

**ANALISIS *SETTING* DAN KOORDINASI ANTARA *DISTANCE*
RELAY PASCA REKONDUKTORING SUTT 150 KV BABAT -
LAMONGAN**

TUGAS AKHIR

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar S1
Pada Program Studi Teknik Elektro
Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun oleh :

**A. ACHMAD YUSRIL TAYEB
30602200096**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN
AGUNG SEMARANG
2025**

***ANALYSIS OF SETTING AND COORDINATION OF DISTANCE
RELAY AFTER RECONDUCTORING OF THE 150 KV BABAT –
LAMONGAN TRANSMISSION LINE***

FINAL PROJECT

***Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at
Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung***



Disusun oleh :

A. ACHMAD YUSRIL TAYEB

30602200096

**DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY UNIVERSITAS
ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS SETTING DAN KOORDINASI ANTARA DISTANCE RELAY PASCA REKONDUKTORING SUTT 150 KV BABAT - LAMONGAN”, ini disusun oleh :

Nama : A. Achmad Yusril Tayeb

NIM : 30602200096

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 20 November 2025

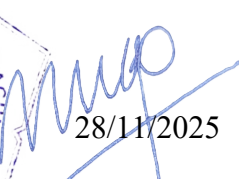
Pembimbing I

Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, M.T.

NIDN. 0619076401

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro


28/11/2025

Munaf Ismail, S.T., M.T.

NIDN. 0613127312

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS SETTING DAN KOORDINASI ANTARA DISTANCE RELAY PASCA REKONDUKTORING SUTT 150 KV BABAT - LAMONGAN”, ini telah dipertahankan didepan dosen penguji Tugas Akhir pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 20 November 2025

TIM PENGUJI

Anggota I



Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.

NIDN. 0618066301

Anggota II



Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, M.T.

NIDN. 0619076401

Ketua Penguji



Dedi Nugroho, S.T., M.T

NIDN. 0617126602

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : A. Achmad Yusril Tayeb

NIM : 30602200096

Fakultas : Teknik Industri

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) **Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang** dengan judul **"ANALISIS SETTING DAN KOORDINASI ANTARA DISTANCE RELAY SUTT 150 KV NGIMBANG – BABAT - LAMONGAN"**, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 20 November 2025

Yang Menyatakan



10000
METERAL
TEMPEL
12ADCANX147631938

A. Achmad Yusril Tayeb

NIM. 30602200096

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : A. Achmad Yusril Tayeb

NIM : 30602200096

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan Judul **“ANALISIS SETTING DAN KOORDINASI ANTARA DISTANCE RELAY PASCA REKONDUKTORING SUTT 150 KV BABAT - LAMONGAN”** dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan atas dan dipublikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan agung.

Semarang, 20 November 2025

Yang menyatakan



A. Achmad Yusril Tayeb

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirobbilalamin segala puja dan puji syukur yang tak terhingga atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah- Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan sekaligus laporan tugas akhir yang berjudul “Analisis *setting* dan koordinasi antara *distance relay* pasca rekonduktoring SUTT 150 kV Babat-Lamongan” dengan sebaik-baiknya. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi besar kita Nabi Muhammad SAW.

Laporan tugas akhir merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa/i untuk meraih gelar sarjana (S1) di program studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas mendapat bantuan dari berbagai pihak. Dengan rasa setulus hati, penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridhonya serta memberikan ketabahan, kesabaran dan kelapangan hati serta pikiran dalam menimba ilmu.
2. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., MH selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Terima kasih kepada Dosen Pembimbing saya Bapak Dr. Ir. Sukarno Budi Utomo M.T. yang telah memberikan bimbingan dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan bantuannya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Kedua orang tua saya tercinta yang telah memberikan dukungan baik materiil maupun non materiil dan tidak pernah berhenti mendo'akan saya disetiap sujudnya.
8. Kepada sahabat seperjuangan saya, yaitu Mahasiswa Teknik Elektro angkatan 2022 yang membantu dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis juga menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, baik dari segi materi maupun penyajiannya. Penulis meminta maaf dan juga membutuhkan kritik maupun saran yang membangun dari berbagai pihak, sehingga kedepan Tugas Akhir ini dapat menjadi lebih baik. Akhirnya penulis berharap, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi para pembaca dan khususnya bagi penulis juga, wallahua'alam bissowab.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh



Semarang, 14 November 2025

A. Achmad Yusril Tayeb

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori.....	6
2.2.1 Sistem Transmisi Tenaga Listrik	6
2.2.2 Konduktor pada Sistem Transmisi	9
2.2.3 Pola Proteksi Saluran Transmisi	10
2.2.4 Infeed Factor	20
2.2.5 ETAP 20.0.0.....	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Model Penelitian.....	22
3.2 Objek Penelitian	22
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	26
3.4 Langkah Penelitian	27

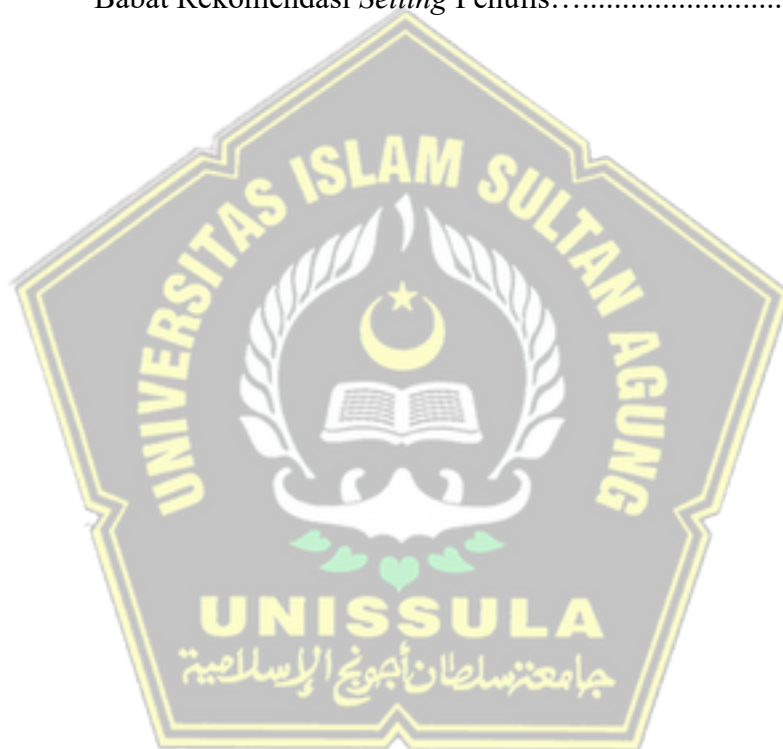
3.5	Proses Pengambilan Data	29
3.5.1	Alat dan Bahan	29
3.5.2	Proses Pengolahan Data	29
3.6	Pelaksanaan Pengambilan Data	31
BAB IV HASIL DAN ANALISIS		32
4.1	Hasil Penelitian	32
4.2	Perhitungan <i>Setting Distance Relay</i>	32
4.3	Perbandingan Nilai <i>Setting</i>	35
4.2	Hasil Simulasi Menggunakan ETAP 20.0.0	36
4.2	Rekomendasi <i>Setting Distance Relay</i>	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	42
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN		44



DAFTAR GAMBAR

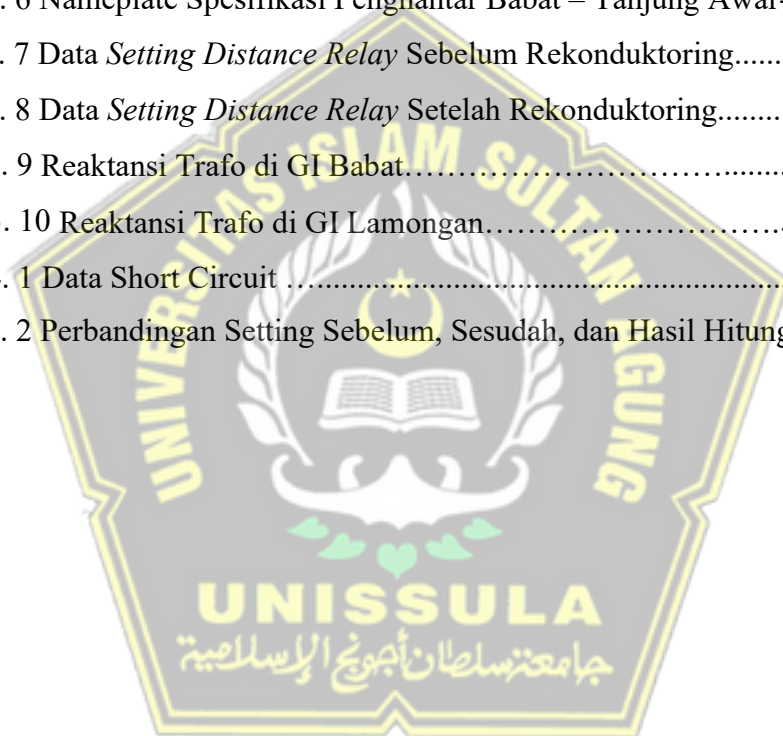
Gambar 2. 1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik	7
Gambar 2. 2 SUTT/SUTET Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi	8
Gambar 2. 3 Skema Pola POTT SKTT (Saluran Kabel Tegangan Tinggi)	9
Gambar 2. 4 Kabel Bawah Laut Jawa-Bali	9
Gambar 2. 5 ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced)	11
Gambar 2. 6 AAAC (All Aluminium Alloy Conductor)	11
Gambar 2. 7 AAC (All Aluminium Conductor)	12
Gambar 2. 8 ACCC (Aluminium Conductor Composite Core)	12
Gambar 2. 9 ACSS (Aluminium Conductor Steel Supported)	13
Gambar 2. 10 Prinsip Kerja Line Current Differential	15
Gambar 2. 11 Skema Pola PUTT	18
Gambar 2. 12 Skema Pola POTT	19
Gambar 2. 13 Skema Blocking	19
Gambar 2. 14 Skema Weak Infeed	20
Gambar 2. 15 Saluran seksi dengan banyak cabang	21
Gambar 2. 16 Jangkauan zona distance relay	22
Gambar 2. 17 Aliran Daya Short Circuit Ketika Terdapat 2 Sumber	23
Gambar 2. 18 Plot Karakteristik Jarak-Resistansi Waktu	24
Gambar 2. 18 Tampilan Pengujian Setting Impedansi StarZ ETAP	24
Gambar 3. 1 SLD Wilayah PT PLN ULTG Babat	25
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 3. 3 Pembuatan Konfigurasi Sistem Tenaga Listrik ETAP 20.0.0	32
Gambar 3. 4 Tampilan Penginputan Spesifikasi Peralatan ETAP 20.0.0	33
Gambar 3. 5 Tampilan Penginputan Setting Distance Relay ETAP 20.0.0	33
Gambar 3. 6 Tampilan fitur StarZ koordinasi <i>Setting</i> ETAP 20.0.0	34
Gambar 4. 1 Koordinasi Setting Distance Relay Ngimbang-Babat Sebelum Rekonduktoring	40
Gambar 4. 2 Koordinasi Setting Distance Relay Babat-Lamongan Sebelum Rekonduktoring	40
Gambar 4. 3 Koordinasi Setting Distance Relay Ngimbang-Babat Setelah Rekonduktoring	40

Gambar 4. 4 Koordinasi Setting Distance Relay Babat-Lamongan Setelah Rekonduktoring	41
Gambar 4. 5 Koordinasi Setting Distance Relay Ngimbang-Babat Hasil Hitung Penulis	41
Gambar 4. 6 Koordinasi Setting Distance Relay Babat-Lamongan Hasil Hitung Penulis	41
Gambar 4. 7 Koordinasi Setting Distance Relay Ngimbang-Babat Rekomendasi Setting Perhitungan Penulis	43
Gambar 4. 8 Single Line Diagram Koordinasi Setting Distance Relay Ngimbang- Babat Rekomendasi <i>Setting</i> Penulis.....	43



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Berdasarkan Tegangan Operasi	10
Tabel 2. 2 Pola Proteksi Penghantar 150 kV SPLN T5.002-2:2021	14
Tabel 3. 1 Nameplate Spesifikasi Penghantar Ngimbang – Babat.....	26
Tabel 3. 2 Nameplate Spesifikasi Penghantar Babat - Lamongan.....	26
Tabel 3. 3 Nameplate Spesifikasi Penghantar Lamongan - Cerme.....	27
Tabel 3. 4 Nameplate Spesifikasi Penghantar Lamongan - Paciran.....	27
Tabel 3. 5 Nameplate Spesifikasi Penghantar Babat – Bojonegoro.....	27
Tabel 3. 6 Nameplate Spesifikasi Penghantar Babat – Tanjung Awar-Awar.....	27
Tabel 3. 7 Data <i>Setting Distance Relay</i> Sebelum Rekonduktoring.....	28
Tabel 3. 8 Data <i>Setting Distance Relay</i> Setelah Rekonduktoring.....	28
Tabel 3. 9 Reaktansi Trafo di GI Babat.....	28
Tabel 3. 10 Reaktansi Trafo di GI Lamongan.....	28
Tabel 4. 1 Data Short Circuit	36
Tabel 4. 2 Perbandingan Setting Sebelum, Sesudah, dan Hasil Hitung Penulis.....	39



ABSTRAK

Saluran transmisi 150 kV Ngimbang–Babat–Lamongan merupakan bagian vital dari sistem kelistrikan Jawa Timur. PT. PLN telah melakukan rekonduktoring pada saluran Babat–Lamongan dan Lamongan–Cerme, yang mengubah parameter impedansi saluran yang dapat mempengaruhi *setting distancen relay* penghantar tersebut maupun Zona 2 (Z2) dan Zona 3 (Z3) *distance relay* sekitarnya seperti Ngimbang-Babat. Perubahan ini berpotensi menyebabkan ketidakakuratan operasi *distance relay* jika *setting* tidak disesuaikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan *setting distance relay* pasca rekonduktoring, membandingkannya dengan setelan sebelumnya dan hasil perhitungan berdasarkan standar IEEE, serta memastikan koordinasi yang selektif antar *relay*. Metodologi yang digunakan membandingkan *setting distance relay* sebelum, sesudah, dan hasil perhitungan setelan tiga zona (Z1, Z2, Z3) berdasarkan data impedansi saluran dan trafo serta mensimulasikan koordinasi menggunakan perangkat lunak ETAP 20.0.0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelan *distance relay* Babat-Lamongan sebelum rekonduktoring sangat berbeda hingga 9,96% dengan pasca rekonduktoring dan hasil hitung sehingga setiap adanya perubahan impedansi sangat penting untuk melakukan *resetting distance relay*. *Setting* Babat-Lamongan pasca rekonduktoring sudah ideal dengan selisih di bawah 5% dibandingkan hasil perhitungan dan tidak terjadi *overlapping*. Sebaliknya, setelan *distance relay* Ngimbang-Babat, dimana Z1 hanya mencakup 72,84% saluran (tidak memenuhi standar IEEE 80%) dan Z2 tidak relevan pasca rekonduktoring karena masih menggunakan parameter lama. Penelitian ini merekomendasikan setelan baru untuk *relay* Ngimbang-Babat, yaitu $Z1 = 4,6128 \Omega$, $Z2 = 6,9192 \Omega$, dan $Z3 = 23,6631 \Omega$, yang telah divalidasi melalui simulasi ETAP untuk memastikan koordinasi yang selektif dan andal.

Kata Kunci : *Distance relay*, Rekonduktoring, Koordinasi *Setting*.

ABSTRACT

The 150 kV Ngimbang–Babat–Lamongan transmission line is a vital part of the East Java power system. PT PLN has carried out reconductoring on the Babat–Lamongan and Lamongan–Cerme lines, which altered the line impedance parameters that can affect the distance relay settings of those lines, as well as the Zone 2 (Z2) and Zone 3 (Z3) distance relays of adjacent lines such as Ngimbang–Babat. These changes may lead to inaccurate distance relay operation if the settings are not properly adjusted. This study aims to analyze the impact of reconductoring on distance relay settings, compare them with previous configurations and IEEE standard-based calculations, and ensure selective relay coordination. The methodology involves comparing the distance relay settings before and after reconductoring with the calculated settings for three zones (Z1, Z2, Z3), based on line and transformer impedance data, and simulating coordination using ETAP 20.0.0 software. The results show that the Babat–Lamongan distance relay settings before reconductoring differed significantly—up to 9.96%—from both the post-reconductoring and calculated settings, indicating the importance of resetting the distance relay whenever impedance changes occur. The post-reconductoring settings for Babat–Lamongan are ideal, with deviations below 5% compared to calculated results and no overlapping detected. Conversely, the Ngimbang–Babat distance relay settings are no longer suitable, as Zone 1 (Z1) only covers 72.84% of the line (below the IEEE 80% standard) and Zone 2 (Z2) remains based on outdated parameters after reconductoring. This study recommends new settings for the Ngimbang–Babat relay: $Z1 = 4.6128 \, \Omega$, $Z2 = 6.9192 \, \Omega$, and $Z3 = 23.6631 \, \Omega$, which have been validated through ETAP simulations to ensure selective and reliable coordination.

Keywords: *Distance relay, Reconductoring, Setting Coordination*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tidak bisa dipungkiri lagi energi Listrik sudah menjadi kebutuhan primer oleh setiap manusia di era sekarang ini, dikarenakan Listrik masih menjadi energi yang paling mudah, efisien, praktis, dan ekonomis untuk disalurkan ke Masyarakat dan industri. Kebutuhan Listrik di Indonesia sendiri dikelola oleh PT. PLN (Persero) Dimana dalam penyalurannya diharapkan andal dan bermutu.

Dalam penyaluran tenaga listrik PT. PLN membagi menjadi 3 proses bisnis yaitu Pembangkitan, Transmisi, dan Distribusi. Saluran Transmisi sendiri sebagai penghubung antara pembangkitan dan distribusi yang mana pada umumnya jarak antara pembangkit (khususnya pembangkit murah) dengan konsumen yang sangat jauh sehingga untuk meminimalisir rugi-rugi daya maka digunakanlah tegangan tinggi

Untuk mencegah kerusakan pada peralatan penyaluran tenaga listrik yang dapat mengganggu keandalan dan meluasnya sistem tenaga Listrik yang dapat menyebabkan inefisiensi ekonomi perusahaan dibutuhkan sistem proteksi untuk meminimalisir risiko-risiko tersebut.

Peralatan relai proteksi dalam menjalankan tugasnya tetap berpotensi mala kerja, baik itu karena anomali pada *device* relai proteksinya ataupun kesalahan dari teknisi dalam mengatur kerja relai proteksi sebagaimana mestinya. Tentunya kedua hal tersebut bisa dihindari dengan metode manajemen perbaikan sistem atau proses bisnis pengadaan/kontrak serta pengawasan dengan produsen ataupun vendor terkait sedangkan untuk metode teknis yaitu dengan mengatur, menguji, mengecek, dan verifikasi relai proteksi sudah bekerja sesuai fungsi, *setting*, dan perhitungan koordinasi yang mendekati ideal. *Setting distance relay* yang diterapkan di lapangan sering kali kurang sesuai dengan *setting* yang ideal bahkan kerugian PT. PLN di bidang transmisi terbesar akibat dari kesalahan penerapan *setting*, di PT. PLN UIT JBM sendiri tahun 2025 terdapat 31 relai proteksi yang perlu *diresetting* dikarenakan kesalahan perhitungan, data, dan saat input *setting* pada *device* relai proteksi. Pada oktober 2024 telah dilakukan *rekonduktoring* pada

saluran penghantar Babat – Lamongan – Cerme dikarenakan beban untuk 1 circuit jika salah satu circuit padam tidak terpenuhi sehingga perlu rekonfigurasi sistem untuk mengakomodir beban-beban tersebut jika dibutuhkan pemadaman atau gangguan pada salah satu circuit. Hal ini dapat merugikan PT. PLN dalam efektifitas penyaluran dan biaya pembelian listrik yang sebelum rekonfigurasi di pembangkit lebih murah. Dampak dari rekonduktoring ini yaitu besar impedansi saluran penghantar tersebut berubah dan berpotensi mempengaruhi setting distance relay penghantar tersebut maupun Z2 dan Z3 penghantar sekitarnya seperti distance relay Ngimbang-Babat oleh karena itu perlu *scanning* untuk mencegah sistem proteksi bekerja tidak sesuai dengan yang diharapkan.

1.2 Perumusan Masalah

Bedasarkan latar belakang yang telah dibuat, maka penulis dapat merumuskan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana hasil *scanning setting distance relay* SUTT 150 kV Ngimbang – Babat – Lamongan pasca rekonduktoring dari ACSR Hawk 1 x 240 mm² menjadi ACCC 2 x 180 mm² pada penghantar Babat – Lamongan ?
- b. Bagaimana koordinasi *setting* antara *distance relay* penghantar SUTT 150 kV Ngimbang – Babat - Lamongan ?

1.3 Pembatasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah :

- a. Pembahasan hanya seputar *distance relay* SUTT 150 kV Ngimbang – Babat - Lamongan
- b. Penelitian ini akan membandingkan *setting distance relay* yang diterapkan dengan hasil perhitungan berdasarkan pedoman IEEE dan mempertimbangkan koordinasi antara relai proteksi agar tidak terjadi *overlapping* serta mengujinya menggunakan *software* ETAP 20.0.0

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

- a. Mengetahui cara prinsip kerja dan menentukan *setting distance relay*

- b. Untuk Menganalisa dan mengoreksi *setting* sebelum dan setelah *rekonduktoring* penghantar Babat - Lamongan
- c. Mengetahui *setting* dan koordinasi yang ideal untuk *distance relay* sebagai proteksi penghantar

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Sebagai langkah pencegahan kegagalan sistem proteksi dalam mengamankan peralatan dari arus gangguan.
- b. Dapat menjadi bahan referensi untuk menentukan *setting* relai proteksi penghantar dan penelitian lainnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Memberikan gambaran secara garis besar, dalam hal ini dijelaskan isi dari masing–masing bab dari laporan ini. Sistematika penulisan dalam pembuatan laporan ini adalah sebagai berikut :

BAB I

PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan penelitian, manfaat dan tujuan penelitian, keaslian penelitian, sistematis penulisan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA & DASAR TEORI

Berisi tentang materi hasil – hasil penelitian sesuai topik yang dibuat dengan mengadaptasi laporan – laporan, report jurnal, proseding, makalah atau referensi lain. Serta menuliskan kelebihan serta kekurangan di masing – masingnya.

BAB III

METODE PENELITIAN

Berisi tentang model penelitian, alat bahan yang digunakan bisa menggunakan software/hardware sebagai media pendukung, memberikan prosedur penelitian, melakukan simulasi atau eksperimen serta mendapatkan hasil dari suatu penelitian yang dilakukan.

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

BAB V

PENUTUP

Bab yang mendeskripsikan penyelesaian Tugas Akhir, dapat dibuat pertimbangan dan rekomendasi berdasarkan temuan data penelitian dan analisis yang dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sebelum memulai penelitian, diperlukan studi literatur yang bertujuan untuk menemukan referensi dari berbagai sumber yang relevan dengan topik penelitian. Referensi tersebut dapat berupa buku, jurnal, makalah atau berita yang berhubungan dengan penelitian ini.

Dalam penelitian ini, peneliti merangkum beberapa referensi yang pertama adalah “Analisis *Setting* dan Koordinasi Relai Jarak Saluran 150 kV Ungaran-Krapyak-Srondol” Dalam penelitian tersebut membandingkan *setting* eksisting dengan perhitungan dengan standar NPAG Alstom. Selain itu *setting* relai jarak eksisting dan perhitungan disimulasikan menggunakan *software* DigSILENT. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *setting* relai jarak saluran 150 kV Ungaran-Krapyak-Srondol belum sesuai standar. Jangkauan zona 1 relai jarak Srondol – Krapyak sebesar 80,14% dan relai jarak Ungaran – Krapyak sebesar 83,25%, sedangkan berdasarkan standar seharusnya jangkauan zona 1 relai sebesar 85% dari saluran. Setelah dilakukan perhitungan ulang *setting* relai, jangkauan zona 1 relai jarak Srondol – Krapyak dan relai jarak Ungaran – Krapyak menjadi 85%, sehingga relai bekerja sesuai dengan standar yang dijadikan referensi [3].

Penelitian kedua berjudul “Koordinasi *Setting* Relai Jarak Pada Transmisi 150 kV PLTU 2 SULUT 2 x 25 MW” penelitian ini bertujuan meninjau Kembali *setting* dan koordinasi relai proteksi di sistem minahasa disebabkan penambahan daya Listrik dengan dibangunnya beberapa pembangkit salah satunya PLTU 2 SULUT agar sistem penyaluran Sistem Tenaga Listrik tetap stabil dan andal. Saluran transmisi yang terhubung dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 2 SULUT adalah GI Lopana, kemudian dari GI Lopana terdapat beberapa cabang yaitu GI Kawangkoan dan *Gas Insulated Substation* (GIS) Teling. Untuk mencegah terjadinya tumpang tindih (*Overlapping*) antara zona proteksi maka *setting* relai proteksi perlu dikoordinasikan dengan zona proteksi relai jarak yang lain. Dari hasil perbandingan *setting* eksisting di lapangan dengan hasil perhitungan *setting* relai jarak untuk *zone* 1 dan *zone* 2 sudah sesuai dengan aktual *setting* di lapangan

sedangkan pada *zone* 3 terdapat sedikit selisih antara aktual dengan hasil perhitungan [4].

Penelitian ketiga berjudul “Penerapan Skema POTT Echo dengan *Weak Infeed* Untuk *Distance relay* Dalam Meningkatkan Keandalan *Autoreclose* Pada GI Radial Ujung Di ULTG Pangkalan Bun” penelitian ini dilatar belakangi oleh kegagalan proteksi akibat fenomena *weak infeed*, fenomena ini biasa terjadi di GI yang letaknya jauh dari sumber atau di ujung Sistem Tenaga Listrik dikarenakan arus gangguan yang terlalu kecil sehingga relai tidak dapat mendeteksi arus gangguan menyebabkan relai diseberang trip serta kegagalan *autoreclose*. Untuk mengatasi hal tersebut dilakukan perubahan skema proteksi dari *Permissive Underreach Trasfer Trip* (PUTT) menjadi *Permissive Overreach Trasfer Trip* (POTT) serta mengaktifkan fungsi *Weak-End Infeed* (WEI) pada relai ABB RED670. Dengan ini relai masih dapat merespon gangguan dengan menggunakan sinyal echo dari status CB relai proteksi GI Seberang [5].

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Transmisi Tenaga Listrik

Sistem transmisi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit menuju pusat beban melalui jaringan tegangan tinggi. Sistem ini dirancang agar energi dapat ditransfer secara efisien, stabil, dengan rugi-rugi minimum, serta memenuhi standar keandalan dan keselamatan.

Sistem transmisi adalah jaringan penghantar energi listrik yang beroperasi pada tegangan tinggi hingga ekstra tinggi (70 kV–500 kV atau lebih), digunakan untuk mentransfer daya dalam jumlah besar pada jarak menengah hingga jauh. Tegangan tinggi digunakan untuk mengurangi rugi-rugi daya (power losses) serta meningkatkan efisiensi transfer daya melalui prinsip bahwa arus berbanding terbalik dengan tegangan untuk daya yang sama.



Gambar 2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

a. Fungsi Sistem Transmisi

Secara umum sistem transmisi memiliki fungsi sebagai berikut:

1. Mentransfer daya dari pembangkit ke pusat beban sehingga energi listrik dapat mencapai daerah konsumsi.
2. Menjaga kestabilan sistem melalui jalur alternatif (redundansi) dan kemampuan membawa daya dalam kondisi kontingensi.
3. Mengurangi rugi-rugi daya melalui penggunaan level tegangan tinggi untuk menurunkan arus.
4. Menghubungkan area-area sistem tenaga sehingga mendukung operasi interkoneksi antar wilayah (misalnya Jawa–Bali, Sumatera).

b. Jenis-Jenis Sistem Transmisi Berdasarkan Media

1. Sistem Transmisi Overhead (Overhead Transmission Line)

Merupakan sistem transmisi yang menggunakan tower dan konduktor telanjang yang berada di udara bebas.



Gambar 2.2 SUTT/SUTET Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi

Karakteristik:

- Umumnya digunakan pada tegangan 70–500 kV.
- Biaya konstruksi relatif murah.
- Mudah dalam pemeliharaan.
- Rentan terhadap gangguan cuaca (petir, angin, pohon tumbang).

Komponen utama:

- Tower transmisi
- Konduktor
- Isolator
- Shield wire / OPGW
- Pondasi

2. Sistem Kabel Tanah (Underground Transmission Cable)

Menggunakan kabel isolasi khusus yang ditanam di bawah tanah.

Karakteristik:



Gambar 2.3 SKTT (Saluran Kabel Tegangan Tinggi)

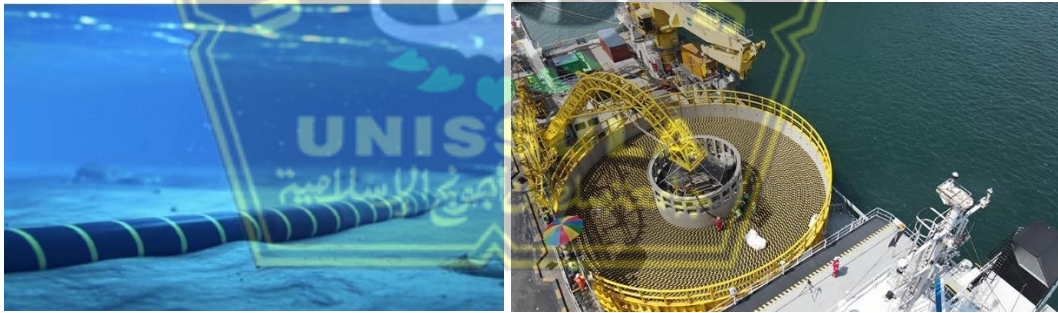
- Higienis secara estetika.
- Minim gangguan cuaca.
- Biaya sangat mahal.
- Pemeliharaan dan pencarian gangguan sulit.

Digunakan pada area perkotaan, bandara, area padat bangunan, dan kawasan komersial.

3. Sistem Kabel Laut (Submarine Cable)

Menggunakan kabel khusus untuk menyalurkan tenaga listrik di bawah laut.

Karakteristik:



Gambar 2.4 Kabel Bawah Laut Jawa-Bali

- Digunakan untuk menghubungkan pulau atau menyeberangi selat.
- Sangat mahal dan sulit diperbaiki.
- Perlu proteksi mekanik tambahan (armoring).

d. Sistem Transmisi Berdasarkan Jumlah Fasanya

1. Sistem Satu Fasa

Digunakan untuk aplikasi daya kecil atau sistem khusus seperti kereta listrik (traction system).

2. Sistem Tiga Fasa

Digunakan secara umum pada sistem transmisi karena:

mampu menyalurkan daya besar, arus lebih kecil untuk daya yang sama, lebih stabil secara sistem, memungkinkan penggunaan mesin listrik tiga fasa yang lebih efisien.

e. Klasifikasi Saluran Transmisi Berdasarkan Panjang

1. Saluran Pendek (Short Line)

Panjang: < 80 km

Karakteristik: efek kapasitansi diabaikan.

2. Saluran Menengah (Medium Line)

Panjang: 80–240 km

Karakteristik: efek kapasitansi diperhitungkan dengan model π atau model T.

3. Saluran Panjang (Long Line)

Panjang: > 240 km

Karakteristik: parameter saluran dianggap terdistribusi secara kontinu.

Tabel 2.1 Klasifikasi Berdasarkan Tegangan Operasi

Kategori Tegangan	Rentang Tegangan	Aplikasi
HV (High Voltage)	70–150 kV	Jaringan transmisi regional
EHV (Extra High Voltage)	220–500 kV	Transmisi jarak jauh / backbone
UHV (Ultra High Voltage)	> 500 kV	Transmisi daya ekstra besar

2.2.2 Konduktor pada Sistem Transmisi

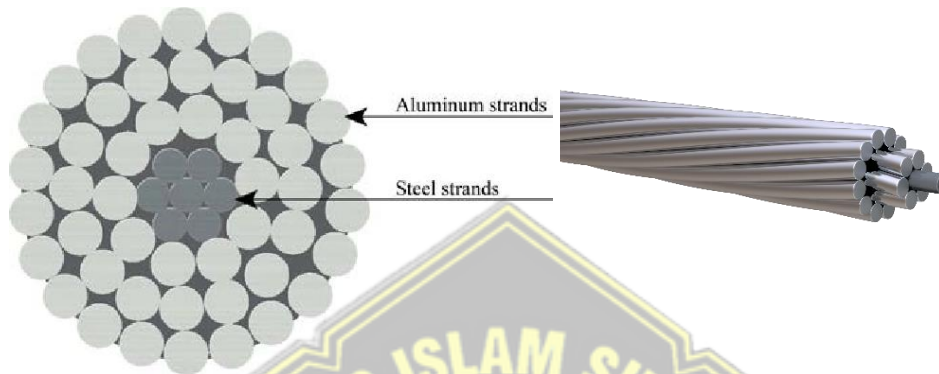
Konduktor merupakan penghantar listrik yang berfungsi menyalurkan daya dari pusat pembangkit menuju pusat beban. Pemilihan jenis dan ukuran konduktor dipengaruhi oleh faktor listrik, mekanis, ekonomi, dan lingkungan. Dalam sistem transmisi, konduktor harus memiliki resistansi rendah, kekuatan tarik tinggi, serta mampu beroperasi pada suhu tertentu tanpa melebihi batas sag.

1. Jenis-Jenis Konduktor

Berikut adalah jenis-jenis konduktor yang umum digunakan dalam jaringan transmisi tenaga listrik.

A. ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced)

ACSR terdiri dari beberapa lapisan aluminium yang melilit inti baja. Aluminium menawarkan konduktivitas tinggi, sedangkan baja memberikan kekuatan tarik.



Gambar 2.5 ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced)

Karakteristik:

- Kekuatan tarik tinggi karena inti baja.
- Cenderung digunakan pada saluran transmisi 70–500 kV.
- Harga relatif ekonomis.
- Rentan mengalami sag besar pada arus tinggi.

Contoh ukuran: Zebra, Rail, Moose, Drake.

B. AAAC (All Aluminium Alloy Conductor)

Konduktor berbahan paduan aluminium (Al-Mg-Si) tanpa inti baja.



Gambar 2.6 AAAC (All Aluminium Alloy Conductor)

Karakteristik:

- Konduktivitas lebih baik daripada ACSR.
- Tahan korosi tinggi.
- Digunakan pada wilayah pesisir atau industri kimia.

C. AAC (All Aluminium Conductor)

Konduktor aluminium murni yang banyak digunakan pada jaringan distribusi.



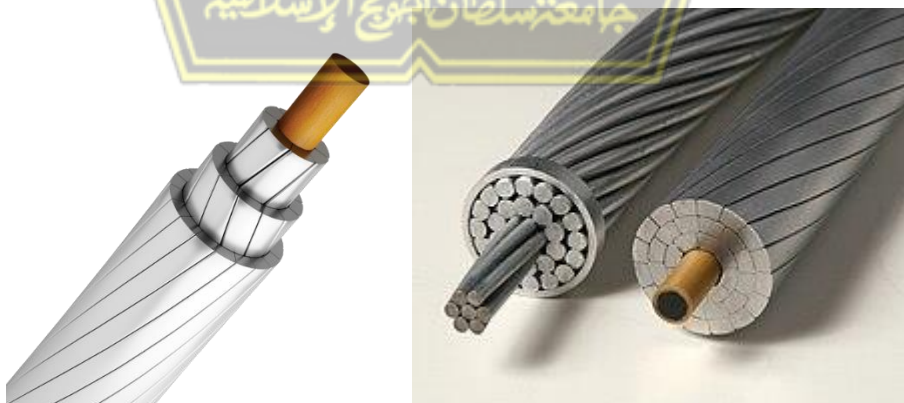
Gambar 2.7 AAC (All Aluminium Conductor)

Karakteristik:

- Konduktivitas tertinggi.
- Tidak cocok untuk bentang panjang karena kekuatan mekanis rendah.

D. ACCC (Aluminium Conductor Composite Core)

Konduktor berinti komposit karbon-glass berperformansi tinggi.



Gambar 2.8 ACCC (Aluminium Conductor Composite Core)

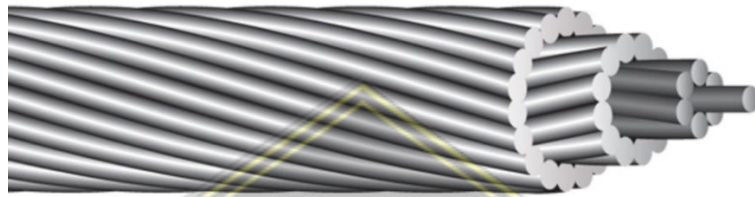
Karakteristik:

- Sag sangat kecil (low sag).

- Ampacity bisa $2\times$ lebih besar dari ACSR.
- Cocok untuk rekonduktoring tanpa mengganti struktur tower.
- Harga paling mahal.

E. ACSS (Aluminium Conductor Steel Supported)

Mirip ACSR, tetapi aluminium annealed sehingga dapat beroperasi pada suhu lebih tinggi (hingga 250°C).



Gambar 2.9 ACSS (Aluminium Conductor Steel Supported)

Karakteristik:

- Kekuatan mekanis ditopang penuh oleh baja.
- Kapasitas arus tinggi.
- Cocok untuk uprating jalur eksisting.

2.2.3 Pola Proteksi Saluran Transmisi

Pola proteksi saluran transmisi ditentukan berdasarkan SIR saluran transmisi dan sistem pembumian yang digunakan. Waktu maksimum pembebasan gangguan proteksi utama sistem tegangan tinggi 150 kV sebesar 120 milidetik. Apabila terjadi kegagalan proteksi utama maka waktu pembebasan gangguan untuk proteksi cadangan jauh pada semua level tegangan ditentukan sebesar waktu kerja zona 2. Waktu tunda relai untuk proteksi cadangan jauh ditentukan berdasarkan kebutuhan sistem dan konfigurasi jaringan antara 300-800 milidetik. [5]

suatu peralatan karena berbagai faktor dapat mengalami kegagalan operasi (gagal operasi). Berdasarkan hal-hal tersebut maka sistem proteksi utama saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV Sistem proteksi harus dilengkapi dengan proteksi cadangan. Fungsi proteksi utama harus terpisah secara hardware dengan fungsi proteksi Cadangan lokal mulai dari pasokan DC sampai dengan tripping coil PMT

tetapi fungsi pendukung lainnya boleh merupakan satu kesatuan hardware (misalnya *autorecloser*, *recorder* dan lainnya). Skema proteksi minimum pada saluran 150 kV sesuai Tabel 1.

Tabel 2.2 Pola Proteksi Penghantar 150 kV SPLN T5.002-2:2021

Saluran yang diproteksi	Skema Proteksi	Saluran Telekomunikasi	
		LCD	Z+DEF
Saluran pendek (SIR>4) dan saluran kabel	Proteksi utama LCD + Teleproteksi DEF + Z Teleproteksi DEF dan Z (zona 1 dan teleproteksi Z) aktif jika LCD communication fail Proteksi cadangan Z remote back up (zona 2 dan zona 3) + OCR + GFR	Core FO	FO via MUX
Saluran sedang (0,5<SIR<4) Dan saluran Panjang (SIR<0,5)	Alternatif I Proteksi utama LCD + Teleproteksi DEF + Z Teleproteksi DEF dan Z (zona 1 dan teleproteksi Z) aktif jika LCD communication fail Proteksi cadangan Z remote back up (zona 2 dan zona 3) + OCR + GFR Alternatif II (*) Proteksi utama Z (zona 1 dan teleproteksi Z) + Teleproteksi DEF Proteksi cadangan Z remote back up (zona 2 dan zona 3) + OCR + GFR	Core FO	FO via MUX FO via MUX atau PLC

2.2.3.1 Line Current Differential

Prinsip kerja Relai diferensial arus penghantar adalah membandingkan besaran vektor arus di kedua ujung penghantar melalui saluran telekomunikasi. Dalam kondisi normal atau gangguan eksternal (I_{f2}) penjumlahan nilai arus yang dirasakan relai A (I_A) dan Relai B (I_B) adalah nol, sedangkan pada saat kondisi gangguan internal (I_{f1}) maka penjumlahan vektor arus tersebut tidak sama dengan nol. Relai ini sangat tergantung dengan saluran komunikasi.

Kebutuhan saluran komunikasi diutamakan menggunakan media direct fiber optic dengan toleransi waktu komunikasi antar relai maksimum 10 ms, routing link komunikasi saling berhadapan seperti halnya konsep teleproteksi, dengan menggunakan unique address.

Apabila saluran komunikasi menggunakan multiplexer harus dilengkapi dengan fitur disturbance detector pada relai untuk menghindari malakerja trip akibat permasalahan komunikasi asimetri pada kondisi beban normal.

Contoh skema diagram relai diferensial arus penghantar seperti Gambar 2.1



Gambar 2.10 Prinsip Kerja Line Current Differential

(Sumber : SPLN T5.002-2:2021 Pola Proteksi Saluran Transmisi)

2.2.3.2 Relai Arus Lebih (Over Current Relay)

Prinsip kerja relai arus lebih adalah berdasarkan pengukuran arus, yaitu relai akan bekerja apabila merasakan arus di atas nilai setting-nya. Relai arus lebih diatur lebih besar dari kemampuan arus nominal peralatan yang terkecil (110 – 120% dari

nominal), namun harus dipastikan bahwa setting arus relai masih tetap bekerja pada arus hubung singkat 2 fase minimum. Waktu kerja relai arus lebih penghantar diset ± 1 (satu) detik pada arus hubung singkat 2 fase maksimum di lokal bus.

Relai ini digunakan untuk mendeteksi gangguan fase-fase, mempunyai karakteristik inverse (waktu kerja relai akan semakin cepat apabila arus gangguan yang dirasakannya semakin besar) atau definite (waktu kerja tetap untuk setiap besaran gangguan). Selain itu pada relai arus lebih tersedia fungsi high set yang bekerja seketika (moment atau instantaneous).

Karakteristik standard inverse (SI) mengacu kepada standar IEC. Relai ini digunakan sebagai proteksi cadangan karena tidak dapat menentukan titik gangguan secara tepat apabila proteksi utama gagal kerja.

Agar dapat dikoordinasikan dengan baik terhadap relai arus lebih di sisi yang lain (bukan relai arus lebih yang terpasang di penghantar), maka karakteristik untuk proteksi penghantar yang dipilih adalah kurva yang sama yaitu standard inverse (IEC). Untuk selektivitas dengan proteksi utama fungsi high set tidak diaktifkan.

Sehubungan dengan kondisi pengoperasian sirkit ganda yang bebannya saat beroperasi masing – masing $\geq 60\%$ maka perlu dipertimbangkan penggunaan fungsi proteksi overload atau beban lebih.

2.2.3.3 Relai Arus Gangguan Fase ke Bumi (Ground Fault Relay)

Prinsip kerja relai arus gangguan fase ke bumi adalah seperti pada relai arus lebih, hanya saja relai ini digunakan untuk memproteksi gangguan fase ke bumi. Untuk selektivitas dengan proteksi utama fungsi high set tidak diaktifkan.

Untuk sistem pembumian langsung, relai GFR diset 10 – 30% dari kemampuan arus

nominal peralatan yang terkecil, namun harus dipastikan bahwa setting arus relai masih tetap bekerja pada arus hubung singkat 1 fase-bumi minimum.

Untuk sistem pembumian dengan resistansi, relai GFR diset 10 – 30% dari arus hubung singkat gangguan fase ke bumi maksimum, namun harus dipastikan bahwa setting arus relai masih aman terhadap arus beban tidak seimbang.

Waktu kerja relai arus gangguan fase ke bumi penghantar diatur ± 1 (satu) detik pada arus hubung singkat 1 fase ke bumi maksimum di lokal bus.

Relai arus gangguan fase ke bumi menggunakan kurva yang sama pada setiap bay penghantar yaitu standard inverse (IEC).

2.2.3.4 *Distance relay* (Relai Jarak)

Relai penghantar yang prinsip kerjanya berdasarkan pengukuran impedansi penghantar. Impedansi penghantar yang terukur oleh relai adalah hasil bagi tegangan dengan arus dari sebuah sirkit. Relai ini mempunyai ketergantungan terhadap besarnya SIR dan keterbatasan sensitivitas untuk gangguan satu fase ke bumi. Relai ini mempunyai beberapa karakteristik seperti *mho*, *quadrilateral*, *reaktans*, *adaptive mho*, dll. Sebagai unit proteksi relai ini dilengkapi dengan pola teleproteksi seperti seperti PUTT, POTT dan *blocking*. Jika tidak terdapat teleproteksi maka relai ini berupa *step distance* saja. Relai jarak sebagai proteksi utama mempunyai fungsi lain yaitu sebagai proteksi Cadangan jauh (*remote back up*) untuk penghantar di depan maupun belakangnya (zona 2, zona 3, zona 3 *reverse*). [5]

Prinsip kerja relai jarak yaitu pengukuran impedansi penghantar. Relai dapat mengukur impedansi penghantar dengan menggunakan input tegangan dan arus sistem tenaga listrik sesuai dengan hukum ohm dimana tahanan (R) disini diganti oleh Impedansi (Z) karena juga mempertimbangkan reaktansi. Sehingga perhitungan impedansi gangguan menggunakan persamaan berikut :

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \quad (2.1)$$

Dimana,

Z_f : Impedansi gangguan (Ohm)

V_f : Tegangan gangguan (Volt)

I_f : Arus gangguan (Ampere)

Syarat bekerjanya relai jarak yaitu impedansi gangguan harus lebih kecil daripada impedansi *setting* relai. Karena relai ini punya beberapa keterbatasan maka ditambahkan beberapa fitur untuk menyempurnakannya. Berikut beberapa fiturnya.

1. Pola Basic

Pola *basic* pada relai jarak merupakan pola kerja relai jarak yang bekerja *instant* pada area *setting zone-1*, bekerja dengan backup time untuk *zone-2* dan *zone-3* tanpa dilengkapi fasilitas teleproteksi (*sending receive* sinyal pada saat relai mendeteksi adanya gangguan)

2. Pola Teleproteksi

Pada dasarnya relai jarak memberikan *tripping* seketika untuk gangguan pada kawasan *zone-1*, yang mencakup sekitar 80 % dari panjang saluran. Sedangkan untuk gangguan di luar daerah *zone-1* relay akan trip dengan waktu tunda. Untuk kehandalan sistem diperlukan fasilitas teleproteksi agar gangguan sepanjang saluran dapat ditripkan dengan seketika pada kedua sisi ujung saluran. Pola ini dapat digambarkan sebagai berikut :

a. Pola PUTT (*Permissive Underreach Transfer Trip*)

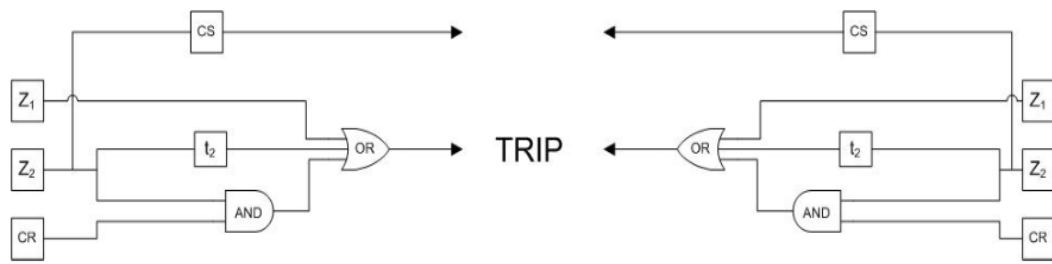
Pada saat relai mendeteksi gangguan *zone 1* maka relai akan mengirim sinyal *carrier* kepada relai GI lawan sehingga relai GI lawan akan trip instan (waktu *zone 1*) jika merasakan gangguan *zone 1* atau merasakan gangguan *zone 2* dan menerima sinyal *carrier* tersebut. Berikut merupakan diagram logika skema PUTT



Gambar 2.11 Skema Pola PUTT
(Sumber : SPLN T5.002-2:2021 Pola Proteksi Saluran Transmisi)

b. Pola POTT (*Permissive Overreach Transfer Trip*)

Pada saat relai mendeteksi gangguan *zone 2* maka relai akan mengirim sinyal *carrier* kepada relai GI lawan sehingga relai GI lawan akan trip instan (waktu *zone 1*) jika merasakan gangguan *zone 1* atau merasakan gangguan *zone 2* dan menerima sinyal *carrier* tersebut. Berikut merupakan diagram logika skema POTT



Gambar 2.12 Skema Pola POTT

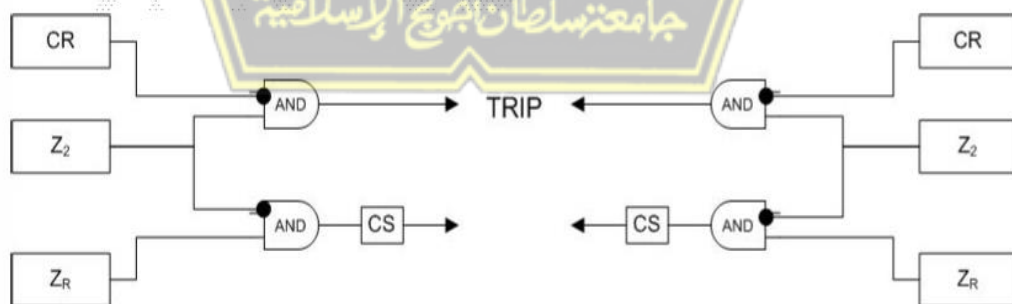
(Sumber : SPLN T5.002-2:2021 Pola Proteksi Saluran Transmisi)

c. Skema *Blocking*

Pola teleproteksi *blocking* bekerja dengan skema sebagai berikut:

- ❖ Jika relai A merasakan gangguan di zona 2 dan relai B mendeteksi gangguan tersebut pada zona 3 *reverse*, maka relai B akan mengirim sinyal *blocking* ke relai A sehingga relai A tidak trip seketika tetapi trip dengan waktu tunda t_2 (waktu zona 2).
- ❖ Trip seketika akan terjadi untuk dua kondisi berikut:
 - i. Gangguan pada zona 1.
 - ii. Gangguan pada zona 2 dan tidak menerima sinyal *blocking*.

Pengiriman sinyal *blocking* (agar relai tidak bekerja) dilakukan oleh zona arah belakang (*reverse*), seperti pada Gambar 14. Apabila terjadi kegagalan sinyal *blocking*, dapat menyebabkan **malakerja proteksi** penghantar sehat trip seketika jika terjadi gangguan pada ruas penghantar segmen berikutnya.

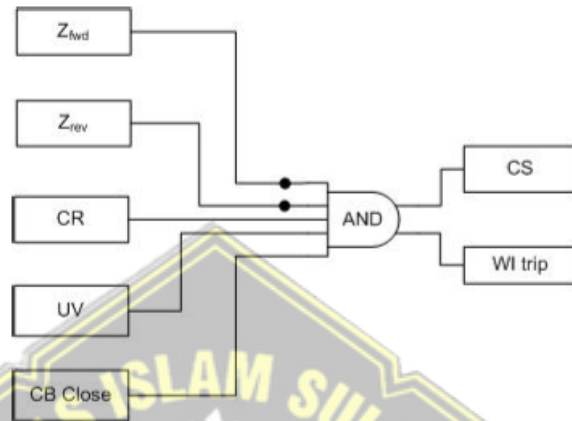


Gambar 2.13 Skema *Blocking*

(Sumber : SPLN T5.002-2:2021 Pola Proteksi Saluran Transmisi)

d. Skema *Week-Infeed*

Pola *week-infeed* diperlukan pada GI-GI yang mendapatkan pasokan sumber yang lemah, diaktifkan pada GI-GI ujung dari jaringan radial. *Week-infeed* diaktifkan dengan melihat tegangan rendah. Skema *week-infeed* seperti pada gambar 2.4



Gambar 2.14 Skema *Week Infeed*
(Sumber : SPLN T5.002-2:2021 Pola Proteksi Saluran Transmisi)

3. Zona Proteksi

Untuk penentuan zona kerja relai jarak sebagai berikut

Zone 1

Zone 1 adalah daerah proteksi relai 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 data konstanta saluran, CT,

PT dan peralatan-peralatan lainnya sebesar 20 %, maka *zone-1* relai diset 80 % dari panjang saluran yang diamankan.

$$Z1 = 0.8 \times ZL1 \quad (2.2)$$

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

Zone 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 *zone 1* sekitar 20 %, maka didapat penyetingan minimum dan maksimum untuk *zone-2* sebagai berikut:

$$Z2 \text{ min} = 1.2 ZL1 \quad (2.3)$$

$$Z2 \text{ max} = 0.8 (ZL1 + (0.8ZL2) K) \quad (2.4)$$

$$Z2TR = 0.8 (ZL1 + kXt) \quad (2.5)$$

Keterangan :

ZL1 = impedansi saluran yang diamankan

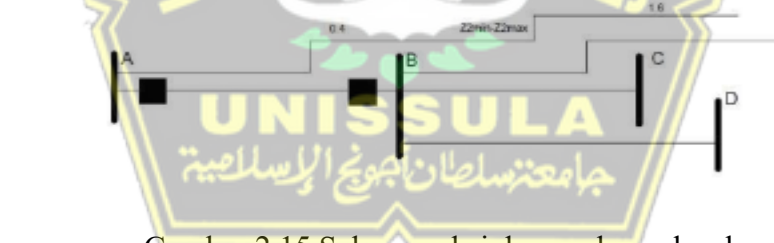
ZL2 = impedansi saluran berikutnya yang terpendek (dalam Ω)

Xt = Reaktansi Trafo pada GI Berikutnya

k = koefisien proteksi sekunder transformator (0.5)

K = *infeed factor* (K = 1 s.d 2)

Jika pada saluran seksi berikutnya terdapat beberapa cabang, untuk mendapatkan selektifitas yang baik maka seting $Z2_{max}$ diambil dengan nilai impedansi penghantar (Ohm) yang terkecil seperti terlihat pada contoh dibawah ini,



Gambar 2.15 Saluran seksi dengan banyak cabang

Untuk keadaan $Z2_{max}$ lebih besar daripada $Z2_{min}$ maka *time delay* kerja *zone 2* (t_{z2}) adalah = 0,4 detik sehinggalah sebaliknya daerah yang diamankan lebih panjang dari daerah saluran selanjutnya maka $Z2_{max}$ akan lebih kecil daripada $Z2_{min}$ maka supaya daerah kerja tidak tumpang tindih maka *time delay zone 2* (t_{z2}) di *setting* 0,8 detik. Apabila terdapat transformator daya pada gardu induk didepannya maka jangkauan *zone 2* tidak boleh melebihi impedansi transformator ZTR persamaan 8.5

Zone 3

Syarat penentuan *zone 3* yaitu :

1. Jangkauan *zone 3* harus mencakup busbar 2 GI didepan yang terjauh (*far end bus*)
2. *Zone 3* harus juga berfungsi sebagai relai cadangan jauh (*back-up*) *zone 2* di daerah pengamanannya dan saluran didepan gardu induknya.
3. *Setting zone 3* tidak boleh *overlap* dengan setelan *Z3 distance relay* di saluran gardu induk depannya
4. Nilai *Setting zone 3* harus lebih kecil dari 50% impedansi Trafo di GI depannya

Berikut merupakan persamaan untuk menghitung *setting Z3*

$$Z3 \text{ min} = 1.2(ZL1 + K \times ZL3) \quad (2.6)$$

$$Z3 \text{ max 1} = 0.8(ZL1 + ((1.2 \times ZL3)K)) \quad (2.7)$$

$$Z3 \text{ max 2} = 0.8(ZL1 + (0.8*((ZL3 + 0.8 \times ZL4 \times K))) \quad (2.8)$$

$$ZTR = 0.8 (ZL1 + (0.8 \times X_t)) \quad (2.9)$$

Keterangan,

ZL1 : impedansi saluran yang diamankan

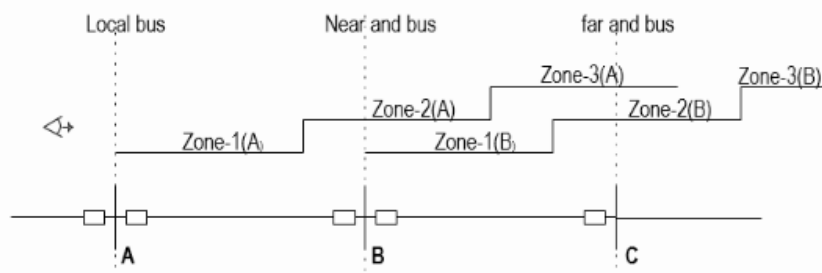
ZL3 : impedansi saluran saluran berikutnya yang terpanjang (dalam Ω)

ZL 4 : impedansi saluran dari *far end bus* yang terpendek (dalam Ω)

K : *infeed factor* jika terdapat pembangkit di busbar GI di depannya (K = 1 s.d 2)

Zone 3 dipilih yang terbesar dari *Z3 min*, *Z3 max 1* dan *Z3 max 2* namun tidak melebihi nilai *ZTR*. Pemilihan *time delay* (*Zt3*) 1.6 detik agar melebihi waktu *pole discrepancy* (47T) 1.5 detik dan *DEF backup*.

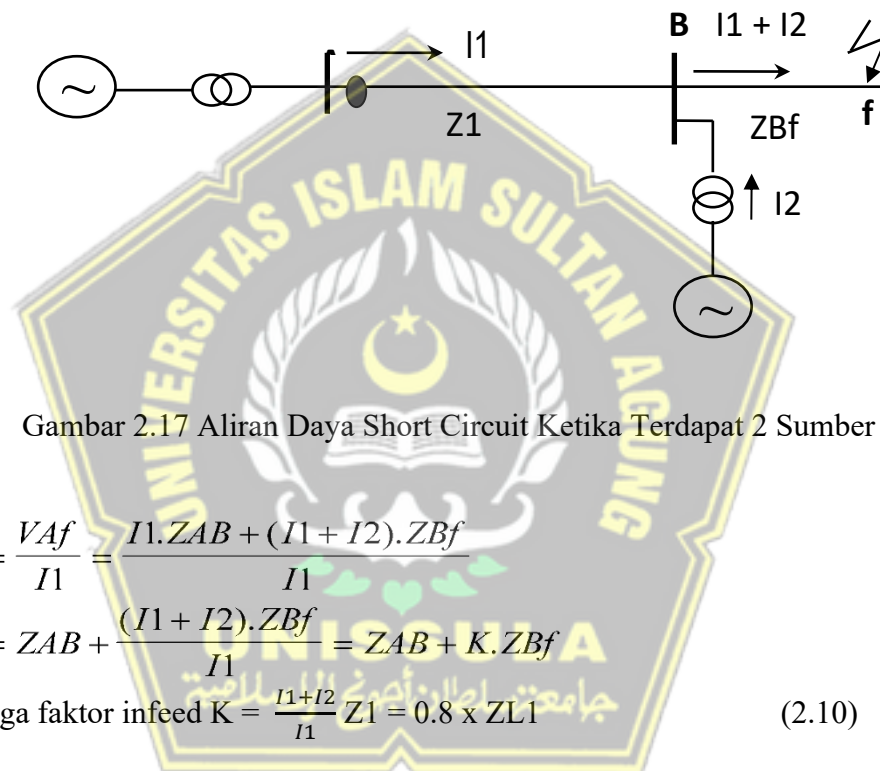
Zone 3 memiliki *setting* waktu 1.6 detik dan jika saluran yang diamankan adalah penghantar radial, maka seting *zone 3* diharapkan tidak melebihi 80% impedansi transformator didepannya.



Gambar 2.16 Jangkauan zona *distance relay*

2.2.4 Infeed Factor

Faktor Infeed dalam relai distance adalah fenomena yang mempengaruhi akurasi pengukuran impedansi gangguan oleh relai, khususnya pada pengukuran zona 2 dan zona 3. Faktor ini terjadi karena adanya arus gangguan tambahan yang berasal dari sumber lain selain dari sisi tempat relai berada, yang “menginfeed” ke titik gangguan. Hal ini membuat relai mengukur impedansi yang lebih kecil dari seharusnya, dan dapat menyebabkan mal-trip atau overreach (jangkauan lebih jauh dari setelan sebenarnya).



Gambar 2.17 Aliran Daya Short Circuit Ketika Terdapat 2 Sumber

$$V_{Af} = \frac{V_{Af}}{I_1} = \frac{I_1 \cdot Z_{AB} + (I_1 + I_2) \cdot Z_{Bf}}{I_1}$$

$$V_{Af} = Z_{AB} + \frac{(I_1 + I_2) \cdot Z_{Bf}}{I_1} = Z_{AB} + K \cdot Z_{Bf}$$

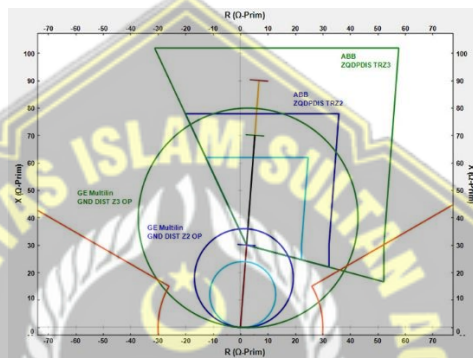
Sehingga faktor infeed $K = \frac{I_1 + I_2}{I_1} Z_1 = 0.8 \times Z_{L1}$ (2.10)

2.2.3 ETAP 20.0.0

Perangkat lunak proteksi & koordinasi sistem transmisi dan distribusi StarZ™ memberikan wawasan tentang proteksi jaringan, kinerja & evaluasi relai proteksi, pemecahan masalah trip palsu, dan pengoperasian perangkat proteksi di seluruh sistem.

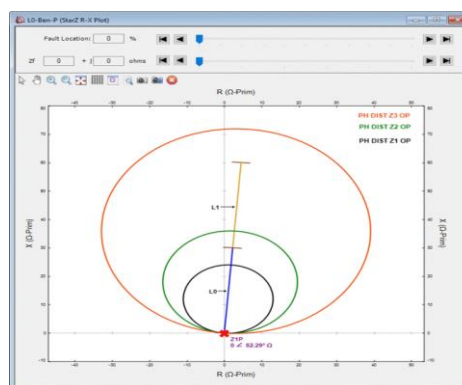
- Mengevaluasi & Memverifikasi Perlindungan & Koordinasi
- Mengurangi Kesalahan Manusia dalam Pengaturan Relai & Logika
- Simulasikan Pengaturan & Fungsi Perlindungan Spesifik Model

- Menawarkan Jarak, Arus Lebih, Arah, Diferensial, Pelanggaran Beban dan fungsi lainnya
- Analisis Aliran Daya & Kesalahan Tingkat Lanjut untuk Jaringan Tidak Seimbang
- Dapat Menggunakan Data Operasional Real-Time untuk Evaluasi Sistem
- Animasi Urutan Pengoperasian Alat Pelindung Secara Virtual
- Pustaka relai komprehensif termasuk fungsi berbasis impedansi
- Plot status waktu
- Plot Karakteristik Jarak Waktu (TDC)
- Plot Karakteristik Jarak-Resistansi Waktu (TDRC)



Gambar 2.18 Tampilan Karakteristik dan Kordinasi Setting Relai Jarak pada ETAP

Karena pemodelan relai jarak jauh yang akurat & realistis mensimulasikan dan mengevaluasi pengaturan dan fungsi proteksi khusus model yang mirip dengan relai yang sebenarnya. Ini berarti bahwa dalam ETAP, pengguna mengonfigurasi pengaturan dan keluaran elemen proteksi yang sama seperti relai yang sebenarnya. ETAP meniru kinerja relai jarak yang realistis dengan mempertimbangkan pilihan polarisasi, ekspansi dinamis, dan banyak faktor lainnya.

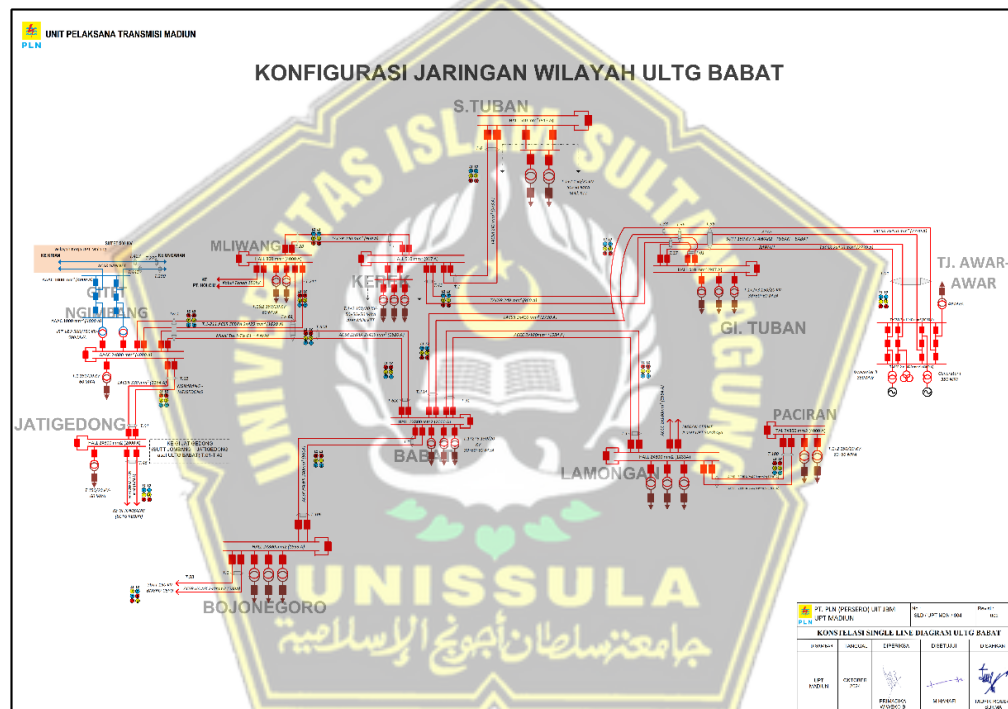


Gambar 2.19 Tampilan Pengujian Setting Impedansi StarZ ETAP

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Untuk model penelitian ini fokus dengan pendekatan komparasi setting dan simulasi *distance relay* saluran penghantar Ngimbang – Babat – Lamongan yang berada di wilayah PT. PLN ULTG Babat menjadi objek penelitian dengan perhitungan ulang *setting* dan simulasi gangguan menggunakan *software* ETAP 20.0.0. Tujuannya adalah memastikan *setting* proteksi *distance relay* yang diterapkan sesuai dengan standar yang berlaku dan tidak terjadi tumpang tindih.



Gambar 3. 1 Gambar SLD Wilayah PT. PLN ULTG Babat

3.2 Objek Penelitian

Objek yang digunakan pada penelitian yaitu :

- Distance Relay* Ngimbang - Babat yang berlokasi di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Ekstra Tinggi Ngimbang yang beralamat di Jl. Ngimbang – Bluluk, Kakatpenjalin, Kec. Ngimbang, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur 62273

b. *Distance Relay* Babat - Lamongan yang berlokasi di Gardu Induk Babat yang beralamat di Jl. Raya Babat - Bojonegoro No.21, Karan, Gunungsari, Kec. Baureno, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur 62192

Data yang didapatkan dari PT. PLN (Persero) ULTG Babat, GI Ngimbang, GITET Ngimbang antara lain adalah tabel data spesifikasi penghantar, trafo, *setting distance relay* T/L Bay Babat GI Ngimbang, T/L Bay Lamongan GI Babat sebelum dan sesudah rekonduktoring SUTT Babat-Lamongan dan SUTT Lamongan-Cerme, dan beberapa penghantar lainnya untuk bahan pertimbangan justifikasi *setting* yang kedua penghantar tersebut ideal, yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 sampai 3.10

a. Data Penghantar

Tabel 3. 1 Spesifikasi Penghantar Ngimbang - Babat

Jenis Konduktor	ACSR Zebra 2 x 429 mm ²
Panjang Penghantar	19,91 km
Luas Penampang	2 x 429 mm ²
Tipe Penghantar	OHL
Kapasitas	1620 A
Impedansi	5,766 Ω
Ratio CT	2000/1
Ratio PT	150/0,1

Tabel 3. 2 Spesifikasi Penghantar Babat - Lamongan

Jenis Konduktor	ACCC Helsinki 2 x 160 mm ²
Panjang Penghantar	31,55 km
Luas Penampang	2 x 160 mm ²
Tipe Penghantar	OHL
Kapasitas	1584 A
Impedansi	9,361 Ω
Ratio CT	2000/5
Ratio PT	150/0,1

Tabel 3. 3 Spesifikasi Penghantar Lamongan - Cerme

Jenis Konduktor	ACCC Helsinki 2 x 160 mm ²
Panjang Penghantar	20,03 km
Luas Penampang	2 x 160 mm ²
Tipe Penghantar	OHL
Kapasitas	1584 A
Impedansi	6,533 Ω

Tabel 3. 4 Spesifikasi Penghantar Lamongan - Paciran

Jenis Konduktor	ACSR Zebra 2 x 428,9 mm ²
Panjang Penghantar	32 km
Luas Penampang	2 x 428,9 mm ²
Tipe Penghantar	OHL
Kapasitas	1500 A
Impedansi	8,966 Ω

Tabel 3. 5 Spesifikasi Penghantar Babat - Bojonegoro

Jenis Konduktor	ACSR Hawk 1 x 240 mm ²
Panjang Penghantar	35,3 km
Luas Penampang	1 x 240 mm ²
Tipe Penghantar	OHL
Kapasitas	645 A
Impedansi	14,529 Ω

Tabel 3. 6 Spesifikasi Penghantar Babat – Tanjung Awar-Awar

Jenis Konduktor	TACSR 2 x 410 mm ²
Panjang Penghantar	42,37 km
Luas Penampang	2 x 410 mm ²
Tipe Penghantar	OHL
Kapasitas	2730 A
Impedansi	11,26 Ω

Tabel 3.7 Data *Setting Distance Relay* Sebelum Rekonduktoring

Nama Penghantar	Merk Relay	Setting Relay			Waktu kerja		
		Z1	Z2	Z3	t1	t2	t3
Ngimbang - Babat	NR	4,2	7,56	23,6631	0	0,4	1,6
Babat - Lamongan	Alshtom P443	8,2125	12,4125	23,0625	0	0,4	1,6

Tabel 3.8 Data *Setting Distance Relay* Setelah Rekonduktoring

Nama Penghantar	Merk Relay	Setting Relay			Waktu kerja		
		Z1	Z2	Z3	t1	t2	t3
Ngimbang - Babat	NR	4,2	7,56	23,6631	0	0,4	1,6
Babat - Lamongan	Alshtom P443	7,4991	11,286	21,8598	0	0,4	1,6
Lamongan - Cerme	Alshtom P443	4,7602	7,1054	12,5656	0	0,8	1,6
Lamongan - Paciran	Siemens 7SA522	7,1841	12,9284	17,964	0	0,4	1,6
Babat – Bojonegoro	Alshtom P443	11,865	20,8060	34,5642	0	0,4	1,6
Babat – Tj. Awar-Awar	NR PCS931S	9	13,5	23,625	0	0,8	1,6

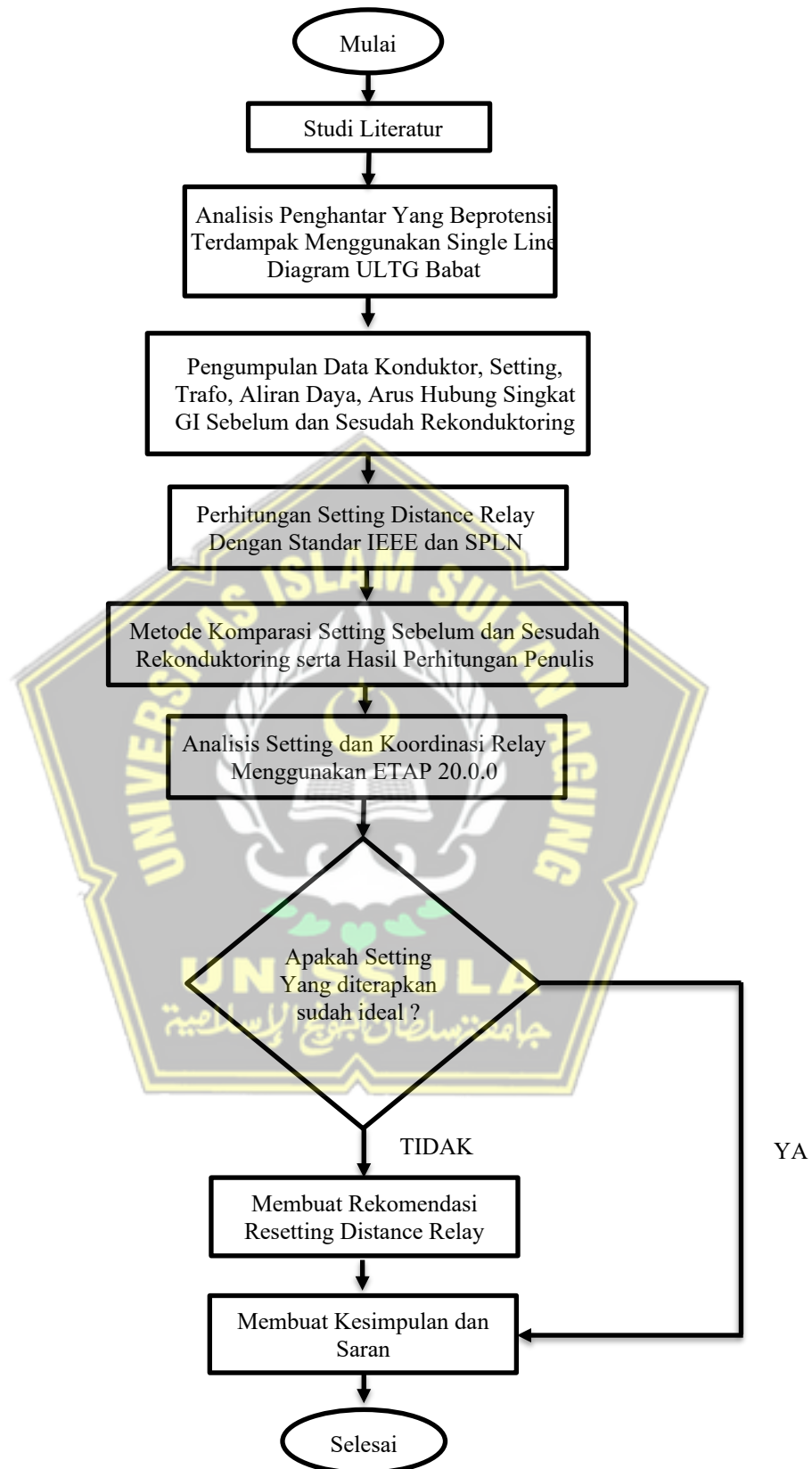
Tabel 3.9 Reaktansi Trafo di GI Babat

Nama Trafo	Impedansi Trafo (%)
Transformator Daya 1	12,035 %
Transformator Daya 2	12,5 %
Transformator Daya 3	12,05 %

Tabel 3.10 Reaktansi Trafo di GI Lamongan

Nama Trafo	Impedansi Trafo (%)
Transformator Daya 1	11,888 %
Transformator Daya 2	11,935 %
Transformator Daya 3	12,5 %

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

3.4 Langkah Penelitian

1. Mulai:

Titik awal dari seluruh rangkaian penelitian.

2. Rumusan Masalah:

Mengidentifikasi permasalahan terkait *setting distance relay* sebelum dan sesudah rekonduktoring. Menentukan standar *setting distance relay* yang ideal untuk diterapkan pada penghantar Ngimbang-Babat dan Babat Lamongan.

3. Tujuan Penelitian:

Merumuskan tujuan spesifik dari penelitian, yaitu untuk mengevaluasi dan menganalisa *setting distance relay* setelah rekonduktoring. Menentukan *setting* yang ideal diterapkan pada penghantar Ngimbang-Babat dan Babat-Lamongan.

4. Studi Literatur:

Mengumpulkan informasi tentang *distance relay*, perhitungan *setting*, dan metode analisa menggunakan ETAP 20.0.0. Mempelajari standar-standar yang relevan. Meninjau penelitian-penelitian sebelumnya.

5. Observasi Lapangan:

Pada penelitian awal yaitu masuk pada proses mewawancarai dan mencari data serta informasi terkait topik yang saya angkat yaitu *setting* dan koordinasi *distance relay* yang diterapkan di Gardu Induk Babat, Gardu Induk Ngimbang dan sekitarnya.

6. Pengumpulan Data:

Pengumpulan data teknis penghantar, trafo, aliran daya, *single line diagram*, *short circuit*, *setting distance relay* sebelum rekonduktoring, dan aktual *setting* yang diterapkan pada *device* di lapangan.

7. Perhitungan *Setting Distance Relay* berdasarkan standar IEEE dan SPLN :

Penulis menghitung *setting distance relay* Ngimbang-Babat dan Babat-Lamongan menggunakan standar IEEE dan SPLN menggunakan data spesifikasi penghantar, trafo, dan aliran daya.

8. Metode Komparasi :

Mebandingkan data eksisting yang diperoleh dengan hasil hitung menggunakan Pedoman/standar IEEE [1][2] serta memvalidasinya dengan menggunakan *software* ETAP 20.0.0

9. Analisis *Setting Relay* menggunakan ETAP 20.0.0 :

Untuk mencegah dan memastikan tidak adanya *setting* yang tumpang tindih atau overlapping.

10. Pengambilan Keputusan :

Jika Ya (*Setting* yang diterapkan sudah ideal): Membuat kesimpulan dan saran

Jika Tidak (*Setting* yang diterapkan belum ideal): Membuat rekomendasi *resetting distance relay* yang belum ideal

11. Membuat Kesimpulan dan Saran :

Merangkum hasil penelitian dan menjawab tujuan penelitian. Memberikan saran untuk penelitian selanjutnya atau perbaikan.

12. Selesai:

Tahap akhir dari penelitian.



3.5 Proses Pengambilan Data

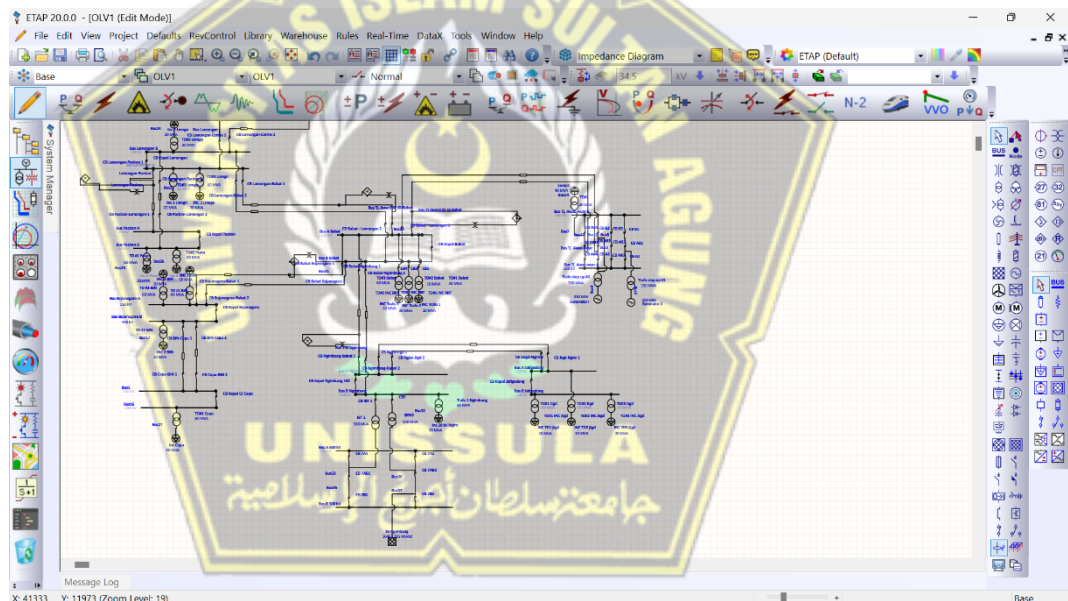
3.5.1 Alat dan Bahan

Untuk proses pengambilan data relay menggunakan beberapa bahan :

- Laptop yang sudah terinstal ETAP 20.0.0
- Data spesifikasi penghantar, trafo, single line diagram, aliran daya, dan short circuit
- Data *setting distance relay* sebelum rekonduktoring
- Data *setting distance relay* setelah rekonduktoring

3.5.2 Proses Pengambilan data

- Buka aplikasi ETAP 20.0.0
- Desain Konfigurasi sistem ketenagalistrikan penunggang penghantar Ngimbang - Babat dan Babat - Lamongan



Gambar 3.3 Tampilan Pembuatan Konfigurasi Sistem Tenaga Listrik ETAP 20.0.0

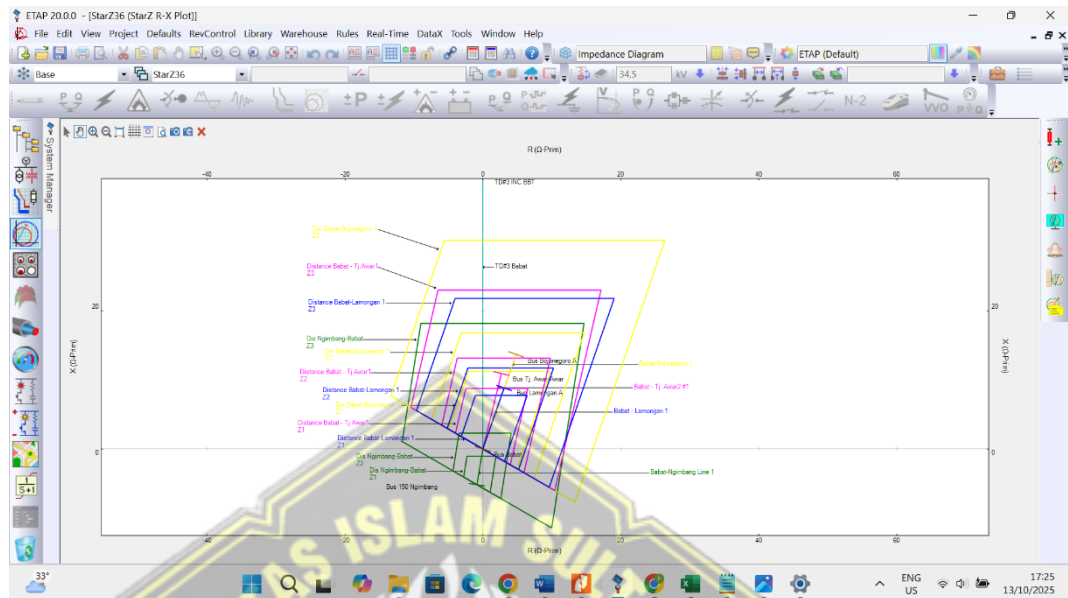
- Input data setiap peralatan sesuai dengan kondisi di lapangan

Gambar 3.4 Tampilan Penginputan Spesifikasi Peralatan ETAP 20.0.0

d. Input *setting distance relay* sebelum, sesudah, dan hasil hitung, dan hasil hitung

Gambar 3.5 Tampilan Penginputan Setting Distance Relay ETAP 20.0.0

- e. Scanning wilayah kerja *setting distance relay* Ngimbang-Babat dan Babat-Lamongan menggunakan fitur ETAP Starz view



Gambar 3.6 Tampilan fitur StarZ koordinasi *Setting* ETAP 20.0.0

- f. Analisis dan komparasi *setting* ketiga kasus tersebut

3.6 Pelaksanaan Pengambilan Data

Waktu dan tempat pelaksanaan penelitian adalah :

Waktu : 1 Juli – 31 Juli 2024

Tempat :

- PT. PLN (Persero) ULTG Babat dan Gardu Induk Babat yang beralamat di Jl. Raya Babat - Bojonegoro No.21, Karan, Gunungsari, Kec. Baureno, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur 62192
- PT. PLN (Persero) Gardu Induk Lamongan yang beralamat di Jl. Sunan Drajat, Kaloharjo, Sidoharjo, Kec. Lamongan, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur 62217
- PT. PLN (Persero) Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi Ngimbang yang beralamat di Jl. Ngimbang – Bluluk, Kakatpenjalin, Kec. Ngimbang, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur 62273

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Hasil Penelitian

Dari observasi yang telah dilakukan pada saat dilapangan yaitu di lingkungan ULTG Babat, Gardu Induk 150 kV Ngimbang dan Gardu Induk 150 kV Babat diperoleh beberapa data mengenai data spesifikasi peralatan dan *setting distance relay*. Data yang diperoleh kemudian di analisis terkait penerapan *setting* dan koordinasi antar relai untuk menciptakan sistem yang lebih andal. Pada bab ini memaparkan analisis perbandingan *setting distance relay* sebelum dan sesudah rekonduktoring serta hasil hitung penulis berdasarkan IEEE. Untuk memvalidasi *setting* yang paling mendekati ideal maka disimulasikan menggunakan ETAP 20.0.0.

Berdasarkan tabel 3.7 dan 3.8 setelah rekonduktoring *setting distance relay* yang sudah diubah hanya *distance relay* babat-lamongan padahal zone 2 dari *distance relay* ngimbang harusnya juga berpotensi berubah karena terdapat perubahan impedansi di penghantar depannya. Untuk itu perlu dilakukan scanning *setting* proteksi pada ruas penghantar tersebut.

4.2 Perhitungan *Setting Distance Relay*

4.2.1 Perhitungan *Setting Distance Relay* Penghantar Ngimbang-Babat

a. Zone 1

Untuk menghitung *setting zone 1 distance relay* menggunakan persamaan dan membutuhkan data spesifikasi ZL1 (impedansi penghantar Ngimbang-Babat) pada tabel 3.1. Sehingga *setting zone 1* adalah

$$Z1 = 0,8 \times ZL1 = 0,8 \times 5,766 = 4,6128 \, \Omega$$

b. Zone 2

Untuk menghitung *setting zone 2 distance relay* menggunakan persamaan dan membutuhkan data spesifikasi ZL1 (impedansi penghantar Ngimbang-Babat), ZL2 Impedansi paling kecil pada penghantar depannya yaitu Babat-Lamongan padat table 3.2, dan batas tidak boleh melewati 50% impedansi trafo pada GI depannya agar area proteksinya tidak mencakup sekunder trafo yang datanya pada table 3.9.

Selain itu perlu memperhitungkan infeed factor karena pada GI Babat aliran dayanya mempunyai sumber lain yaitu Babat-Tj. Awar-Awar yang bahkan lebih kuat yang dapat menyebabkan kesalahan proteksi dari *distance relay* Ngimbang-Babat oleh karena itu perlu faktor pengali pada kondisi maksimal (terburuk) sesuai dengan persamaan faktor Infeed dengan arus hubung singkat pada table berikut.

Tabel 4.1 Data Short Circuit

Nama Penghantar	Arus Hubung Singkat (kA)
Ngimbang - Babat	18,76 A
Tj. Awar-Awar - Babat	32,83 A

$$K = \frac{I_1 + I_2}{I_1} = \frac{18,76 + 32,83}{18,75} = 2,75$$

Keterangan :

I1 : Arus Short Circuit Ngimbang-Babat

I2 : Arus Short Circuit Tj. Awar-Awar - Babat

Sehingga didapatkan perhitungan zone 2 sebagai berikut :

Babat-Lamongan dipilih sebagai ZL2 karena besar impedansinya lebih kecil dari Babat-Bojonegoro dan Babat-Tj. Awar-Awar

$$Z2 \text{ min} = 1,2 ZL1 = 1,2 \times 5,766 = 6,9192 \Omega$$

$$Z2 \text{ max} = 0,8 (ZL1 + (0,8 ZL2)K) = 0,8 (5,766 + (0,8 \times 9,3612)2,75) = 21,08 \Omega$$

$$Z2 \text{ Trf} = 0,8 (ZL1 + kXT) = 0,8 (5,766 + 0,5 (j45,1875)) = 4,6128 + j18,075 = 18,6575,7^\circ \Omega$$

$$X_{\text{Trafo}} = \frac{12,05\% \times 150^2 \text{ kV}}{60 \text{ MVA}} = j45,1875 \Omega$$

Karena Z2 max lebih besar dari Z2Trafo maka Z2min 6,9192 Ω dipilih sebagai *setting* zone 2 dengan waktu 0,4 s karena besar Z2min tidak melebihi Z2max.

c. Zone 3

Untuk menghitung *setting* zone 3 *distance relay* menggunakan persamaan dan membutuhkan data spesifikasi ZL1 (impedansi penghantar Ngimbang-Babat), ZL3 Impedansi paling besar pada penghantar depannya yaitu Babat-Bojonegoro pada table 3.5 dan ZL4 impedansi penghantar paling kecil setelah busbar ZL3 yaitu Bojonegoro-Cepu, serta batas tidak boleh melewati 80% impedansi trafo pada GI depannya agar area proteksinya tidak mencakup sekunder trafo yang datanya pada table 3.9. Selain itu sama seperti zone 2 perlu memperhitungkan infeed factor karena

melewati GI Babat juga yang mempunyai sumber lain dari penghantar Babat-Tj. Awar-Awar. Sehingga didapatkan perhitungan zone 3 sebagai berikut :

$$Z3 \text{ min} = 1,2(ZL1 + K \times ZL3) = 1,2 (5,766 + 2,75 \times 14,529) = 54,8649 \Omega$$

$$Z3 \text{ max } 1 = 0,8(ZL1 + ((1,2 \times ZL3)K)) = 0,8 (5,766 + ((1,2 \times 14,529)2,75)) = 42,9693 \Omega$$

$$Z3 \text{ max } 2 = 0,8(ZL1 + (0,8((ZL3 + 0,8 \times ZL4 \times K)) = 0,8 (5,766 + (0,8((14,529 + 0,8 \times 14,60 \times 2,75))) = 34,4681$$

$$ZTR = 0,8(ZL1 + (0,5 \times Xt)) = 0,8 (5,766 + 0,8 (j46,87)) = 30,349 \Omega \text{ } 81,26^\circ$$

Karena hasil dari Z3min, Z3 max 1, dan Z3 max 2 melebihi 80% impedansi trafo maka *setting* proteksi yang digunakan yaitu ZTR agar menjaga selektivitas proteksi sesuai dengan fungsi dari *distance relay* itu sendiri dengan impedansi 30,349 81,26° Ω.

4.2.2 Perhitungan *Setting Distance Relay* Penghantar Babat-Lamongan

a. Zone 1

Untuk menghitung *setting zone 1 distance relay* menggunakan persamaan dan membutuhkan data spesifikasi ZL1 (impedansi penghantar Babat-Lamongan) pada tabel 3.2. Sehingga *setting zone 1* adalah

$$Z1 = 0,8 \times ZL1 = 0,8 \times 9,3612 = 7,4489 \Omega$$

b. Zone 2

Untuk menghitung *setting zone 2 distance relay* menggunakan persamaan dan membutuhkan data spesifikasi ZL1 impedansi penghantar Babat-Lamongan, ZL2 Impedansi paling kecil pada penghantar depannya yaitu Lamongan-Cerme pada table 3.3, dan batas tidak boleh melewati 50% impedansi trafo pada GI depannya agar area proteksinya tidak mencakup sekunder trafo yang datanya pada table 3.10. sehingga didapatkan perhitungan zone 2 sebagai berikut :

Lamongan-Cerme dipilih sebagai ZL2 karena besar impedansinya lebih kecil dari Lamongan-Paciran

$$Z2 \text{ min} = 1,2 ZL1 = 1,2 \times 9,3612 = 11,2334 \Omega$$

$$Z2 \text{ max} = 0,8 (ZL1 + (0,8 ZL2)K) = 0,8 (9,3612 + (0,8 \times 6,533)) = 11,862 \Omega$$

$$Z2\text{Trf} = 0,8 (Z11 + kXT) = 0,8 (5,766 + 0,5 (j44,58)) = 4,6128 + j17,832\Omega = 18,42 \text{ } 75,5^\circ \Omega$$

$$X\text{Trafo} = \frac{11,888\% \times 150^2 \text{ kV}}{60 \text{ MVA}} = j44,58 \Omega$$

Nilai yang paling besar Adalah $Z2_{max}$ dan tidak melebihi $Z2_{Trafo}$ maka $Z2_{max}$ $11,862 \Omega$ dipilih sebagai *setting zone 2* dengan waktu 0,4 s karena besar $Z2_{min}$ tidak melebihi $Z2_{max}$.

c. Zone 3

Untuk menghitung *setting zone 3 distance relay* menggunakan persamaan dan membutuhkan data spesifikasi ZL1 impedansi penghantar Babat-Lamongan, ZL3 Impedansi paling besar pada penghantar depannya yaitu Lamongan-Paciran tetapi GI Paciran merupakan radial sehingga tidak ada pilihan penghantar untuk ZL4 hal ini dapat menyebabkan perhitungan Z3 tidak dapat memback up seluruh penghantar Lamongan-Paciran karena impedansi ZL4 adalah 0 sementara jika pilih ZL3 penghantar Lamongan-Cerme pilihan untuk ZL4 ada, maka untuk Z3 min menggunakan impedansi Lamongan-Paciran dan Z3 max 1 dan 2 yang membutuhkan ZL4 menggunakan penghantar Lamongan-Cerme. Impedansi trafo di GI Paciran tidak bisa dijadikan ZL4 karena prinsip dari *distance relay* ialah sebagai proteksi penghantar. Untuk ZL4 impedansi penghantar paling kecil setelah busbar ZL3 yaitu penghantar Cerme-Manyar, serta batas tidak boleh melewati 80% impedansi trafo pada GI depannya agar area proteksinya tidak mencakup sekunder trafo yang datanya pada table 3.10. Sehingga didapatkan perhitungan zone 3 sebagai berikut :

Zone 3

$$Z3_{min} = 1,2(ZL1 + ZL3) = 1,2(9,3612 + 8,966) = 21,9926 \Omega$$

$$Z3_{max 1} = 0,8(ZL1 + ((1,2 \times ZL3))) = 0,8(9,3612 + (1,2 \times 8,966)) = 13,76064 \Omega$$

$$Z3_{max 2} = 0,8(ZL1 + (0,8((ZL3 + 0,8 \times ZL4))) = 0,8(9,3612 + (0,8(8,966 + 0,8 \times 2,303))) = 12,85 \Omega$$

$$ZTR = 0,8(ZL1 + (0,8 \times X_t)) = 0,8(9,3612 + 0,8(j44,58)) = 7,48896 + j28,5312 \Omega$$

$$= 29,575,3^\circ \Omega$$

Nilai yang paling besar Adalah $Z3_{min}$ dan tidak melebihi 80% impedansi trafo maka $Z3_{min}$ dipilih sebagai *setting zone 3* yaitu $19,073 \Omega$

4.3 Perbandingan Nilai *Setting*

Berikut adalah tabel data perbandingan *setting distance relay zone 1, 2, dan 3* Ngimbang-Babat dan Babat-Lamongan baik sebelum rekonduktoring, setelah rekonduktoring dan hasil hitung yang telah dilakukan penulis.

Tabel 4.2 Perbandingan Setting Sebelum, Sesudah, dan Hasil Hitung Penulis

Nama Penghantar	Zona	Setting yang diterapkan	% dari impedansi L1	Setting Hasil Hitung	% dari impedansi L1	Selisih Hasil Hitung	Sebelum rekonduktoring	Selisih Sebelum rekonduktoring
Ngimbang - Babat	1	4,2 Ω	72,84%	4,6128 Ω	80%	8,95%	4,2 Ω	0%
	2	7,56 Ω	131,1%	6,9192 Ω	120%	9,26 %	7,56 Ω	0%
	3	23,6631 Ω	410%	30,349 Ω	526%	22%	23,6631 Ω	0%
Babat - Lamongan	1	7,5 Ω	80,11%	7,4489 Ω	80%	0,67%	8,2125 Ω	9,5%
	2	11,2875 Ω	120,5%	11,862 Ω	126%	4,85%	12,4125 Ω	9,96%
	3	21,8625 Ω	233%	21,992 Ω	234%	0,5%	23,0625 Ω	5,48%

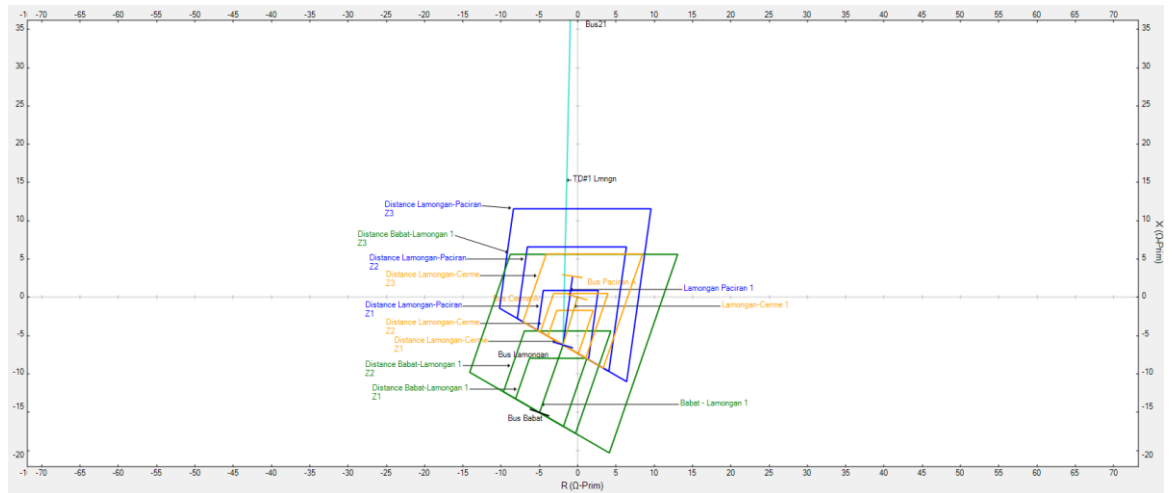
Berdasarkan tabel diatas *setting distance relay* sebelum rekonduktoring penghantar Babat-Lamongan sangat berbeda bahkan sampai 9,96% dengan pasca rekonduktoring dikarenakan perubahan impedansi pada penghantar Babat-Lamongan-Cerme sehingga apabila tidak *diresetting* dapat menyebabkan malakerja. Sedangkan *setting distance relay* Ngimbang-Babat belum ditinjau ulang oleh PT. PLN (Persero) pasca rekonduktoring walaupun zone 2 berpotensi berubah dikarenakan perubahan impedansi Babat-Lamongan yang sebelum rekonduktoring 12,88125 Ω menjadi 9,3612 Ω sehingga dalam perhitungan zone 2 *distance relay* Ngimbang-Babat ZL2 menggunakan penghantar Babat - Tj. Awar-Awar 11,26 Ω dikarenakan impedansi paling kecil setelah bus GI Babat. Jika dibandingkan dengan hasil hitung penulis persentasenya lumayan besar. Selain itu untuk Z1 yang diterapkan *distance relay* Ngimbang-Babat juga tidak mencapai 80% sesuai standar IEEE. Untuk *setting distance relay* Babat-Lamongan zone 1, 2, dan 3 yang diterapkan mirip dengan hasil hitung penulis yaitu dibawah 5% untuk standar dari PLN sehingga jika memakai metode komparasi/perbandingan ini *setting distance relay* Babat-Lamongan sudah ideal untuk hasil yang lebih valid maka hasil pada tabel diatas disimulasikan pada ETAP 20.0.0.

4.4 Hasil simulasi menggunakan ETAP 20.0.0

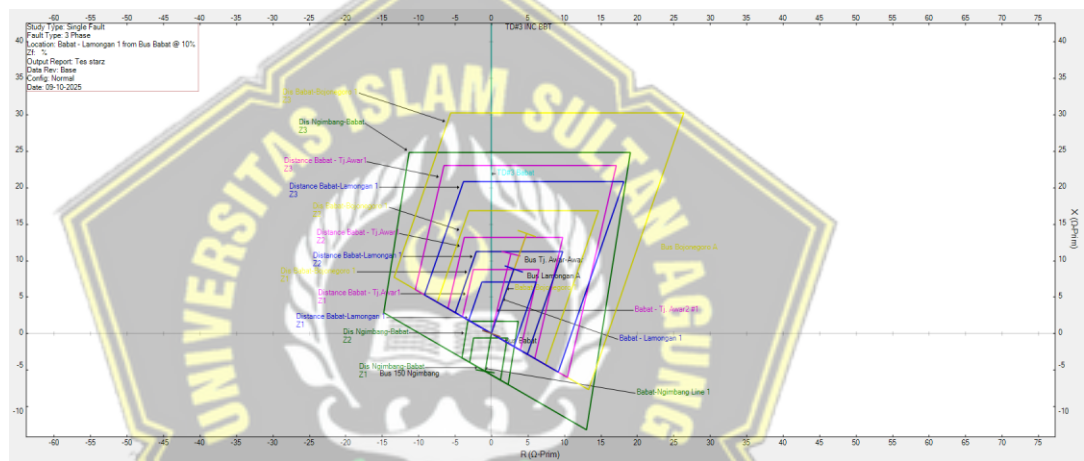
Berikut hasil simulasi menggunakan fitur view STARZ ETAP 20.0.0 perbandingan *setting distance relay* zone 1, 2, dan 3 Ngimbang-Babat dan Babat-

[illegible]

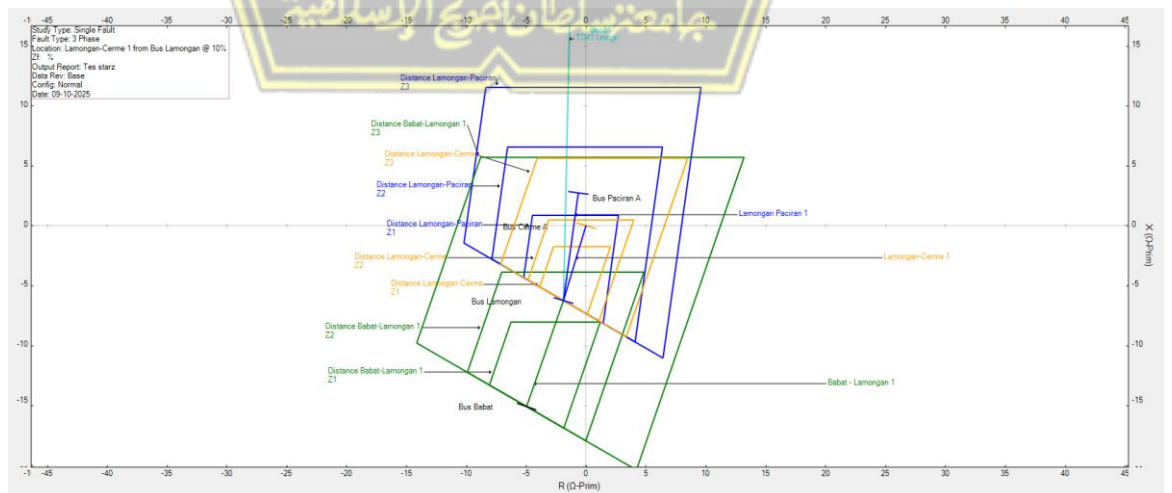
40



Gambar 4.4 Koordinasi Setting Distance Relay Babat-Lamongan Setelah Rekonduktoring



Gambar 4.5 Koordinasi Setting Distance Relay Ngimbang-Babat Hasil Perhitungan Penulis



Gambar 4.6 Koordinasi Setting Distance Relay Ngimbang-Babat Hasil Perhitungan Penulis

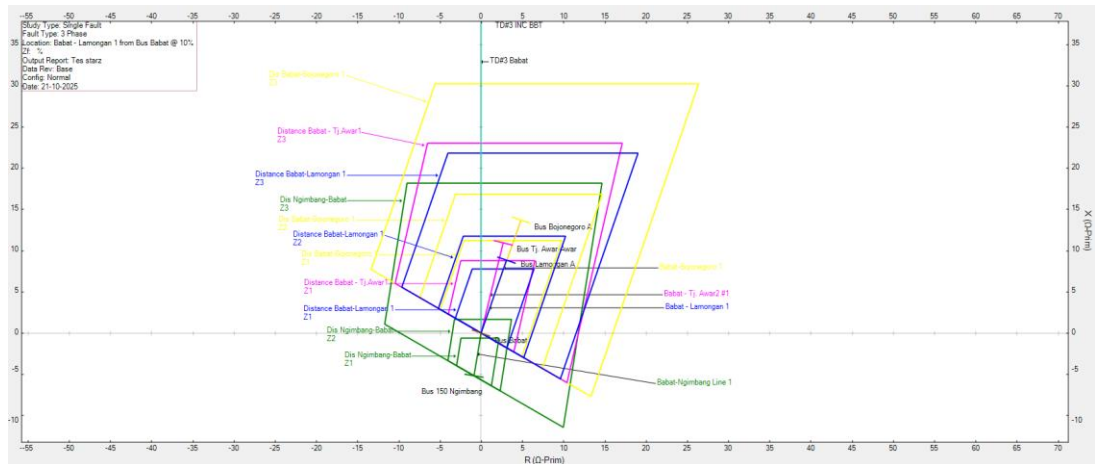
Dari hasil simulasi ETAP 20.0.0 jika yang diterapkan *setting* sebelum rekonduktoring untuk penghantar Ngimbang-Babat tidak ada zona *setting distance relay* Ngimbang-Babat yang overlapping terhadap masing-masing zona penghantar didepannya. Untuk penghantar Babat-Lamongan zona 3 nya overlapping terhadap zona 3 penghantar Lamongan-Cerme. Jika yang diterapkan *setting* setelah rekonduktoring tidak ada *setting* yang overlapping baik itu *distance relay* Ngimbang-Babat maupun Babat Lamongan. Jika *setting distance relay* yang diterapkan hasil hitung penulis pada zona 3 *setting distance relay* Ngimbang-Babat overlapping terhadap zona 3 penghantar Babat-Lamongan dan Babat – Tj. Awar-Awar.

4.5 Rekomendasi Resetting Distance Relay

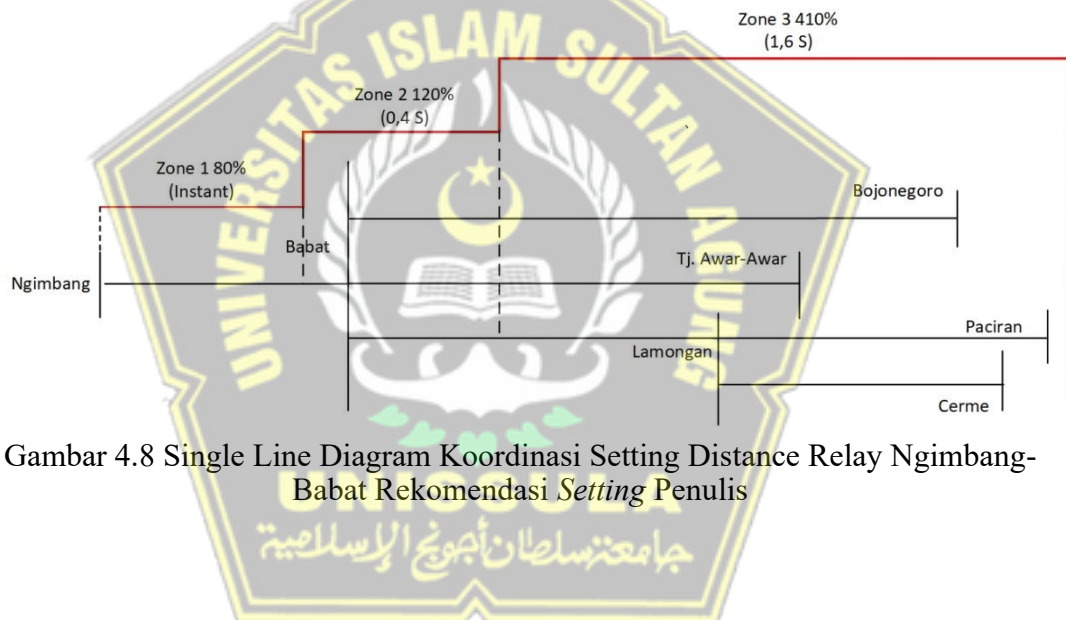
Untuk hasil metode komparasi dan simulasi menggunakan ETAP *setting distance relay* Babat-Lamongan yang diterapkan sudah baik sementara untuk *setting distance relay* Ngimbang-Babat zona 3 sudah baik tidak overlapping dibandingkan dengan hasil hitung penulis tetapi zone 1 72,84% tidak sesuai standar IEEE yaitu kurang 80% dari impedansi penghantar. Untuk zona 2 kurang ideal karena perhitungan impedansi tidak sesuai standar karena masih memakai impedansi lama sehingga diperlukan mengganti ZL2 sesuai standar IEEE yaitu impedansi terkecil pada *near end bus* yang sebelumnya penghantar Babat-Tj. Awar-Awar 11,26 Ω menjadi Babat-Lamongan 9,3612 Ω . Sehingga rekomendasi *setting distance relay* yang diterapkan :

- a. Penghantar Ngimbang-Babat zona 1 4,6128 Ω (hasil hitung penulis) , zone 2 6,9192 Ω (hasil hitung penulis), zone 3 23,6631 (*setting* yang diterapkan).
- b. Untuk penghantar Babat-Lamongan sudah tidak perlu *diresetting* dikarenakan *setting* yang diterapkan sudah sesuai dengan standar dan tidak ada yang overlapping.

Berikut view zona koordinasi proteksi setelah rekomendasi *resetting*. Zona proteksi *distance relay* Ngimbang-Babat tidak ada yang overlapping.



Serta berikut tampilan *single line diagram* koordinasi *setting distance relay* Ngimbang-Babat rekomendasi *setting* penulis



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan, perbandingan, dan analisis menggunakan software ETAP serta tahap wawancara yang sudah dilakukan di ULTG Babat dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai *setting distance relay* sebelum dan sesudah rekonduktoring serta perbandingan dengan hasil hitung penulis sebagai berikut :

1. *Setting distance relay* sebelum rekonduktoring penghantar Babat-Lamongan sangat berbeda bahkan sampai 9,96% dengan pasca rekonduktoring dikarenakan perubahan impedansi pada penghantar Babat-Lamongan-Cerme sehingga apabila tidak *diresetting* dapat menyebabkan malakerja sehingga ketika ada rekonduktoring atau perubahan impedansi seharusnya dilakukan *resetting distance relay* untuk menyesuaikan daerah kerja *distance relay* agar ideal. Sedangkan *setting distance relay* Ngimbang-Babat belum ditinjau ulang oleh PT. PLN (Persero) pasca rekonduktoring walaupun zone 2 berpotensi berubah dikarenakan perubahan impedansi Babat-Lamongan yang sebelum rekonduktoring $12,88125 \Omega$ menjadi $9,3612 \Omega$ sehingga dalam perhitungan zone 2 *distance relay* Ngimbang-Babat ZL2 menggunakan penghantar Babat - Tj. Awar-Awar $11,26 \Omega$ dikarenakan impedansi paling kecil setelah bus GI Babat. Jika dibandingkan dengan hasil hitung penulis persentasenya lumayan besar. Selain itu untuk Z1 yang diterapkan *distance relay* Ngimbang-Babat juga tidak mencapai 80% sesuai standar IEEE. Untuk *setting distance relay* Babat-Lamongan zone 1, 2, dan 3 yang diterapkan mirip dengan hasil hitung penulis yaitu dibawah 5% untuk standar dari PLN sehingga jika memakai metode komparasi/perbandingan ini *setting distance relay* Babat-Lamongan sudah ideal

2. *Setting distance relay* Babat-Lamongan sebelum rekonduktoring apabila diterapkan zona 3 akan terjadi overlapping terhadap zone 3 penghantar Lamongan Cerme sehingga Tindakan *resetting distance relay* sudah sangat tepat sehingga tidak ada lagi *overlapping* yang dapat melampaui batas kerja hal ini membuktikan *resetting* sangat perlu dilakukan ketika adanya rekonduktoring yang menyebabkan perubahan impedansi pada saluran. Pada

penghantar Ngimbang-Babat yang telah diterapkan tidak ada yang *overlapping* tetapi *setting* zone 1 72,84 % impedansi penghantar yang diterapkan kurang dari 80% standar IEEE dan zone 2 perhitungan impedansi GI didepannya menggunakan ZL2 Babat-Tj. Awar-Awar 11,26 Ω impedansi paling rendah sebelum rekonduktoring Babat-Lamongan 9,3612 Ω sehingga 2 zona tersebut perlu *diresetting*.

5.2 Saran

Setelah melakukan obeservasi, perhitungan, perbandingan *setting* sebelum dan sesudah rekonduktoring, serta analisis koordinasi menggunakan ETAP 20.0.0 terdapat beberapa saran penulis sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan peninjauan ulang/*scanning setting* proteksi berkala terkhusus setelah adanya perubahan yang dapat mempengaruhi parameter proteksi seperti impedansi, ratio CT, dan sebagainya.
2. Dalam menetapkan *setting* proteksi dibutuhkan analisis menggunakan software simulator agar dapat terlihat lebih jelas dan mirip kondisi yang terjadi pada sistem tenaga listrik sehingga dapat koordinasi antar relay tepat dan tidak *overlapping*.
3. Setiap sebelum pemeliharaan 2 tahunan divisi yang bertugas melakukan *scanning* relai proteksi meninjau ulang *setting* proteksi yang ingin dipelihara sehingga jika terdapat *setting* proteksi yang perlu diubah tidak susah untuk mendapatkan izin pemadaman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines. : IEEE Std C37. 113 2015, 2015.
- [2] ALSTOM, Network Protection & Automation Guide.: Alstom Grid, 2011.
- [3] Priambodo. A. R, Sukmadi. Tejo, Facta. Mochammad, Analisis *Setting* Dan Koordinasi Relai Jarak Saluran 150 kV Ungaran-Krapyak-Srondol, Universitas Dipenogoro, Transien, Vol. 7, N. 1, Maret 2018, ISSN: 2302-9927, 224.
- [4] Samuel. Nopransi., Tumaliang. Hans, Patras. Lily. S, Koordinasi Setting Relai Jarak Pada Transmisi 150 kV PLTU 2 SULUT 2 x 25 MW, Universitas Sam Ratulangi, Manado, 2012.
- [5] Sakti. Ale Septila, Penerapan Skema POTT Echo dengan *Weak Infeed* Untuk *Distance Relay* Dalam meningkatkan Keandalan *Autoreclose* Pada GI Radial Ujung di ULTG Pangkalan Bun, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Januari 2025.
- [6] SPLN T5.002-2:2021, "SPLN T5.002-2:2021 Pola Proteksi Saluran Transmisi" PT. PLN (Persero) No. 0256.K/DIR/2021
- [7] ETAP, T&D Protection & Coordination Analysis Software - StarZ™, Website : <https://etap.com/product/starz-distance-relay-coordination>, diakses tanggal 6 Juli 2025
- [8] Prasetyo, B. E., Mukti, H., dan Pamasari, Y. (2020). Analisa Kinerja Distance Relay Terhadap Gangguan Penghantar 150 kV Surabaya Barat Altaprima I." ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan POLINEMA, Vol. 7 No. 1
- [9] Hidayatullah, K., Hartati, R. S., dan Sukerayasa, I. W. (2019). Analisis Penentuan Setting Distance Relay Penghantar SUTT 150 kV GIS Pesanggaran – GI Pemecutan Kelod." Jurnal SPEKTRUM Vol. 6, No. 1.
- [10] Navarro, L. R., and Pacis, M. C. (2025). Reduction of Infeed Current Effects on Distance Relay by Optimal Sizing and Placement of Inductive Fault Current Limiters." IEEE. Doi 10.1109/ACEEE66257.2025.11149145
- [11] Almanda, D., and Juniyanto. (2021). Analisis Pengaruh Kompensasi Impedansi Urutan Nol (Kzn) Terhadap Keandalan Sistem Proteksi Rele Jarak (Distance Relay) Pada Penghantar Harapan Indah di Gardu Induk Plumpang. RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer) Vol. 4 No. 1 e-ISSN : 2621-9700, p-ISSN : 2654-2684