telah ditentukan. Jenis-jenis gangguan umum yang digunakan dalam sistem tenaga listrik antara lain:

- 1) Gangguan tiga fasa ke tanah (*Three line-to-ground fault*) gangguan antara satu fasa dan tanah.
- 2) Gangguan dua fasa (*line-to-line fault*) gangguan antara dua fasa tanpa melibatkan tanah.
- 3) Gangguan 3 fasa.

Setiap jenis gangguan ini disimulasikan dengan durasi dan waktu kejadian tertentu (misal gangguan terjadi pada detik ke 0,1 dan berlangsung selama 0,2 detik). Tujuan simulasi ini adalah untuk memicu respon dari rele jarak dan mengevaluasi kemampuannya dalam mengenali serta mengklasifikasikan gangguan sesuai zona proteksi.

3. Optimalisasi parameter zona proteksi rele jarak dalam mendeteksi gangguan pada saluran transmisi.

- a. Mengevaluasi setting awal zona
 - 1) Tahapan ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja zona proteksi berdasarkan simulasi awal yang telah dilakukan menggunakan parameter default atau asumsi umum (contohnya: Zona 1 = 80% panjang saluran, Zona 2 = 130%, dan Zona 3 = 220%).
 - 2) Hasil simulasi dianalisis untuk mengidentifikasi kelemahan diantaranya:
 - a) Underreach yaitu ketika rele gagal mendeteksi gangguan yang terjadi dalam zona proteksinya.
 - b) Overreach yaitu ketika rele mendeteksi gangguan di luar zona proteksinya.
 - 3) Evaluasi mencakup
 - a) Lokasi gangguan yang tidak berhasil terdeteksi.
 - b) Zona mana yang aktif saat gangguan.
 - c) Waktu operasi rele (trip time).
 - 4) Evaluasi ini menjadi dasar pengambilan keputusan untuk optimasi setting zona.
- b. Melakukan penyesuaian parameter zona
 - 1) Berdasarkan kelemahan yang ditemukan pada evaluasi, dilakukan penyesuaian terhadap parameter panjang zona untuk meningkatkan keakuratan deteksi gangguan.
 - 2) Contoh penyesuaian yaitu jika gangguan pada 80% tidak terdeteksi oleh Zona 1, maka setting Zona 1 diubah dari 80% menjadi 85%.
 - 3) Penyesuaian tidak hanya menambah panjang, tapi juga mempertimbangkan
 - a) Koordinasi antar zona, agar tidak terjadi overlap berlebih yang bisa menimbulkan false trip atau duplikasi aksi proteksi.
 - b) Waktu tunda antar zona juga harus diatur agar selektivitas tetap terjaga (Zona 1 = tanpa tunda, Zona 2 = tunda sedang, Zona 3 = tunda panjang).
 - 4) Penyesuaian ini bertujuan untuk mencapai keseimbangan antara kecepatan, selektivitas, dan keandalan sistem proteksi.
- c. Evaluasi dan Perbandingan

- 1) Setelah simulasi ulang selesai, dilakukan perbandingan kinerja rele sebelum dan sesudah optimasi.
- 2) Dibuat tabel atau grafik perbandingan yang menampilkan:
 - a) Zona aktif untuk setiap titik gangguan.
 - b) Waktu trip sebelum vs sesudah optimasi.
 - c) Jumlah deteksi sukses dan gagal.
- 3) Analisis dilakukan untuk menyimpulkan
 - a) Apakah zona proteksi lebih akurat dalam membedakan lokasi gangguan.
 - b) Apakah rele bekerja lebih cepat dan konsisten setelah optimasi.
- 4) Jika hasilnya menunjukkan peningkatan, maka dapat disimpulkan bahwa setting zona baru lebih efektif dan efisien dalam mendeteksi dan merespons gangguan.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian, atau *research flowchart*, adalah representasi visual yang menggambarkan urutan langkah-langkah dalam suatu proses penelitian. Diagram ini menggunakan simbol-simbol seperti kotak, panah, dan bentuk lainnya untuk menunjukkan tahapan dan alur kerja penelitian secara sistematis. Tujuannya adalah memudahkan pemahaman mengenai proses penelitian, mulai dari identifikasi masalah hingga penarikan kesimpulan.

1. Mulai
2. Identifikasi masalah
 - a. Langkah awal dalam penelitian ini adalah identifikasi masalah dalam sistem proteksi saluran transmisi sering kali berkaitan dengan kebutuhan untuk memastikan kinerja yang andal dan efisien dalam mendeteksi serta menangani gangguan. Salah satu aspek utama adalah kebutuhan akan akurasi deteksi gangguan. Rele jarak harus mampu mengenali secara tepat kapan dan di mana gangguan terjadi dalam jaringan. Ketidakakuratan dalam deteksi dapat menyebabkan relai gagal merespons gangguan yang sebenarnya atau, sebaliknya, mengeluarkan perintah pemutusan yang tidak diperlukan. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan lebih lanjut pada peralatan, gangguan

layanan listrik, atau bahkan kegagalan sistem secara keseluruhan. Masalah lain yang sering muncul adalah pengaturan zona proteksi.

- b. Zona proteksi dalam rele jarak dirancang untuk melindungi area tertentu dari gangguan, tetapi penentuan batas zona yang tidak tepat dapat menyebabkan perlindungan yang tidak memadai atau terlalu luas. Jika zona proteksi terlalu sempit, beberapa bagian saluran mungkin tidak terlindungi secara optimal. Sebaliknya, jika zona proteksi terlalu luas, ada risiko konflik dengan sistem proteksi di wilayah lain, yang dapat menyebabkan pemutusan yang tidak diinginkan. Pengaturan zona yang ideal harus memperhitungkan panjang saluran, parameter listrik saluran, serta karakteristik jaringan di sekitarnya. Selain itu, waktu pemutusan yang tepat menjadi elemen krusial dalam memastikan sistem proteksi bekerja secara efisien. Rele jarak harus memiliki kemampuan untuk memutuskan bagian saluran yang terganggu secepat mungkin guna meminimalkan dampak gangguan. Namun, waktu pemutusan yang terlalu cepat tanpa koordinasi dengan relai lain dapat menyebabkan gangguan pada stabilitas jaringan secara keseluruhan. Oleh karena itu, waktu tunda yang sesuai harus diterapkan, terutama untuk zona proteksi yang mencakup area yang lebih luas atau sebagai cadangan proteksi.
- c. Salah satu masalah adalah kebutuhan untuk menciptakan model yang akurat dari sistem tenaga listrik, termasuk saluran transmisi, beban, dan perangkat proteksi seperti rele jarak. Model ini harus mampu merepresentasikan karakteristik fisik dan operasional sistem yang sebenarnya. Kesalahan dalam memodelkan parameter, seperti impedansi saluran, arus gangguan, dan tegangan operasi, dapat menyebabkan hasil simulasi yang tidak akurat

3. Studi literatur

Langkah kedua dalam penelitian ini adalah mengumpulkan berbagai referensi dan sumber ilmiah yang berkaitan dengan sistem proteksi tenaga listrik, khususnya rele jarak (distance relay) dan saluran transmisi 150 kV. Literatur yang dikaji meliputi buku ajar, jurnal ilmiah, standar internasional (seperti IEEE atau IEC), laporan tugas akhir terdahulu, serta dokumentasi teknis dari perangkat proteksi. Tujuan dari tahap ini adalah memperoleh pemahaman konseptual yang kuat sebagai dasar pembuatan model simulasi.

- a. Mempelajari Prinsip Kerja Rele Jarak (Distance Relay) dan Proteksi Saluran Transmisi.

Pada tahap ini, peneliti mempelajari prinsip kerja rele jarak sebagai salah satu sistem proteksi utama untuk saluran transmisi. Rele jarak bekerja dengan mengukur impedansi antara titik lokasi pengukuran dengan titik gangguan. Berdasarkan nilai impedansi tersebut, rele menentukan apakah gangguan berada dalam zona proteksinya (zona 1, zona 2, atau zona 3). Selain itu, juga dipelajari bagaimana konfigurasi sistem proteksi untuk saluran transmisi, termasuk pemilihan zona, koordinasi antar proteksi, dan waktu kerja.

- b. pada analisis sistem proteksi, khususnya terkait rele jarak dan penggunaan Matlab Simulink, bertujuan untuk memahami dasar-dasar teoritis dan teknologi yang mendasari pengembangan serta implementasi sistem ini. Sistem proteksi adalah elemen kritis dalam jaringan tenaga listrik, dirancang untuk melindungi peralatan, memastikan keamanan, dan menjaga kontinuitas pasokan daya selama terjadi gangguan. Sistem ini melibatkan berbagai perangkat seperti rele proteksi serta pemutus sirkuit yang bekerja secara terkoordinasi untuk mendeteksi dan merespons gangguan dalam jaringan.
- c. Rele jarak adalah salah satu jenis perangkat proteksi yang digunakan secara luas pada saluran transmisi tegangan tinggi. Berbeda dengan relai arus lebih atau rele diferensial, rele jarak bekerja dengan prinsip pengukuran impedansi antara titik pemasangan rele dan lokasi gangguan. Dengan memanfaatkan pengukuran tegangan dan arus, relai jarak dapat menghitung impedansi aktual saluran dan membandingkannya dengan batas zona proteksi yang telah ditentukan. Ketika impedansi yang terukur menunjukkan adanya gangguan di dalam zona proteksi, rele akan mengeluarkan perintah trip untuk memutus bagian saluran yang terganggu. Studi literatur tentang rele jarak mencakup aspek-aspek seperti pengaturan zona proteksi, karakteristik kurva proteksi (mho, reaktansi, atau impedansi), serta metode pengujian dan kalibrasi untuk memastikan keandalan dan akurasi relai dalam berbagai kondisi operasi.
- d. Matlab Simulink adalah perangkat lunak yang sangat penting dalam studi dan simulasi sistem proteksi. Dalam konteks relai jarak, Matlab Simulink digunakan untuk membuat model matematis dari saluran transmisi, gangguan

jaringan, serta logika operasi rele. Studi literatur tentang sistem proteksi, rele jarak, dan penggunaan Matlab Simulink memberikan landasan yang kuat untuk memahami prinsip kerja, tantangan, dan solusi yang dapat diterapkan dalam pengembangan sistem proteksi yang lebih andal dan efisien.

4. Pengumpulan Data

Langkah keempat dalam penelitian ini adalah pengumpulan data adalah langkah penting dalam analisis sistem proteksi, terutama untuk memastikan bahwa model dan simulasi yang dibuat dapat mencerminkan kondisi nyata dari jaringan tenaga listrik. Pada studi yang melibatkan saluran transmisi dan rele jarak, data yang dikumpulkan mencakup informasi tentang spesifikasi transmisi dan parameter rele jarak. Spesifikasi transmisi meliputi karakteristik fisik dan teknis saluran transmisi yang akan dianalisis. Data ini mencakup panjang saluran, jenis konduktor, konfigurasi kawat, serta data teknis seperti tegangan nominal, kapasitas arus, dan jarak antar fasa. Selain itu, parameter listrik seperti resistansi, induktansi, dan kapasitansi per kilometer saluran juga harus diketahui. Data-data ini sangat penting karena digunakan untuk menghitung impedansi saluran transmisi, yang merupakan parameter utama dalam operasi rele jarak. Spesifikasi transmisi ini tidak hanya memengaruhi kinerja rele jarak, tetapi juga memengaruhi stabilitas dan efisiensi sistem tenaga secara keseluruhan.

a. Parameter rele jarak mencakup informasi teknis tentang perangkat proteksi yang digunakan. Data ini meliputi pengaturan zona proteksi, yaitu nilai impedansi yang menentukan batas-batas zona yang dilindungi oleh rele. Setiap zona memiliki cakupan dan waktu operasi yang berbeda, yang dirancang untuk memberikan perlindungan berlapis terhadap gangguan. Selain itu, parameter seperti karakteristik kurva proteksi (mho, reaktansi, atau impedansi), waktu tunda operasi untuk setiap zona, serta sensitivitas rele terhadap perubahan arus dan tegangan juga merupakan data yang perlu dikumpulkan.

5. Pengolahan Data

a. Saluran transmisi merupakan komponen dalam pengolahan data. Data yang mencakup panjang saluran (p), impedansi saluran (z), dan lokasi pemasangan relai sangat penting untuk menentukan karakteristik proteksi. Panjang saluran

digunakan untuk menghitung impedansi total, yang menjadi dasar dalam pengaturan zona proteksi rele jarak. Impedansi saluran dihitung dari parameter listrik seperti resistansi, induktansi, dan kapasitansi persatuan panjang, yang bergantung pada jenis konduktor dan konfigurasi saluran. Lokasi rele pada saluran menentukan cakupan proteksi yang diharapkan serta memengaruhi kecepatan dan akurasi deteksi gangguan.

- b. Kinerja rele jarak dianalisis berdasarkan waktu operasi relai (t_1), yaitu waktu yang dibutuhkan rele untuk mendeteksi gangguan dan mengirimkan perintah trip ke pemutus sirkuit. Data ini penting untuk mengevaluasi apakah rele dapat merespons gangguan dengan cukup cepat untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada sistem. Kinerja rele yang optimal ditandai dengan waktu operasi yang minimal tanpa mengorbankan selektivitas atau akurasi proteksi. Analisis ini sering dilakukan melalui simulasi berbagai skenario gangguan untuk mengukur respons relai pada kondisi yang berbeda.
 - c. Zona proteksi adalah elemen penting dalam sistem proteksi berbasis rele jarak. Zona ini mencakup beberapa tingkatan, seperti zona pertama (Z_1), zona kedua (Z_2), dan zona ketiga (Z_3), yang masing-masing memiliki batas impedansi tertentu. Zona pertama biasanya mencakup bagian saluran yang paling dekat dengan relai dan memiliki waktu operasi yang paling cepat. Zona kedua dan ketiga mencakup area yang lebih luas dengan waktu operasi yang lebih lambat, yang dirancang untuk memberikan cadangan proteksi jika zona sebelumnya gagal mendeteksi gangguan. Pengolahan data untuk zona proteksi melibatkan perhitungan impedansi batas untuk setiap zona berdasarkan panjang saluran dan parameter listriknya, serta simulasi respons relai terhadap gangguan pada berbagai lokasi.
6. Pemodelan
- a. Pemodelan saluran transmisi dimulai dengan menggambarkan karakteristik fisik dan elektrik dari saluran tersebut. Dalam hal ini, saluran transmisi dapat berupa saluran udara atau kabel bawah tanah yang menghubungkan pembangkit listrik dengan titik distribusi. Pemodelan saluran transmisi mencakup penghitungan impedansi saluran, yang meliputi resistansi, induktansi, dan kapasitansi persatuan panjang. Parameter-parameter ini

penting untuk menghitung distribusi arus dan tegangan sepanjang saluran. Selain itu, model saluran transmisi juga harus mempertimbangkan kondisi operasi seperti tegangan nominal, kapasitas arus, dan karakteristik gangguan yang mungkin terjadi, baik itu gangguan simetris maupun asimetris. Dengan pemodelan saluran transmisi yang akurat, simulasi gangguan dan respons sistem proteksi dapat dilakukan dengan lebih tepat.

- b. Pemodelan rele jarak bertujuan untuk menggambarkan perangkat proteksi yang bekerja berdasarkan pengukuran impedansi saluran. Rele jarak digunakan untuk melindungi saluran transmisi dengan cara mengukur impedansi antara titik pemasangan rele dan lokasi gangguan. Pemodelan rele jarak ini melibatkan pengaturan zona proteksi, yang mencakup berbagai parameter seperti batas impedansi yang menentukan kapan rele akan memutuskan saluran yang terganggu. Selain itu, karakteristik proteksi rele juga harus dimodelkan, seperti waktu tunda, sensitivitas terhadap arus dan tegangan, serta jenis kurva proteksi (misalnya, kurva impedansi atau reaktansi). Dengan pemodelan relai jarak yang baik, kita dapat menganalisis kinerja sistem proteksi dalam merespons gangguan dan memastikan bahwa rele beroperasi dengan tepat pada kondisi yang berbeda.

7. Analisis Data

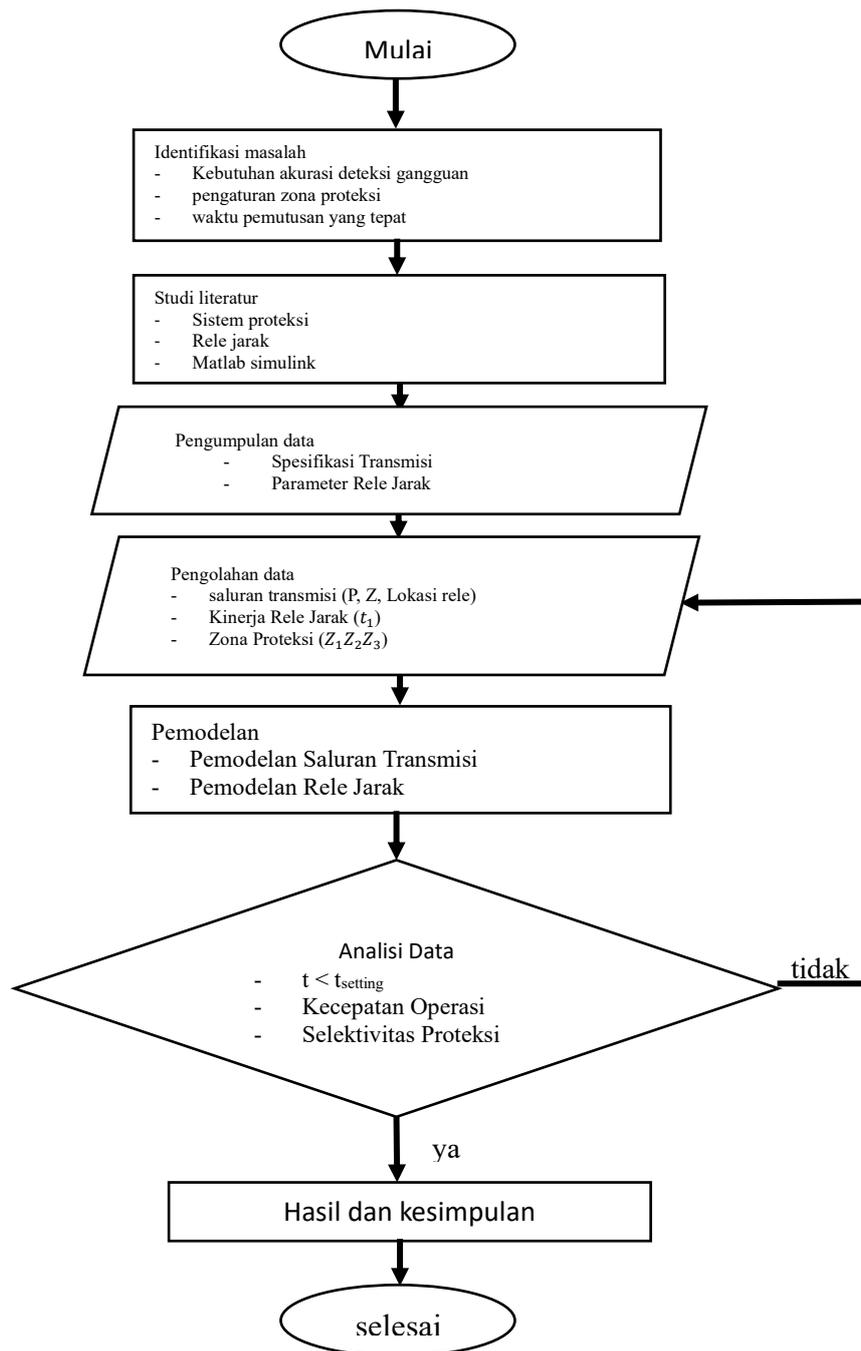
Analisis data dalam sistem proteksi, terutama yang melibatkan relai jarak, sangat penting untuk memastikan kinerja proteksi yang optimal dalam menangani gangguan pada jaringan transmisi. Dalam analisis ini, beberapa aspek utama yang perlu diperhatikan adalah keakuratan relai jarak, kecepatan operasi, dan selektivitas proteksi. Analisis keakuratan, kecepatan operasi, dan selektivitas proteksi sangat penting dalam memastikan bahwa sistem proteksi berfungsi secara efektif untuk mengidentifikasi dan merespons gangguan. Ketiga aspek ini saling terkait dan perlu dioptimalkan agar sistem transmisi tetap stabil, efisien, dan dapat diandalkan. Simulasi dan pengujian melalui perangkat lunak seperti Matlab Simulink memungkinkan untuk mengevaluasi dan meningkatkan performa rele jarak dalam berbagai kondisi operasi, serta memastikan bahwa sistem proteksi dapat bekerja sesuai dengan harapan dan standar keselamatan yang ditetapkan.

8. Hasil dan Kesimpulan

Ya, Jika hasil analisis menunjukkan bahwa rele jarak memenuhi kriteria yang ditetapkan (akurat, cepat, selektif), maka penelitian dianggap berhasil dan kesimpulan dapat diambil.

Tidak, Jika hasil analisis tidak memenuhi kriteria, maka peneliti perlu melakukan perbaikan pada model atau parameter, kemudian mengulang proses simulasi dan analisis.

9. Selesai



Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Rele Jarak Pada Saluran Transmisi 150 kV Menggunakan Matlab Simulink

Rele jarak (*distance relay*) merupakan salah satu alat proteksi utama dalam sistem transmisi tenaga listrik, khususnya pada saluran transmisi tegangan tinggi seperti 150 kV. Fungsi utama dari rele ini adalah untuk mendeteksi gangguan dengan cara mengukur impedansi antara titik pemasangan rele dan lokasi gangguan. Ketika nilai impedansi terukur berada dalam batas setting zona proteksi, maka rele akan bekerja dan memberikan perintah pemutusan kepada pemutus daya (circuit breaker). Impedansi sendiri merupakan hasil perbandingan antara tegangan dan arus, dan sebanding dengan panjang saluran, sehingga perubahan nilai impedansi dapat diartikan sebagai perubahan lokasi gangguan sepanjang saluran transmisi.

Pemodelan rele jarak dalam simulasi sangat penting dilakukan untuk menguji dan mengevaluasi performa sistem proteksi sebelum diterapkan di lapangan. Matlab Simulink sebagai perangkat lunak berbasis grafis menyediakan lingkungan yang ideal untuk melakukan pemodelan ini karena memiliki pustaka blok-blok sistem tenaga seperti sumber tegangan, beban, saluran transmisi, transformator, serta blok proteksi dan gangguan. Simulasi berbasis blok diagram ini memungkinkan visualisasi yang interaktif dan real-time terhadap perilaku sistem saat terjadi gangguan.

Langkah awal dalam pemodelan adalah membangun representasi sistem tenaga 150 kV di Simulink, dimulai dari pemodelan sumber tegangan tiga fasa, saluran transmisi (menggunakan blok "Three-Phase PI Section Line" atau "Three-Phase Transmission Line"), beban, serta titik-titik gangguan yang dapat diatur lokasi dan jenisnya (single line-to-ground, double line-to-ground, three-phase, dll). Selanjutnya, dilakukan pemodelan blok rele jarak yang diatur dengan parameter impedansi sesuai dengan karakteristik saluran, serta pembagian zona proteksi (zona 1 dan zona 2) berdasarkan persentase panjang saluran. Zona 1 biasanya mencakup 80% panjang saluran dan bekerja tanpa delay, zona 2 mencakup hingga 120% dengan delay sekitar 0,1–0,4 detik.

Dalam pemodelan ini, Matlab Simulink tidak hanya digunakan untuk membangun model saluran dan relay, tetapi juga digunakan untuk monitoring sinyal arus dan tegangan, menghitung impedansi secara real-time, serta memberikan logika operasi pemutusan berdasarkan zona aktif. Blok-blok penting yang digunakan meliputi "*Voltage Measurement*", "*Current Measurement*", "*Product*", "*Divide*", serta blok logika "*Relay Logic*" yang mendeteksi apakah impedansi yang dihitung masuk ke dalam salah satu zona kerja rele.

Hasil dari simulasi ini kemudian dapat dianalisis melalui scope untuk melihat kapan gangguan terjadi, kapan relay bereaksi, serta zona mana yang aktif. Misalnya, ketika terjadi gangguan pada 60% panjang saluran, relay akan langsung trip karena masuk zona 1, sedangkan jika gangguan terjadi pada 95%, maka trip akan terjadi setelah delay sesuai pengaturan zona 2. Dengan demikian, model ini dapat digunakan untuk mengevaluasi sensitivitas dan selektivitas dari pengaturan zona proteksi.

Keunggulan dari pendekatan menggunakan Matlab Simulink adalah fleksibilitasnya dalam mengatur parameter, serta kemampuannya untuk mensimulasikan skenario gangguan yang kompleks. Selain itu, proses ini memberikan gambaran nyata bagi mahasiswa maupun praktisi untuk memahami prinsip kerja rele jarak dalam kondisi dinamis, serta sebagai alat bantu untuk pelatihan dan perencanaan sistem proteksi yang handal.

Dengan melakukan pemodelan ini, dapat menguji respons sistem terhadap berbagai gangguan, menentukan pengaturan impedansi dan waktu delay yang optimal, serta menganalisis kinerja rele jarak secara menyeluruh. Oleh karena itu, pemodelan rele jarak pada saluran transmisi 150 kV menggunakan Matlab Simulink merupakan pendekatan yang sangat relevan dan bermanfaat dalam menunjang keandalan dan kestabilan sistem tenaga listrik modern.

Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab Simulink. Dalam bagian pemodelan ini, akan dijelaskan tahapan-tahapan dalam membangun model sistem tenaga 150 kV.

A. Mengumpulkan data sistem tenaga 150 kV

pengumpulan data merupakan langkah awal yang penting dalam pemodelan sistem tenaga, karena akurasi dari simulasi sangat bergantung pada ketepatan data

teknis. Berikut ini adalah data-data yang diperlukan untuk membangun model sistem tenaga 150 kV pada Matlab Simulink.

Tabel 4. 1 Data sistem tenaga 150 kV

No	Jenis Data	Keterangan	Nilai / Satuan
1	Panjang saluran transmisi	Jarak total antara titik pengiriman dan titik beban	102,54 km
2	Nilai impedansi saluran	Impedansi saluran per km	$R=0,09774/\text{km } \Omega$,
3	Karakteristik sumber (Generator)	Tegangan nominal, frekuensi	150 kV, 50 Hz
4	Nilai beban	Beban sistem pada sisi akhir saluran	30 MW
5	Jenis dan Lokasi gangguan	Gangguan satu fasa ke tanah dan 2 fasa	L1-G, L1-L2
6	Parameter rele jarak	Jarak jangkauan dan waktu kerja masing- masing zona	Zona 1 80% (0,0 s) Zona 2 120% (0,4 s)

B. Merancang sistem tenaga pada matlab simulink

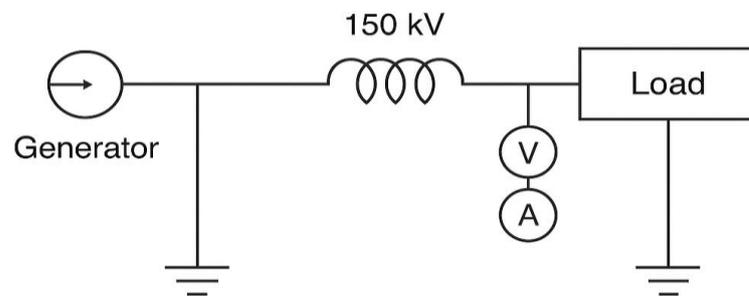
merupakan awal dari proses pemodelan sistem tenaga. Matlab Simulink, khususnya *toolbox Simscape Electrical* (sebelumnya dikenal sebagai *SimPowerSystems*), digunakan untuk membuat representasi grafis dari sistem tenaga 150 kV yang akan dimodelkan. Lingkungan ini menyediakan komponen-komponen kelistrikan seperti sumber tegangan, saluran transmisi, beban, dan peralatan proteksi yang dapat langsung digunakan dalam bentuk blok.

Pemodelan ini bertujuan untuk menciptakan sistem transmisi tenaga listrik dari pembangkit ke beban dengan memasukkan elemen-elemen penting seperti:

1. Sumber tegangan (generator),
2. Saluran transmisi
3. Beban (resistif, induktif, atau campuran),
4. Rele jarak (*distance relay*) untuk proteksi sistem,
5. Recloser dan pemutus sirkuit (*circuit breaker*),
6. Pemodelan gangguan (*fault block*)

C. Membuat model sistem tenaga sederhana: Generator – Saluran Transmisi 150 kV – Beban.

Adapun tujuan membangun model dasar sistem tenaga listrik satu jalur (*single line system*) sebagai fondasi utama sebelum ditambahkan sistem proteksi seperti rele jarak dan recloser. Model ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sumber tegangan berupa generator, saluran transmisi 150 kV, dan beban pada sisi akhir sistem. Selain itu, disertakan juga sistem pentanahan dan komponen pelengkap seperti pengukuran tegangan dan arus. Gambar berikut menunjukkan diagram satu garis dari sistem tenaga sederhana 150 kV yang terdiri atas sumber pembangkit, saluran transmisi, dan beban. Model ini digunakan sebagai dasar dalam pemodelan sistem proteksi rele jarak pada simulasi Matlab Simulink.



Gambar 4. 1 Single Line System

Pada Gambar 4.1 sistem pembangkit mengalirkan daya melalui saluran transmisi menuju beban pada sisi akhir jaringan. Tegangan sistem ditetapkan sebesar 150 kV sebagai representasi sistem transmisi tegangan tinggi. Alat ukur berupa voltmeter (V) dan ammeter (A) dipasang untuk memantau parameter tegangan dan arus yang diperlukan dalam proses pemodelan rele jarak. Seluruh bagian sistem ini nantinya akan diimplementasikan dalam simulasi menggunakan Matlab Simulink sebagai dasar untuk analisis proteksi terhadap gangguan.

1. Generator

Simbol lingkaran dengan tanda panah di dalamnya mewakili generator tiga fasa, yang berfungsi sebagai sumber tegangan. Generator ini menghasilkan tegangan

tinggi untuk disalurkan melalui saluran transmisi. Tegangan yang dihasilkan adalah 150 kV, sesuai dengan label pada diagram.

2. Saluran Transmisi

Saluran transmisi dilambangkan oleh simbol kumparan (induktansi), yang merepresentasikan saluran udara tegangan tinggi (150 kV). Simbol ini secara sederhana menunjukkan adanya impedansi saluran yang terdiri dari resistansi dan reaktansi. Saluran ini menyalurkan daya listrik dari generator menuju beban.

3. Beban

Simbol persegi panjang dengan label "Load" menunjukkan beban sistem, yaitu konsumen energi listrik di ujung saluran. Beban ini bisa berupa beban industri, komersial, atau campuran, dan diberi pentanahan sebagai sistem proteksi dan stabilitas.

4. Pengukuran Tegangan dan Arus

Simbol "V" (voltmeter) dan "A" (ampermeter) menunjukkan adanya alat ukur untuk memantau tegangan dan arus di sisi beban. Pengukuran ini penting untuk analisis sistem dan proteksi, termasuk pemantauan kerja rele jarak.

5. Pentanahan

Tiga simbol pentanahan di diagram menunjukkan bahwa semua peralatan utama (generator, saluran, beban) diproteksi dengan sistem pentanahan. Ini penting untuk keselamatan sistem dan pengoperasian rele proteksi.

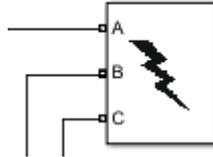
D. Menambahkan blok gangguan (*Fault*)

Elemen gangguan (*fault block*) dimasukkan ke dalam model sistem tenaga di Matlab Simulink untuk mensimulasikan kondisi abnormal seperti hubungan singkat (*short circuit*). Tujuan dari penambahan blok ini adalah untuk menguji respons sistem proteksi, khususnya rele jarak, terhadap berbagai jenis gangguan yang dapat terjadi di saluran transmisi 150 kV.

Jenis gangguan yang akan disimulasikan :

1. Gangguan satu fasa ke tanah
2. Gangguan dua fasa
3. Gangguan 3 fasa

Untuk mensimulasikan gangguan pada sistem transmisi, digunakan blok pemodelan gangguan (*fault block*) yang tersedia di Matlab Simulink. Blok ini memungkinkan pengguna untuk mengatur jenis gangguan (seperti satu fasa ke tanah, dua fasa, atau tiga fasa), durasi gangguan, serta resistansi gangguan.



Gambar 4. 2 Blok Fault

Pada Gambar 4.2 menunjukkan representasi gangguan tiga fasa dalam sistem transmisi. Terminal A, B, dan C mewakili ketiga fasa yang dapat dikonfigurasi untuk mengalami gangguan sesuai simulasi. Gangguan ini digunakan untuk menguji kepekaan dan keandalan sistem proteksi rele jarak dalam mendeteksi dan merespons gangguan secara tepat dan cepat.

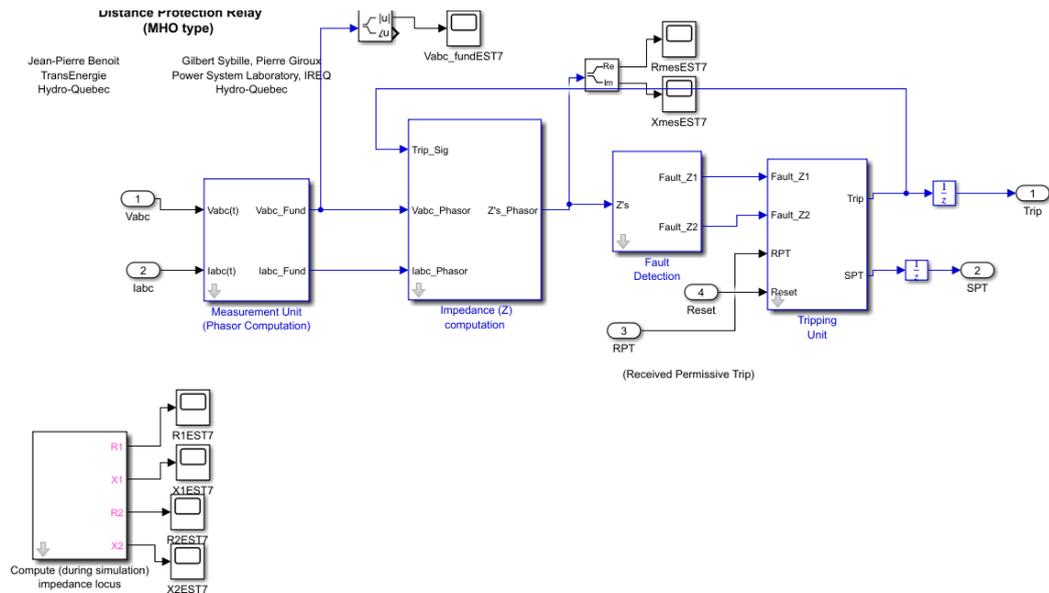
E. Menambahkan model rele jarak

Rele jarak berfungsi sebagai alat proteksi utama pada saluran transmisi yang mendeteksi gangguan berdasarkan nilai impedansi (Z) yang dihitung dari pengukuran arus dan tegangan. Dalam Simulink, model rele jarak dapat dibangun menggunakan blok logika dasar



Gambar 4. 3 Blok Rele Jarak

Adapun elemen-elemen yang ada pada rele jarak dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Elemen-Elemen Blok Rele Jarak

Adapun penjelasan dari setiap elemen yang ada pada Gambar 4.4 yaitu:

1. Input tegangan dan arus (V_{abc} dan I_{abc}) yaitu V_{abc} adalah input tegangan tiga fasa dari sistem tenaga, sedangkan I_{abc} adalah input arus tiga fasa
2. Measurement unit (Phasor Computation) yaitu Blok ini mengekstrak komponen phasor fundamental dari sinyal V_{abc} dan I_{abc} , dengan memfilter komponen harmonik dan noise.
3. Impedance (Z) Computation yaitu blok ini menghitung nilai impedansi dari saluran menggunakan rumus dasar

$$Z = \frac{V}{I}$$

Perhitungan dilakukan untuk masing-masing fasa (A, B, C) dengan hasil output berupa $Z_s_Phaseor$ (impedansi dalam bentuk kompleks). Jika terjadi gangguan, nilai impedansi ini akan turun dan dibandingkan dengan zona proteksi.

4. Fault detection berfungsi untuk mengevaluasi apakah nilai impedansi yang dihitung berada dalam zona proteksi
5. Tripping unit menentukan logika akhir untuk mengeluarkan sinyal trip
6. Scope berfungsi untuk memvisualisasikan
7. Compute impedance locus digunakan untuk menghitung dan menampilkan lintasan impedansi selama simulasi berjalan. Input-nya adalah parameter batas zona proteksi.

F. Menentukan zona proteksi (Zona 1,2 dan 3) dengan setting awal

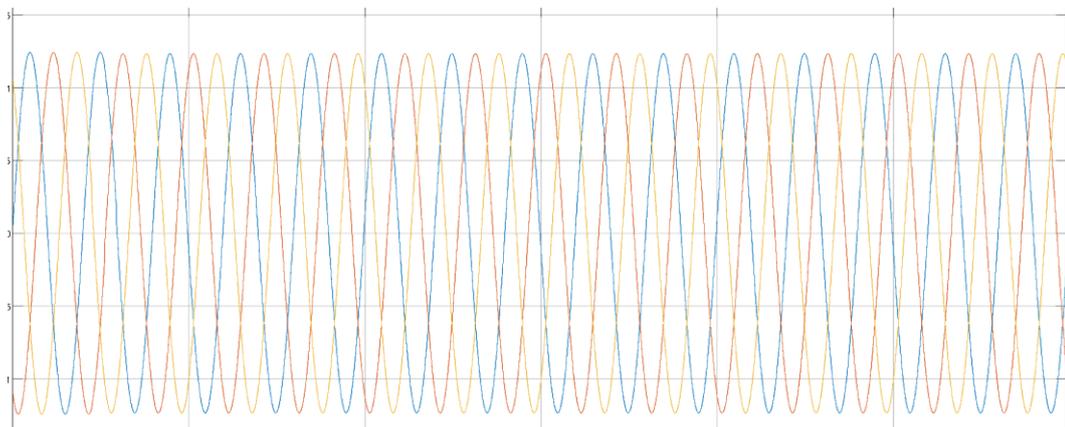
Dalam sistem proteksi rele jarak, zona proteksi ditentukan berdasarkan estimasi panjang saluran transmisi yang ingin diproteksi, dengan pengaturan sebagai berikut:

1. Zona 1 – Proteksi ini merupakan zona proteksi utama yang melindungi sebagian besar saluran yang berada di depan rele (sekitar 80% dari total panjang saluran). Tujuannya adalah untuk menjamin kecepatan dalam mendeteksi gangguan yang terjadi di bagian utama saluran. Waktu kerja *Instantaneous* (langsung trip tanpa delay), karena diyakini bahwa gangguan berada dalam area tanggung jawab utama rele tersebut.
2. Zona 2 – proteksi backup ke depan zona 2 mencakup area yang lebih luas dari zona 1, yakni hingga 120% dari panjang saluran. Ini berarti mencakup seluruh saluran utama ditambah sebagian kecil saluran berikutnya. Zona ini berfungsi sebagai backup jika rele zona 1 gagal bekerja. Waktu kerja Ditambahkan waktu tunda (delay) sekitar 0,3–0,4 detik (tergantung sistem), agar memberi kesempatan zona 1 trip lebih dahulu.

G. Verifikasi model

1. Sistem tenaga bekerja pada kondisi normal

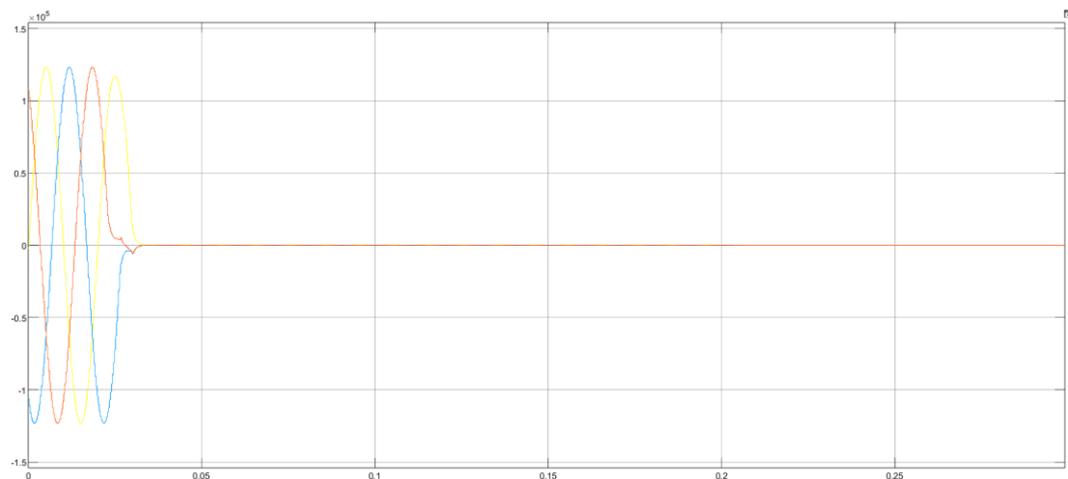
Setelah pemodelan sistem transmisi dan pengaturan sumber tegangan dilakukan, langkah berikutnya adalah melakukan simulasi untuk memperoleh bentuk gelombang arus atau tegangan tiga fasa. Grafik berikut memperlihatkan sinyal tiga fasa pada kondisi normal (tanpa gangguan).



Gambar 4. 5 Grafik Kondisi Normal

Gambar 4.5 merupakan grafik bentuk gelombang sistem tenaga listrik tiga fasa, digunakan untuk memantau kondisi tegangan atau arus pada jaringan listrik. Dalam grafik tersebut terlihat tiga sinyal sinusoidal yang berwarna biru, merah, dan kuning, masing-masing mewakili fasa A, fasa B, dan fasa C. Ketiga gelombang ini memiliki bentuk yang seragam dan teratur. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem berada dalam keadaan seimbang dan normal, di mana tidak terjadi gangguan atau pada salah satu fasa. Gelombang yang bersih dan simetris seperti ini biasanya menunjukkan bahwa tegangan atau arus tiga fasa bekerja sesuai dengan karakteristik idealnya, yaitu sinusoidal murni.

2. Rele Jarak Dapat Mendeteksi Gangguan dan Merespons



Gambar 4. 6 Grafik Mendeteksi Gangguan

Gambar grafik 4.6 tersebut menunjukkan bentuk gelombang dari sistem tenaga tiga fasa yang mengalami gangguan dan pemutusan. Terlihat bahwa pada awal waktu (sekitar 0 hingga 0.05 detik), sinyal dari ketiga fasa ditunjukkan oleh tiga warna berbeda (biru untuk fasa A, merah untuk fasa B, dan kuning untuk fasa C) masih menunjukkan bentuk gelombang sinusoidal yang normal dan seimbang. Namun, tepat setelah sekitar 0.05 detik, seluruh gelombang secara tiba-tiba mengalami redaman drastis dan kemudian menjadi rata (nol), menandakan bahwa arus atau tegangan telah hilang dari sistem. rele jarak yang mendeteksi adanya gangguan pada jaringan dan segera mengirimkan sinyal trip ke pemutus sirkuit (*circuit breaker*). Akibatnya, saluran diputus untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada peralatan atau sistem tenaga.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemodelan sistem proteksi rele jarak pada saluran transmisi 150 kV menggunakan Matlab Simulink telah berhasil dilakukan dengan memasukkan elemen-elemen utama sistem tenaga yaitu sumber, saluran transmisi, beban, dan gangguan, serta pemodelan blok rele jarak dengan zona proteksi.
2. Pengaruh lokasi gangguan sangat signifikan terhadap waktu trip dan zona kerja rele. Semakin jauh gangguan dari lokasi rele, semakin besar impedansi yang terukur, dan semakin lama waktu operasi trip sesuai pengaturan zona.
3. Optimalisasi parameter zona proteksi seperti batas impedansi dan waktu kerja telah berhasil disesuaikan sehingga menghasilkan sistem proteksi yang selektif, cepat, dan andal dalam mengisolasi gangguan.

5.2 Saran

1. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memodelkan rele jarak numerik (digital relay) menggunakan algoritma perhitungan sendiri berbasis Matlab coding.
2. Diperlukan penambahan analisis terhadap pengaruh perubahan beban dan variasi arus gangguan untuk meningkatkan keandalan sistem proteksi.
3. Simulasi dapat dikembangkan dengan pemodelan sistem SCADA atau proteksi berbasis komunikasi IEC61850 untuk pengujian sistem real-time.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. B. Muljono, "Distance Relay Protection Coordination Analysis of High Voltage Transmission Line 150 Kv Lombok Power System," *Dielektrika*, vol. 7, no. 1, p. 15, 2020, doi: 10.29303/dielektrika.v7i1.230.
- [2] A. T. Adrian and U. Umar, "Analisa Proteksi Rele Jarak pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150KV Gardu Induk Solo Baru-Palur," *Pros. Simp. Nas. Rekayasa Apl. Peranc. dan Ind.*, pp. 159–166, 2021.
- [3] L. Andreansyah, Gunawan, and B. Sukoco, "Analisis Relai Jarak Sebagai Proteksi Pada Jaringan Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 Kv Gardu Induk Randu Garut-Weleri," *Konf. Ilm. Mhs. Unissula 2*, pp. 133–140, 2019.
- [4] R. Firdaus, "Pemodelan Sistem Industri," vol. 4, no. 1, pp. 1–23, 2016.
- [5] A. Atina, "Aplikasi Matlab pada Teknologi Pencitraan Medis," *J. Penelit. Fis. dan Ter.*, vol. 1, no. 1, p. 28, 2019, doi: 10.31851/jupiter.v1i1.3123.
- [6] H. Eteruddin, "Analisis Proteksi Rele Jarak pada Saluran Transmisi GS-PP , PSCAD," 2020.
- [7] R. Sudrajat, S. Saodah, and Waluyo, "Analisis Penalaan Rele Jarak sebagai Proteksi Utama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Bandung Selatan – Cigereleng," *J. Reka Elkomika*, vol. 2, no. 1, pp. 36–48, 2015.
- [8] A. P. Kusuma, "Evaluasi Setting Rele Jarak Transmisi 150 Kv Senggiring-Singkawang," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, 2018.
- [9] D. Almanda and J. Juniyanto, "Analisis Pengaruh Kompensasi Impedansi Urutan Nol (Kzn) terhadap Keandalan Sistem Proteksi Rele Jarak (Distance Relay) pada Penghantar Harapan Indah di Gardu Induk Plumpang," *Resist. (Elektronika Kendali Telekomun. Tenaga List. Komputer)*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2021, doi: 10.24853/resistor.4.1.1-6.
- [10] T. Pipit Mulyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, "濟無No Title No Title No Title," *J. GEEJ*, vol. 7, no. 2, pp. 5–30, 2020.
- [11] R. Syahputra, "Tenaga Listrik," *Transm. Dan Distrib. Tenaga List.*, no.

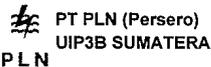
LP3M UMY, Yogyakarta, pp. 249–256, 2016.

- [12] A. Azis, D. Irine, and K. Febrianti, “Analysis of the Overcurrent Protection System on the Cendana Extension of the Bungaran Substation in Palembang,” *J. Ampere*, vol. 4, no. 2, pp. 332–344, 2019.
- [13] M. Sanusi, “Analisa proteksi rele jarak pada saluran udarategangan tinggi 150 kv gardu induk reembang baru ke gardu induk pati universitas muhammadiyah surakarta,” *E-Jurnal Univ. Muhammadiyah Surakarta*, 2017.
- [14] T. Pipit Mulyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, “濟無No Title No Title No Title,” *J. GEEJ*, vol. 7, no. 2, pp. 5–32, 2020.
- [15] L. T. Setyorini, “Pengujian Karakteristik Relai Arus Lebih NR Tipe PCS-9691E Menggunakan Alat Uji Current Injector,” *Tek. Elektro, Polban*, 2017.
- [16] A. Navis, “MAKALAH RELAI JARAK (DISTANCE RELAY) Mata Kuliah Proteksi Sistem Tenaga Listrik Dosen Pembimbing Dr . Liliana ST , M . Eng,” no. May, 2020.
- [17] B. A. B. Vii, R. Jarak, and D. Relay, “Bab vii. rele jarak (distance relay) 7.1,” no. 21, pp. 83–93. 2016
- [18] J. B. Sepang, L. S. Patras, and F. Lisi, “Analisa Koordinasi Setting Relai Jarak Sistem Transmisi 150 KV Area Gardu Induk Otam-Gardu Induk Isimu,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 6, no. 3, pp. 1–11, 2017, [Online]. Available: ejournal.unsrat.ac.id
- [19] Z. Syamsudin, I. Pujotomo, and F. Ramadhan, “KAJIAN RELE JARAK DAN ARUS LEBIH PADA SADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI GARDU INDUK 150kV SRONDOL,” *J. Sutet*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2015, [Online]. Available: <https://stt-pln.e-journal.id/sutet/article/view/603>
- [20] T. Pipit Mulyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, “濟無No Title No Title No Title,” *J. GEEJ*, vol. 7, no. 2, pp. 7–36, 2020.
- [21] R. Hidayat, J. T. Elektro, F. T. Industri, and U. I. Indonesia, “Perancangan Sistem Proteksi Relai Arus Lebih Direksional Pada Sistem Ieee 8 Bus,” 2019, [Online]. Available:

https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/13695/Skripsi_Rahmat_Hidayat_14524036.pdf?sequence=2&isAllowed=y

- [22] E. Idriana, R. Putri, S. Meliala, and D. Fariadi, “Analisa Setting Koordinasi Proteksi Over Current Relay Pada Jaringan Distribusi Di Pt. Pln (Persero) Ulp Pangkalan Brandan,” *J. Energi Elektr.*, vol. 9, no. 2, p. 22, 2021, doi: 10.29103/jee.v10i1.4960.
- [23] E. D. I. SUTRISNO, “Analisa Pengaruh Perubahan Impedansi Penghantar Sutt 150 Kv Terhadap Setting Relay Jarak Sebagai Pengaman Gardu Induk 150 ...,” 2023, [Online]. Available: [http://repository.unissula.ac.id/31537/%0Ahttp://repository.unissula.ac.id/31537/1/Teknik Elektro_30601601818_fullpdf.pdf](http://repository.unissula.ac.id/31537/%0Ahttp://repository.unissula.ac.id/31537/1/Teknik%20Elektro_30601601818_fullpdf.pdf)
- [24] M. W. Aminullah, D. Utari, and Y. Wardhani, “Pengaruh Pengaturan Rele Jarak Terhadap Proteksi Utama pada Penghantar SUTET 500kV Effect of Distance Relay Settings on Main Protection on 500kV SUTET Conductors,” *J. Ampere*, vol. 7, no. 2, pp. 108–115, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/ampere/article/view/9069%0Ahttps://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/ampere/article/view/9069/6273>
- [25] N. C. Umam and S. T. Umar, “Analisis Rele Jarak Sebagai Proteksi Pada Saluran Transmisi 150 Kv Di Gardu Induk Sragen–Gardu Induk Masaran,” 2019, [Online]. Available: <http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/76084>
- [26] S. N. Fitri and F. Azis, “Pengaruh Parameter Sistem Transmisi Tenaga Listrik pada Saluran Transmisi Pendek,” *J. Electr. Engginering*, vol. 5, no. 1, pp. 22–27, 2024.
- [27] B. A. B. Ii and A. P. Pemodelan, “No Title,” pp. 6–19, 2015.
- [28] I. Gardu, M. Cb, I. Gardu, R. G-g, and R. G-, “KV RSUP DR . KARIADI SEMARANG,” vol. 10, no. 3, pp. 75–83, 2022.
- [29] P. Matlab, “Bab 1 pengenalan matlab”.

LAMPIRAN

	FORMULIR PERHITUNGAN SETTING PROTEKSI		
No.Dokumen	FR-TRS-BOP-034	Tanggal	6 Juni 2019
Revisi	3	Halaman	1 dari 19

OVERVIEW DAN DATA TEKNIS PERALATAN

ALSTOM

TYPE RELAY	: MICOM P546
JENIS PROTEKS	: LINE CURRENT DIFFERENTIAL
PELAKSANA	: UPT MEDAN
LOKASI GI	: GI 150 kV PANGKALAN BRANDAN
PROTEKSI BAY	: PHT 150 kV LANGSA 1,2
PHT L1	: PANGKALAN BRANDAN – LANGSA (78.47)
Ukuran	: ACCC 1x310 mm2 CCC = 1275 A
Z+	: 0.09774 + j.0.40054 Ω/km
Z0	: 0.49117 + j.1.6156 Ω/km
PHT L2	: LANGSA – TUALANG CUT (24.07 km)
Ukuran	: ACSR 1x240 mm2
Z+	: 0.12800 + j.0.42400 Ω/km
Z0	: 0.52181 + j.1.61558 Ω/km
PHT L3	: LANGSA - LHOKSEUMAWE (128.57 km)
Ukuran	: ACCC 1x310 mm2
Z+	: 0.09774 + j.0.40054 Ω/km
Z0	: 0.49117 + j.1.6156 Ω/km
Rasio CT	: 1000 / 1 A
Rasio PT	: 150 kV / 100 V

Catatan :

1. Apabila terdapat perbedaan parameter CT, PT, panjang, jenis dan ukuran konduktor, serta data pada setelan proteksi tersebut, agar dikonfirmasi ke Sub-Bidang Proteksi Sistem Transmisi I P3B Sumatera.
2. Sebelum instalasi tersebut beroperasi maka pemohon/peminta setting **wajib** mengirimkan ke **Unit Induk P3B Sumatera Bidang Transmisi** (email : proteksitrans1.p3bs@gmail.com) hal-hal sebagai berikut:
 - a. Formulir Perhitungan Setting Proteksi yang telah diverifikasi bersama.
 - b. Hasil uji (individu, fungsi dan stability) sesuai perhitungan setting proteksi P3B Sumatera
 - c. File hasil download setting dari relay proteksi sesuai dengan penerapan

UIP3BS Bidang Sistem Transmisi I Sub-Bidang Proteksi

Halaman	Proteksi PHT 150 kV	Dibuat Oleh :	Dievaluasi Oleh:	Disetujui Oleh :	Tanggal :
1 dari 19	PBDAN - LNSGA 1,2	FTH	ARF	LHR	10 JUL 23



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
 FAKULTAS TEKNIK
 PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
 Jl. Kapten Mochtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : Zunaidi
 NPM : 2107220066
 JUDUL : Pemodelan Sistem Proteksi Rele Jarak Dalam Mendeteksi
 Gangguan Saluran Transmisi 150n kV Menggunakan
 Matlab Simulink

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	13 Nov '24	- Perbaiki judul - Latar Belakang	
2.	4 Des '24	- Perbaiki Tujuan Penelitian, - Rumusan Masalah, Batasan Masalah	
3.	20 Des '24	- Tambahkan dan Perbaiki Landasan Teori - Perbaiki tulisan dan rumus pada Bab II.	
4.	29 Des '24	- Tambahkan Teori Pendukung - Tambahkan dan perbaiki rancang Pemodelan . - Tambahkan toon perancangan dan penerapan matlab simulink	
5.	5 Jan '25	- Buat blok diagram rancangan penelitian . - Rancangan metodologi sesuai tujuan Penelitian - Tambahkan diagram Alir Penelitian	



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
 FAKULTAS TEKNIK
 PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
 Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : Zunaidi
 NPM : 2107220066
 JUDUL : Pemodelan Sistem Proteksi Rele Jarak Dalam Mendeteksi Gangguan Saluran Transmisi 150n kV Menggunakan Matlab Simulink

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
6	8 jan '25	Perbaiki : - Rancangan Penelitian - Prosedur Penelitian - Perbaiki Diagram Alir	
7	11 jan '25	- Tambahkan rancangan penelitian sesuai judul penelitian.	
8	13 jan '25	Ace seminar proposal	

Dosen Pembimbing

Dr. Rohana, S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
 FAKULTAS TEKNIK
 PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
 Jl. Kapten Mochtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : Zunaidi
 NPM : 2107220066
 JUDUL : Pemodelan Sistem Proteksi Rele Jarak Dalam Mendeteksi Gangguan Saluran Transmisi 150 kV Menggunakan Matlab Simulink

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	21-06-2025	- Perbaiki dan tambahkan prosedur Penelitian pada bab 3. - perbaiki dan tambahkan blok diagram sistem tenaga pada bab 3 - Kerjakan bab 4 dan 5	
2.	30-06-2025	- Perbaiki bab 4 Sesucutan dengan tahapan penelitian pada bab 3 - Kerjakan tahapan tujuan 2 dan 7 serta perbaiki tahapan tujuan 1.	
3.	22-07-2025	- perbaiki daftar lampiran - Tambahkan lembar pengesahan.	
4.	25-07-2025	- 4.2 tambahkan perancangan. 4.2. 4.3. - disetiap sus-swb bab tambahkan perancangan - Spasi dengan pustaka p1.	
5	28-07-2025	- Perbaiki dan tambahkan bab 4. - Perbaiki dan tambahkan bab 5 dan Daftar Pustaka	



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
 FAKULTAS TEKNIK
 PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
 Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : Zunaidi
 NPM : 2107220066
 JUDUL : Pemodelan Sistem Proteksi Rele Jarak Dalam Mendeteksi Gangguan Saluran Transmisi 150 kV Menggunakan Matlab Simulink

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
	29-07-2025	<ul style="list-style-type: none"> - Perbaiki BAB 4. - Menambahkan sub bab di 2.2 - Menambahkan sub-bab di 2.5. 	
	31-07-2025	Acc seminar hasil	

Dosen Pembimbing

Dr. Rohana, S.T., M.T

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DARI PENULIS

Nama Lengkap : Zunaidi
 Nomor Pokok Mahasiswa : 2107220066
 Tempat Tanggal Lahir : Bagan Asahan Pekan, 23 November 2001
 Alamat : Dusun III Bagan Asahan Pekan
 Agama : Islam
 Jenis Kelamin : Laki-Laki
 No Telp : +62 85669002353
 Email : aldisama706@gmail.com

Orang Tua

Nama Ayah : Jalil Amri
 Agama : Islam
 Nama Ibu : Nellyana
 Agama : Islam
 Alamat : Dusun III Bagan Asahan Pekan

Daftar Riwayat Pendidikan

2008-2014 : SD-Alwashliyah
 2014-2017 : MTs.S YMPI Sei Tualang Raso
 2017-2020 : SMA Negeri 7 Tanjungbalai
 2021-2025 : Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara