

## Analisis *Setting* dan Koordinasi *Distance Relay* Pasca Rekonduktoring SUTT 150 kV Babat-Lamongan

A. Achmad Yusril Tayeb\*, Sukarno Budi Utomo

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang  
Jl. Kaligawe Raya No.Km.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112

E-mail: [achmadyusril Tayeb@gmail.com](mailto:achmadyusril Tayeb@gmail.com)

Naskah Masuk: 04 Maret 2026; Diterima: 16 Maret 2026; Terbit: 30 Maret 2026

### ABSTRAK

**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. Perubahan ini berpotensi menyebabkan ketidakakuratan operasi *distance relay* jika *setting* tidak disesuaikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh terhadap *setting distance relay* pasca rekonduktoring, membandingkannya dengan *setting* 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 *setting* 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 *setting distance relay* Babat-Lamongan sebelum rekonduktoring sangat berbeda hingga 9,26% 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, *setting 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 *setting* 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*, Koordinasi Proteksi, Rekonduktoring

### ABSTRACT

**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. These changes potentially cause inaccuracies in the operation of distance relays if the settings are not adjusted accordingly. This study aims to analyze the impact of reconductoring on distance relay settings, compare them with previous settings and IEEE standard-based calculations, and ensure selective coordination among relays. The methodology involves comparing distance relay settings before and after reconductoring, as well as calculating the settings for three protection zones (Z1, Z2, Z3) based on line and transformer impedance data, followed by coordination simulation using ETAP 20.0.0 software. The results show that the Babat–Lamongan distance relay settings before reconductoring differ significantly, by up to 9.26% from the post-reconductoring and calculated results, indicating the importance of resetting the distance relay after any impedance change. The post-reconductoring Babat–Lamongan settings are ideal, with less than 5% deviation from the calculated values and no overlapping detected. Conversely, the Ngimbang–Babat distance relay settings are no longer suitable, as Zone 1 covers only 72.84% of the line (below the IEEE standard of 80%), and Zone 2 remains irrelevant after reconductoring due to outdated parameters. 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*, Protection Coordination, Reconductoring.

Copyright © 2026 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

## 1. PENDAHULUAN

Sistem penyaluran tenaga listrik pada PT PLN (Persero) secara garis besar terbagi menjadi tiga proses bisnis utama, yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Saluran transmisi berperan krusial sebagai penghubung antara pusat pembangkit dan pusat beban. Mengingat lokasi pembangkit—terutama pembangkit dengan biaya operasional rendah—umumnya terletak jauh dari konsumen, penggunaan tegangan tinggi menjadi syarat mutlak untuk meminimalisir rugi-rugi daya (losses) selama proses penyaluran [12].

Untuk menjaga keandalan sistem dan mencegah kerusakan pada peralatan penyaluran yang dapat memicu pemadaman meluas serta inefisiensi ekonomi, diperlukan sistem proteksi yang responsif dan selektif [13]. Namun, peralatan relai proteksi tetap memiliki risiko malakerja (mal-operation), baik yang disebabkan oleh anomali internal perangkat maupun kesalahan manusia (human error) dalam penentuan parameter setting. Upaya mitigasi risiko ini dilakukan melalui dua pendekatan: manajemen perbaikan proses bisnis pengadaan dengan vendor, serta pendekatan teknis melalui pengujian dan verifikasi koordinasi proteksi agar mendekati nilai ideal [14].

Permasalahan terkait akurasi setting relai proteksi masih menjadi tantangan signifikan. Pada unit PT PLN UIT JBM, tercatat sebanyak 31 relai proteksi pada tahun 2025 memerlukan reseting akibat kesalahan perhitungan data serta kesalahan input parameter ke dalam perangkat. Ketidaksesuaian setting relai, khususnya pada distance relay, berdampak langsung pada efektivitas penyaluran dan peningkatan biaya pembelian listrik akibat operasional pembangkit yang tidak optimal.

Kebutuhan akan rekonfigurasi sistem semakin mendesak pasca dilakukannya proyek rekonduktoring pada saluran transmisi Babat – Lamongan – Cerme pada Oktober 2024. Proyek ini bertujuan untuk memastikan pemenuhan beban pada satu sirkuit apabila sirkuit lainnya mengalami gangguan atau pemadaman [15]. Dampak teknis utama dari rekonduktoring ini adalah perubahan nilai impedansi saluran penghantar secara signifikan. Perubahan tersebut tidak hanya memengaruhi setting distance relay pada saluran yang bersangkutan, tetapi juga berpotensi mengganggu koordinasi zona cadangan (Z2 dan Z3) pada saluran sekitarnya, seperti ruas Ngimbang – Babat [16]. Oleh karena itu, diperlukan proses scanning dan evaluasi ulang terhadap sistem proteksi untuk memastikan relai bekerja sesuai fungsinya dan menjaga stabilitas sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

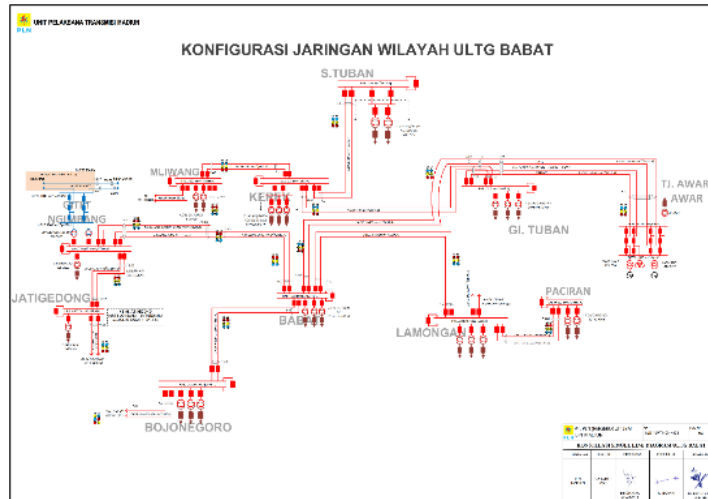
Dalam penelitian ini, peneliti merangkum beberapa referensi yang pertama adalah “Analisis Setting dan Koordinasi Relai Jarak Saluran 150 kV Ungaran-Krapyak-Srondol” Dalam penelitian tersebut membandingkan setting eksisting dengan perhitungan dengan standar NPAG Alstom. Selain itu setting relai jarak 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].

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Model Penelitian

Model penelitian ini berfokus pada *scanning distance relay* saluran penghantar Ngimbang–Babat–Lamongan yang berada di wilayah PT PLN ULTG Babat sebagai objek penelitian, dengan melakukan perhitungan ulang *setting* serta simulasi gangguan menggunakan perangkat lunak. Tujuan penelitian ini adalah memastikan bahwa *setting* proteksi *distance relay* yang diterapkan telah sesuai dengan standar yang berlaku serta menghindari terjadinya tumpang tindih pengaturan.



Gambar 1. Single Line Diagram (SLD) Sistem 150 kV Wilayah ULTG Babat

#### 3.2 Perhitungan Berdasarkan Standar

##### 3.2.1. Zone 1

Zone 1 harus mencakup seluruh bagian saluran yang diproteksi. Akan tetapi, karena terdapat potensi kesalahan data pada konstanta saluran, CT, PT, dan peralatan lain yang dapat mencapai 20%, maka penyetelan Zone 1 pada relai tidak dilakukan hingga 100% panjang saluran. Untuk menjaga keandalan pengukuran dan mencegah maloperasi, nilai setelan Zone 1 ditetapkan sebesar 80% dari total panjang saluran yang diamankan.

$$Z_1 = 0,8 \times Z_{L1} \tag{1}$$

Relai pada Zone 1 bekerja secara seketika, sehingga tidak memerlukan pengaturan waktu tambahan.

##### 3.2.2. Zone 2

Jangkauan zone 2 harus mencakup hingga busbar yang berada di depannya (near end bus), namun tidak diperbolehkan tumpang tindih dengan zone 2 dari relai jarak pada seksi berikutnya. Dengan mengasumsikan adanya kemungkinan kesalahan penyetelan seperti pada zone 1 sebesar sekitar dua puluh persen, maka diperoleh batas minimum dan maksimum penyetelan untuk zone 2 sebagai berikut:

$$Z_2 \text{ min} = 1.2 Z_{L1} \tag{2}$$

$$Z_2 \text{ max} = 0.8 (Z_{L1} + (0.8Z_{L2} ) K) \tag{3}$$

$$Z_{2TR} = 0.8 (Z_{L1} + kX_t) \tag{4}$$

Keterangan:

Z<sub>L1</sub> adalah impedansi saluran yang dilindungi.

Z<sub>L2</sub> adalah impedansi saluran berikutnya yang memiliki panjang terpendek dan dinyatakan dalam satuan Ohm (Ω).

X<sub>t</sub> adalah reaktansi transformator pada gardu induk berikutnya.

k adalah koefisien proteksi sekunder transformator.

K adalah *infeed factor* dengan nilai satu sampai dua.

Jika pada saluran seksi berikutnya terdapat beberapa cabang, maka untuk memperoleh selektivitas proteksi yang baik, nilai setelan Z<sub>2</sub> maksimum harus ditentukan dengan menggunakan impedansi penghantar yang paling kecil. Selain itu, apabila terdapat transformator daya pada gardu induk yang berada di depan lokasi pengukuran, maka jangkauan zone 2 tidak boleh melebihi impedansi transformator tersebut

**3.2.3. 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 pengamannya dan saluran didepan gardu induknya.
3. Setting zone 3 tidak boleh overlap dengan *setting* 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

$$Z3 \text{ min} = 1.2(ZL1+K \times ZL3) \tag{5}$$

$$Z3\text{max} 1 = 0.8(ZL1 + ((1.2 \times ZL3) K)) \tag{6}$$

$$Z3\text{max} 2 = 0.8(ZL1 + (0.8((ZL3 + 0.8 \times ZL4 \times K))) \tag{7}$$

$$ZTR = 0.8(ZL1 + (0.8 \times Xt)) \tag{8}$$

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)

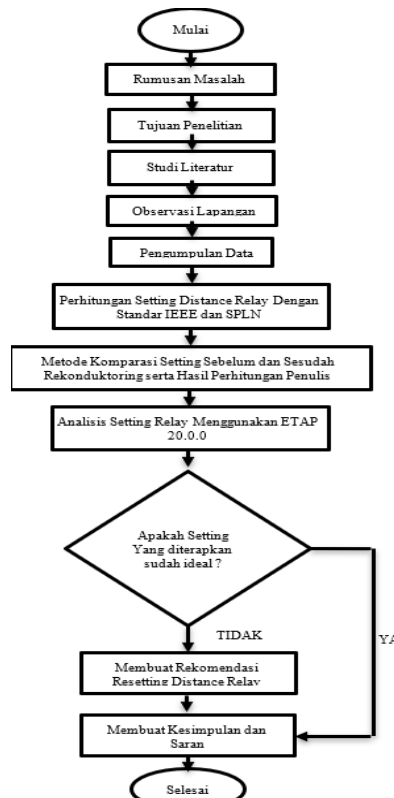
Zone 3 dipilih yang terbesar dari Z3 min, Z3 max 1 dan Z3 max 2 namun tidak melebihi nilai ZTR. Pemilihan time delay (Zt3) 1.6 detik agar melebihi waktu pole discrepancy (47T) 1.5 detik dan DEF backup.

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 depannya.

**3.3 Analisis Perbandingan setting dan Koordinasi menggunakan ETAP 20.0.0**

Membandingkan kondisi sebelum rekonduktoring, kondisi setelah rekonduktoring, serta hasil perhitungan berdasarkan pedoman atau standar IEEE [1][2]. Selain itu, seluruh hasil perhitungan tersebut divalidasi menggunakan perangkat lunak ETAP versi 20.0.0 agar memperoleh akurasi dan konsistensi yang dapat dipertanggungjawabkan.

**3.4 Diagram Alir**



Gambar 2. Flowchart

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Perhitungan Setting dan Analisis Komparatif

Berdasarkan perhitungan menggunakan data pasca rekonduktoring dan standar IEEE, penetapan setting distance relay pada penghantar Ngimbang–Babat dilakukan secara bertahap melalui perhitungan impedansi tiap zona proteksi. Pada Zone 1, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan dasar yang mengacu pada impedansi saluran sebagai cakupan proteksi utama, sehingga diperlukan data spesifikasi ZL1 (impedansi penghantar Ngimbang–Babat), dan dengan menerapkan batas cakupan sebesar delapan puluh persen dari impedansi saluran, maka diperoleh hasil:  $Z_1 = 0,8 \times ZL1 = 0,8 \times 5,766 = 4,6128 \Omega$  yang menjadi nilai setting Zone 1. Selanjutnya, pada Zone 2, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang melibatkan ZL1 (impedansi penghantar Ngimbang–Babat), ZL2 (impedansi terkecil pada penghantar berikutnya yaitu Babat–Lamongan), serta pembatasan agar cakupan proteksi tidak melewati lima puluh persen impedansi trafo pada gardu induk berikutnya sesuai data, sehingga proteksi tidak mencakup sisi sekunder trafo. Selain itu, penetapan Zone 2 harus mempertimbangkan *infeed factor*, karena pada GI Babat terdapat pasokan daya tambahan dari saluran Babat–Tanjung Awar-Awar yang memiliki kapasitas lebih besar dan dapat menimbulkan kesalahan estimasi impedansi oleh distance relay di sisi Ngimbang–Babat; oleh sebab itu diperlukan penerapan faktor koreksi pada kondisi maksimum menggunakan persamaan faktor infeed yang dihitung berdasarkan arus hubung singkat sebagaimana ditunjukkan dalam tabel perhitungan yang tersedia.

Tabel 1 Data *Short Circuit*.

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

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

Keterangan :

I1 : Arus Short Circuit Ngimbang-Babat

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

Perhitungan setting zone 2 dilakukan dengan menetapkan penghantar Babat–Lamongan sebagai ZL2 karena nilai impedansinya lebih kecil dibandingkan Babat–Bojonegoro maupun Babat–Tanjung Awar-Awar. Nilai batas bawah zone 2 dihitung menggunakan persamaan  $Z_{2min} = 1,2 ZL1$ , sedangkan batas atasnya menggunakan  $Z_{2max} = 0,8 (ZL1 + (0,8 ZL2)K)$ . Adapun impedansi trafo yang digunakan sebagai pembanding dihitung melalui  $Z_{2Trf} = 0,8 (ZL1 + k XT)$  dengan reaktansi trafo  $XT = (12,05\% \times 150^2 \text{ kV}) / 60 \text{ MVA}$ . Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai  $Z_{2max}$  lebih besar dari  $Z_{2Trf}$  sehingga nilai  $Z_{2min}$  dipilih sebagai setting zone 2 dengan waktu operasi 0,4 detik karena tidak melebihi nilai batas atas zone 2.

Rumus dan hasil perhitungan zone 2:

$$Z_{2min} = 1,2 \times 5,766 = 6,9192 \Omega$$

$$Z_{2max} = 0,8 (5,766 + (0,8 \times 9,3612 \times 2,75)) = 21,08 \Omega$$

$$XT = (12,05\% \times 150^2 \text{ kV}) / 60 \text{ MVA} = j45,1875 \Omega$$

$$Z_{2Trf} = 0,8 (5,766 + 0,5 (j45,1875)) = 4,6128 + j18,075 = 18,65 \angle 75,7^\circ \Omega$$

Perhitungan zone 3 dilakukan dengan mempertimbangkan impedansi ZL1 (Ngimbang–Babat), ZL3 sebagai impedansi terbesar setelah busbar (Babat–Bojonegoro), ZL4 sebagai impedansi terkecil setelah ZL3 (Bojonegoro–Cepu), serta batas maksimum delapan puluh persen impedansi trafo agar area proteksi tidak memasuki sisi sekunder trafo. Selain itu diperhitungkan pula infeed factor akibat adanya suplai tambahan dari Babat–Tanjung Awar-Awar. Nilai zone 3 dihitung menggunakan persamaan  $Z_{3min} = 1,2 (ZL1 + K \times ZL3)$ ,  $Z_{3max1} = 0,8 (ZL1 + (1,2 \times ZL3 \times K))$ , serta  $Z_{3max2} = 0,8 (ZL1 + 0,8 (ZL3 + 0,8 ZL4 \times K))$ , sedangkan batas proteksi trafo dihitung dengan  $ZTR = 0,8 (ZL1 + 0,5 XT)$ . Karena seluruh hasil  $Z_{3min}$ ,  $Z_{3max1}$ , dan  $Z_{3max2}$  melebihi batas delapan puluh persen impedansi trafo, maka ZTR dipilih sebagai setting zone 3 agar tetap menjaga selektivitas proteksi sesuai fungsi distance relay.

Rumus dan hasil perhitungan zone 3:

$$Z_{3min} = 1,2 (5,766 + 2,75 \times 14,529) = 54,8649 \Omega$$

$$Z_{3max1} = 0,8 (5,766 + (1,2 \times 14,529 \times 2,75)) = 42,9693 \Omega$$

$$Z_{3max2} = 0,8 (5,766 + 0,8 (14,529 + 0,8 \times 14,60 \times 2,75)) = 34,4681 \Omega$$

$$ZTR = 0,8 (5,766 + 0,8 (j46,87)) = 30,349 \angle 81,26^\circ \Omega$$

#### 4.2 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

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

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

$$Z2Trf = 0,8 (Z11 + kXT) = 0,8 (5,766 + 0,5 (j44,58)) = 4,6128 + j17,832 \Omega = 18,42 \angle 75,5^\circ \Omega$$

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

Nilai yang paling besar Adalah Z2 max dan tidak melebihi Z2Trafo maka Z2max 11,862  $\Omega$  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 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

$$Z3 \text{ min} = 1,2 (ZL1 + ZL3) = 1,2 (9,3612 + 8,966) = 21,9926 \Omega$$

$$Z3 \text{ max 1} = 0,8 (ZL1 + ((1,2 \times ZL3))) = 0,8 (9,3612 + (1,2 \times 6,533)) = 13,76064 \Omega$$

$$Z3 \text{ max 2} = 0,8(ZL1 + (0,8((ZL3 + 0,8 \times ZL4))) = 0,8 (9,3612 + (0,8(6,533 + 0,8 \times 2,303)) = 12,85 \Omega$$

$$ZTR = 0,8(ZL1 + (0,8 \times Xt)) = 0,8 (9,3612 + 0,8 (j44,58)) = 7,48896 + j28,5312 \Omega = 29,5 \angle 75,3^\circ \Omega$$

Nilai yang paling besar Adalah Z3 min dan tidak melebihi 80% impedansi trafo maka Z3 min dipilih sebagai *setting zone 3* yaitu 19,073  $\Omega$ .

Tabel 2. Perbandingan *Setting Distance Relay*

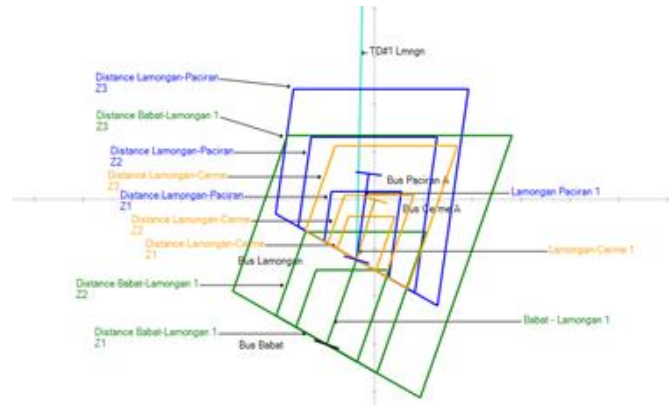
Nama Penghantar	Zona	<i>Setting</i> yang diterapkan	% dari impedansi L1	<i>Setting</i> Hasil Hitung	% dari impedansi L1	Selisih Hasil Hitung	Sebelum rekonduktoring	Selisih Sebelum rekonduktoring
Ngimbang - Babat	1	4,2 $\Omega$	72,84%	4,6128 $\Omega$	80%	8,95%	4,2 $\Omega$	0%
	2	7,56 $\Omega$	131,1%	6,9192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

Berdasarkan Tabel 2, pada saluran Babat–Lamongan terlihat bahwa perbedaan setting sebelum dan sesudah rekonduktoring mencapai 9,96%, sehingga langkah penyesuaian yang dilakukan sudah sangat tepat karena hasil setting baru mendekati hasil perhitungan dengan selisih kurang dari lima%; selain itu, Z1 telah memenuhi standar 80% dan nilai Z2 serta Z3 telah sesuai. Sementara itu, pada saluran Ngimbang–Babat, pengaturan distance relay yang digunakan masih sama seperti sebelum rekonduktoring sehingga belum dilakukan penyetelan ulang, di mana Z1 hanya mencakup 72,84% panjang saluran sehingga tidak memenuhi standar IEEE sebesar 80%, dan Z2 belum disesuaikan dengan impedansi baru Babat–Lamongan sebesar 9,3612 ohm karena masih mengacu pada impedansi Babat–Tanjung Awar-Awar sebesar 11,26 ohm yang lebih tinggi, sehingga berpotensi menyebabkan Z2 tidak menjangkau seluruh bagian saluran yang seharusnya diproteksi.

**4.3 Analisis Koordinasi dengan Simulasi ETAP**

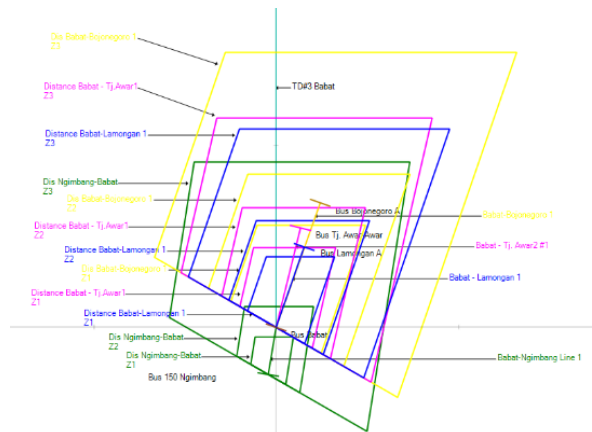
Untuk memvalidasi koordinasi dan mendeteksi *overlapping*, ketiga skenario *setting* (sebelum, sesudah, hasil hitung) disimulasikan.

1. **Setting Sebelum Rekonduktoring:** Simulasi menunjukkan bahwa Z3 relay Babat-Lamongan mengalami *overlapping* dengan Z3 relay Lamongan-Cerme (Gambar 2). Ini berisiko menyebabkan kedua *relay trip* untuk gangguan di satu lokasi, memperluas area pemadaman.



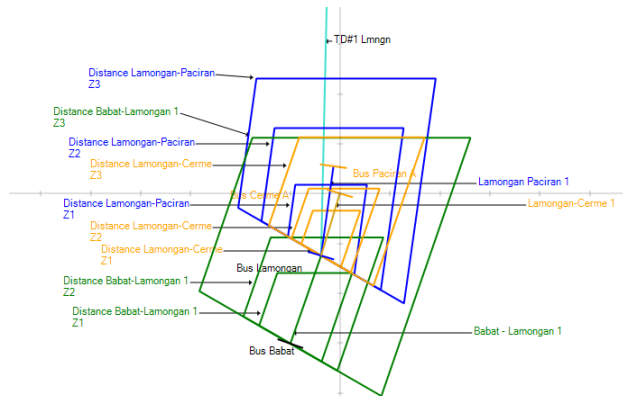
Gambar 2. Koordinasi Setting Eksisting Sebelum Rekonduktoring (Babat-Lamongan)

Sementara *setting distance relay* Ngimbang tidak menunjukkan *overlapping*, namun seperti telah dianalisis, nilainya tidak ideal.



Gambar 3. Koordinasi Setting Eksisting Sebelum Rekonduktoring (Ngimbang-Babat)

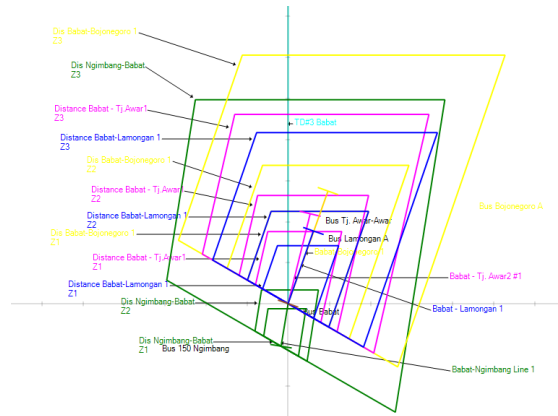
2. **Setting Sesudah Rekonduktoring (Eksisting):** *Setting* untuk Babat-Lamongan telah diperbaiki dan simulasi membuktikan tidak ada lagi *overlapping* (Gambar 3).



Gambar 4. Koordinasi Setting Eksisting Sesudah Rekonduktoring (Babat-Lamongan)

Untuk *setting distance relay* Ngimbang-Babat sama karena tidak ada reseting setelah rekonduktoring

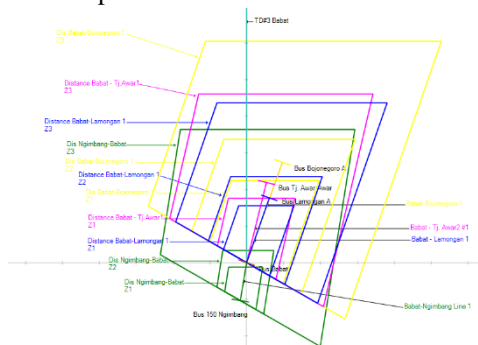
3. **Setting Hasil Perhitungan Penulis** : Simulasi untuk *setting* Ngimbang-Babat hasil perhitungan ( $Z1=4,6128\Omega$ ,  $Z2=6,9192\Omega$ ,  $Z3=30,349\Omega$ ) justru menunjukkan *overlapping* pada  $Z3$  dengan *relay* di depannya (Gambar 4). Hal ini terjadi karena perhitungan  $Z3$  teoritis melampaui batas koordinasi praktis.



Gambar 5. Koordinasi Setting Hasil Perhitungan Penulis (Ngimbang-Babat)

**4.4 Rekomendasi Setting dan Validasi Akhir**

Berdasarkan analisis komparatif dan hasil simulasi, disarankan penggunaan setting hybrid yang menggabungkan keunggulan antara setting eksisting dan hasil perhitungan. Pada jalur Babat–Lamongan, setting eksisting setelah rekonduktoring masih layak dipertahankan, sedangkan pada jalur Ngimbang–Babat diperlukan penyesuaian dengan mengganti nilai  $Z1$  dan  $Z2$  sesuai hasil perhitungan guna memenuhi standar serta menyesuaikan perubahan impedansi, sementara  $Z3$  tetap digunakan sesuai nilai eksisting sebesar 23,6631 ohm karena terbukti tidak menimbulkan *overlapping* dalam simulasi. Rekomendasi akhir untuk Ngimbang–Babat adalah  $Z1$  sebesar 4,6128 ohm,  $Z2$  sebesar 6,9192 ohm, dan  $Z3$  sebesar 23,6631 ohm, dengan hasil simulasi yang menunjukkan bahwa tidak terjadi *overlapping* dan koordinasi antar relay telah tercapai.



Gambar 6. Koordinasi Setting Rekomendasi untuk Ngimbang-Babat

## 5. 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  $11,26 \Omega$  impedansi paling rendah sebelum rekonduktoring Babat-Lamongan  $9,3612 \Omega$  sehingga 2 zona tersebut perlu diresetting.

## REFERENSI

- [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 Diponegoro, 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] SPLN T5.002-2:2021, "SPLN T5.002-2:2021 Pola Proteksi Saluran Transmisi" PT. PLN (Persero) No. 0256.K/DIR/2021
- [6] 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.
- [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.
- [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
- [12] A. J. Pansini, Guide to Electrical Power Distribution Systems, 6th ed. New York, NY, USA: CRC Press, 2005.
- [13] S. H. Horowitz and A. G. Phadke, *Power System Relaying*, 4th ed. Chichester, UK: Wiley, 2014.
- [14] Badan Standarisasi Nasional, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)," SNI 0225:2011, 2011.

- [15] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, *Power System Analysis*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1994.  
[16] C. R. Mason, *The Art and Science of Protective Relaying*. New York, NY, USA: Wiley, 1956.