

# Implementasi Relai Low Impedance Pada Gardu Induk 150 kV Lengkong Lama

Ahmad Hermawan<sup>a)</sup>, Priya Surya Harijanto<sup>\*a)</sup>, Fadhil Wiguno<sup>a)</sup>, Satria Luthfi Hermawan<sup>a)</sup>

(Received 20 April 2025 || Revised 16 Mei 2025 || Published 30 Juni 2025)

**Abstract:** The substation played a vital role in the distribution of electrical power from the generator to end users, requiring a reliable protection system to ensure continuity and safety. At the 150 kV Lengkong Substation, the existing busbar protection system used an electromechanical high impedance relai, which lacked the sensitivity, selectivity, and reliability demanded by current operational standards. This research aimed to improve the reliability of the substation's protection system by replacing the high impedance relai with a digital low impedance numerical relai (GE P746). The method involved direct field observation, data collection, and system testing, including individual relai tests, functional evaluations, and differential current calculations. Tap settings and wiring integration were adjusted to accommodate the new relai's configuration and performance standards issued by PT PLN (Persero) UIT JBB. The findings showed that the new relai functioned well in normal operation, block trip, and block all modes. The differential current ( $I_{diff}$ ) calculations at Busbar 1 and Busbar 2 yielded 9.32 A and 28.25 A respectively—both well below the 80 A protection threshold, indicating system stability and correct operation. These results confirmed that the upgraded relai system operated within the safe zone and did not trigger false trips. This study highlighted the necessity of modernizing protection systems across substations and recommended further integration with digital communication protocols such as IEC 61850 to enhance future grid reliability and responsiveness.

**Keywords:** Low impedance numerical relai (GE P746), IEC 61850, busbar protection, GI Lengkong

## 1. Pendahuluan

Pesatnya perkembangan sistem kelistrikan nasional terus mengalami peningkatan seiring dengan tumbuhnya kebutuhan energi di berbagai sektor, seperti industri, rumah tangga, dan fasilitas umum. Dalam konteks ini, Gardu Induk (GI) memiliki peran vital sebagai titik distribusi daya yang memastikan kestabilan dan kontinuitas pasokan listrik. Oleh karena itu, sistem proteksi yang andal menjadi elemen krusial guna menghindari kerusakan yang meluas akibat gangguan. Salah satu proteksi utama yang digunakan pada GI adalah sistem proteksi busbar, yang berfungsi mengamankan titik temu antar peralatan utama dalam gardu [1]. Tanpa sistem proteksi yang memadai, gangguan kecil pada busbar dapat menyebabkan pemadaman skala besar.

Namun demikian, sejumlah gardu induk di Indonesia, termasuk GI 150 kV Lengkong, masih menggunakan relai tipe high impedance berbasis elektromekanikal yang sudah usang dan tidak lagi sesuai dengan standar operasional PT PLN (Persero). Relai jenis ini memiliki keterbatasan dalam hal sensitivitas, kecepatan respon, dan fleksibilitas konfigurasi. Gangguan busbar yang tidak tertangani secara cepat dan tepat dapat berdampak sistemik terhadap jaringan transmisi. Contoh nyata dari kegagalan sistem proteksi terjadi di GI Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 500 kV Durikosambi, yang mengakibatkan blackout akibat ketidakseimbangan arus pada sistem relai diferensial [2]. Hal ini menekankan pentingnya transformasi sistem proteksi menuju teknologi yang lebih canggih dan adaptif.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji peran sistem proteksi busbar berbasis relai digital, seperti tipe low impedance numerik, dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan [3], [4]. Sistem proteksi terbaru telah mengadopsi fitur digital monitoring, pencatatan gangguan secara *real-time*, serta komunikasi berbasis protokol IEC 61850 [5]. Meski begitu, belum banyak implementasi nyata yang dilakukan secara menyeluruh di GI kelas menengah. Studi yang tersedia juga belum secara komprehensif membahas performa aktual sistem baru dalam konteks pengujian individual dan penghitungan arus diferensial di lapangan. Oleh karena itu, dibutuhkan studi empiris yang memperkuat bukti efektivitas sistem proteksi terkini pada kondisi operasional nyata [6].

Kesenjangan utama yang ditemukan adalah kurangnya dokumentasi dan analisis performa sistem proteksi *low impedance* numerik setelah diimplementasikan secara aktual. Banyak studi hanya fokus pada simulasi atau pendekatan teoritis tanpa disertai data pengujian di lapangan. Selain itu, belum ada evaluasi menyeluruh terkait kestabilan sistem saat gangguan maupun non-gangguan. Penelitian ini mencoba menjawab celah tersebut dengan pendekatan observasi lapangan, pengujian fungsional, serta verifikasi arus diferensial aktual. Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap standar implementasi relai digital pada sistem transmisi nasional.

Konsep baru yang ditawarkan dalam penelitian ini meliputi integrasi penuh relai numerik tipe GE P746 pada GI Lengkong, yang sebelumnya menggunakan relai *high impedance* konvensional. Pendekatan ini tidak hanya mencakup aspek penggantian perangkat keras, tetapi juga mencakup penyesuaian tap setting, rekayasa ulang sistem wiring, serta pengujian fungsi proteksi secara komprehensif. Penelitian ini juga mengangkat pentingnya dokumentasi proses pengujian fungsi trip, block trip, dan block all untuk meningkatkan keandalan operasional dan fleksibilitas sistem. Selain itu, dilakukan pula penghitungan arus diferensial ( $I_{diff}$ ) untuk memastikan proteksi bekerja dalam zona aman. Temuan ini diharapkan mendorong transformasi sistem proteksi di gardu induk lainnya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi performa sistem proteksi busbar berbasis relai low impedance numerik di GI 150 kV Lengkong, melalui analisis penggantian relai, pengujian individual, dan verifikasi parameter teknis. Penelitian ini juga bertujuan untuk menilai efektivitas pengaturan tap dan respons sistem terhadap beban aktual di lapangan. Dengan pendekatan observasional dan pengujian langsung, diharapkan hasil yang diperoleh dapat dijadikan acuan dalam proses modernisasi sistem proteksi di lingkungan PT PLN (Persero). Penelitian ini menjadi penting dalam rangka mendukung keandalan transmisi listrik yang semakin kompleks. Secara lebih luas, studi ini berkontribusi terhadap pengembangan sistem proteksi berbasis teknologi digital di era *smart grid*.

\*Korespondensi: priya.surya@polinema.ac.id

a) Program Studi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno – Hatta No 9, Malang, Indonesia

## 2. Metode

### 2.1 Material

Penelitian ini menggunakan beberapa material utama yang berfungsi dalam proses penggantian dan pengujian sistem proteksi busbar. Material utama yang digunakan adalah relai numerik GE P746, yang merupakan perangkat digital proteksi dengan kapabilitas *low impedance*. Relai ini memiliki sensitivitas tinggi dalam mendeteksi perbedaan arus, serta dilengkapi dengan fitur komunikasi digital berbasis IEC 61850 [7], memudahkan integrasi dengan sistem kontrol modern. Peralatan utama yang digunakan dalam kegiatan pengujian mencakup Omicron CMC 356 (Omicron, purity class  $\pm 0.1\%$ ), yang digunakan sebagai *injection test set* untuk pengujian arus dan tegangan pada relai. Alat ini mampu melakukan simulasi gangguan dan beban sesuai parameter sistem, serta mendukung pengujian dalam mode otomatis. Selain itu, Digital Multimeter Fluke 289 digunakan untuk mengukur tegangan DC dan arus secara presisi, dengan tingkat akurasi  $\pm 0.025\%$ .

Untuk instalasi dan konfigurasi sistem proteksi, digunakan laptop dengan software GE EnerVista P40 Agile, versi terbaru, yang berfungsi untuk mengatur tap setting serta membaca log gangguan. Brand perangkat lunak yang digunakan merupakan keluaran resmi dari GE dan telah diuji kompatibilitasnya dengan seri P746 [8]. Penggunaan perangkat lunak ini memudahkan proses integrasi data setting dan konfigurasi PSL (*Programmable Scheme Logic*) secara fleksibel dan efisien [9]. Material lain seperti kabel kontrol dan terminal block digunakan sebagai penunjang tetapi tidak dijelaskan secara rinci karena tidak termasuk dalam kategori alat utama. Semua peralatan diuji sebelum digunakan dan telah lolos proses kalibrasi serta sertifikasi sesuai standar internal PT PLN (Persero).

### 2.2 Metode Penelitian

Penelitian ini disusun dengan pendekatan kuantitatif eksperimental yang mengedepankan verifikasi performa sistem proteksi melalui tahapan pengamatan lapangan, pemasangan alat, pengujian sistem, hingga analisis hasil uji berdasarkan parameter teknik yang telah ditetapkan. Penelitian dilaksanakan di GI 150 kV Lengkong dan berlangsung selama 30 hari kerja, dimulai dari survei hingga aktivasi akhir. Langkah pertama adalah survei lokasi, dengan tujuan mengidentifikasi kondisi eksisting panel proteksi, konfigurasi busbar, serta posisi penempatan relai baru. Survei ini juga mencakup peninjauan jalur kabel dan suplai daya AC dan DC, serta pencatatan posisi pemutus tenaga (PMT) dan disconnecter (DS) pada setiap bay. Tahapan kedua adalah desain penggantian sistem, yang mencakup pemetaan ulang koneksi wiring dan penyusunan skema logika PSL baru yang sesuai dengan standar proteksi busbar low impedance. Referensi utama yang digunakan dalam desain ini adalah IEEE Std C37.234™-2021 [12] dan buku *Protective Relays: Their Theory and Practice* oleh A.R. van Warrington [15]. Langkah selanjutnya adalah pemasangan fisik peralatan, yaitu proses penggantian relai lama (GEC Alstom MCAG) dengan relai numerik GE P746. Prosedur ini mencakup pemutusan suplai panel lama, penyambungan ulang kabel kontrol ke panel baru, dan pengukuran awal suplai DC dengan multimeter untuk memastikan keamanan tegangan kerja. Setelah pemasangan, dilakukan pengaturan tap setting sesuai data parameter dari Subbidang Harproteksi Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Barat (UIT JBB). Penyesuaian dilakukan melalui perangkat lunak GE EnerVista, dengan input data seperti Iset, Tms, dan parameter pickup. Setting ini diuji dalam lingkungan simulasi

sebelum diterapkan ke sistem aktual. Langkah berikutnya adalah pengujian individual menggunakan Omicron CMC 356, yang mencakup pengujian arus pada masing-masing bay dan validasi karakteristik trip sesuai nilai arus nominal. Hasil dari pengujian ini dianalisis secara statistik dan dibandingkan terhadap setting awal untuk menilai akurasi dan konsistensi performa relai. Pengujian selanjutnya adalah fungsi operasi relai, yang meliputi uji *Normal Operation*, *Block Trip*, dan *Block All*. Bay diuji dalam keadaan offline, dan arus uji disuntikkan untuk melihat apakah relai merespons sesuai fungsi yang diinginkan. Ketiga mode ini diverifikasi melalui rekaman data pada EnerVista dan inspeksi status kontak. Setelah semua bay berhasil diuji secara individual dan fungsional, dilakukan perhitungan arus diferensial (Idiff) berdasarkan hukum Kirchhoff. Perhitungan ini menggunakan data aktual beban bay pada pukul 19.00 [11], dengan Persamaan (2-1).

$$I_{diff} = \sum I_{masuk} - \sum I_{keluar} \quad (2-1)$$

Perhitungan ini penting untuk memastikan bahwa sistem proteksi tidak salah deteksi dan tetap dalam zona aman operasi. Sebagai validasi akhir, dilakukan uji stabilitas sistem dan aktivasi trip relai [14]. Prosedur ini mensyaratkan pemadaman dua bay sekaligus untuk simulasi kondisi beban dan gangguan aktual. Uji stabilitas on-load merupakan bagian penting untuk memastikan relai hanya bekerja pada kondisi gangguan sebenarnya dan tidak menimbulkan *false trip*. Metodologi ini secara keseluruhan mengacu pada pendekatan eksperimen sistem proteksi sebagaimana dijelaskan dalam Grid Code ESDM No. 20 Tahun 2020 [13]. Instrumen tambahan di penelitian ini antara lain:

- Software: GE EnerVista P40 Agile untuk konfigurasi parameter dan pembacaan histori event relai.
- Standard Acuan:
  - IEEE Std C37.234™-2021;
  - IEC 61850 untuk komunikasi digital;
  - Panduan teknis internal PT PLN (Persero) UIT JBB.

Teknik analisis data yang dipakai di penelitian ini yaitu:

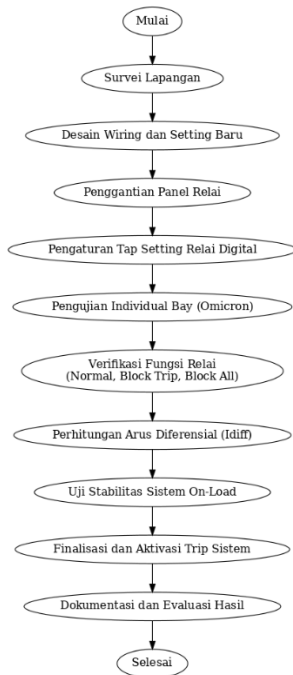
- data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode komparatif antara hasil aktual dan nilai setting;
- data perhitungan Idiff dievaluasi terhadap batas nilai setting untuk menentukan tingkat sensitivitas proteksi;
- hasil analisis ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi performa relai.

Gambar 2.1 merupakan diagram alir dari penelitian ini.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Penggunaan Relai Buspro Low Impedance

Selain penggantian relai buspro lama *high impedance* ke *low impedance* tipe *centralized*, pada waktu yang sama dilakukan *uprating* beberapa Material Utama (MTU) di GI Lengkong untuk keandalan sistem. Adapun dalam penggantianannya, peneliti merujuk pada pola yang sama dalam persyaratan, yakni data relai baru, tap setting baru dan integrasi pengkabelan dari relai lama ke relai baru. Busbar proteksi yang baru menggunakan pabrikan GE dengan beragram fitur pendukung untuk dapat menganalisa kinerja relai, pencatatan saat gangguan. Pemantauan status DS secara langsung. Relai ini berjenis numerik karena memiliki banyak komponen elektro di dalamnya dalam mendukung kinerjanya. Berikut data relai yang terpasang di GI Lengkong ditunjukkan pada Tabel 3.1.



GAMBAR 2.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

TABEL 3.1. DATA RELAI EKSISTING GI LENGKONG

| NO. | MERKEK | TYPE | FUNGSI                                                       | NO.SERI         |
|-----|--------|------|--------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1   | GE     | P746 | Kopel, Trafo 1, Trafo 3, Lengkong baru 1 dan Lengkong baru 2 | 345614294/03/22 |
| 2   | GE     | P746 | Trafo 2, Kapasitor 1, Trafo 4, Bsd 1 dan Bsd 2               | 345614295/03/22 |
| 3   | GE     | P746 | Spare 1, Spare 2 dan Spare 3                                 | 345614296/03/22 |

### 3.2 Pengujian dan Analisis Relai Buspro Low Impedance

Pemasangan baru MTU harus mengalami proses pengujian, relai juga merupakan bagian MTU pada sistem transmisi. Dalam mengoptimalkan fungsi relai maka perlu tahapan penyetingan dan pengujian. Tap setting untuk penggantian Relai Busbar Proteksi di Gardu Induk Lengkong dikeluarkan oleh Sub Bidang Har Proteksi UIT JBB. Beberapa hasil pengujian antara lain ditunjukkan pada Tabel 3.2. dan Tabel 3.3.

TABEL 3.2 HASIL UJI INDIVIDUAL TRIPING RELAI BUSBAR PROTEKSI

| No. | Nama Bay        | I <sub>set</sub> | I <sub>P</sub> (A) | I <sub>R</sub> (A) | Rating (%) | T <sub>ms</sub> (s) |
|-----|-----------------|------------------|--------------------|--------------------|------------|---------------------|
| 1   | Trafo 1         | 2400             | 2388               | 2380               | 99.6%      | 0.0341              |
| 2   | Trafo 2         | 2400             | 2395               | 2385               | 99.5%      | 0.0453              |
| 3   | Trafo 3         | 2400             | 2392               | 2383               | 99.6%      | 0.0439              |
| 4   | Trafo 4         | 2400             | 2400               | 2390               | 99.5%      | 0.0332              |
| 5   | Kapasitor 1     | 2400             | 2386               | 2379               | 99.7%      | 0.0358              |
| 6   | Lengkong Baru 1 | 2400             | 2398               | 2385               | 99.4%      | 0.0445              |
| 7   | Lengkong Baru 2 | 2400             | 2398               | 2378               | 99.5%      | 0.0432              |
| 8   | BSD1-1          | 2400             | 2400               | 2385               | 99.3%      | 0.0456              |
| 9   | BSD1-2          | 2400             | 2398               | 2387               | 99.5%      | 0.0471              |
| 10  | Kopel           | 2400             | 2388               | 2375               | 99.4%      | 0.0389              |

TABEL 3.3 HASIL UJI INDIVIDUAL KARAKTERISTIK RELAI BUSBAR PROTEKSI BAY TRAF0 1 DAN KAPASITOR

| Bay Trafo 1 dan Kapasitor |        |        |        |       |        |
|---------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Phase                     | R      |        |        |       |        |
| I <sub>1</sub> (A)        | 0.525  | 0.54   | 0.56   | 0.64  | 0.665  |
| I <sub>2</sub> (A)        | 1      | 1.2    | 1.4    | 1.6   | 1.8    |
| I <sub>h</sub> (A)        | 0.7625 | 0.87   | 0.98   | 1.12  | 1.2325 |
| I <sub>d</sub> (A)        | 0.475  | 0.66   | 0.84   | 0.96  | 1.135  |
| Phase                     | S      |        |        |       |        |
| I <sub>1</sub> (A)        | 0.53   | 0.545  | 0.565  | 0.64  | 0.67   |
| I <sub>2</sub> (A)        | 1      | 1.2    | 1.4    | 1.6   | 1.8    |
| I <sub>h</sub> (A)        | 0.765  | 0.8725 | 0.9825 | 1.12  | 1.235  |
| I <sub>d</sub> (A)        | 0.47   | 0.655  | 0.835  | 0.96  | 1.13   |
| Phase                     | T      |        |        |       |        |
| I <sub>1</sub> (A)        | 0.52   | 0.55   | 0.56   | 0.65  | 0.68   |
| I <sub>2</sub> (A)        | 1      | 1.2    | 1.4    | 1.6   | 1.8    |
| I <sub>h</sub> (A)        | 0.76   | 0.875  | 0.98   | 1.125 | 1.24   |

|                    |      |      |      |      |      |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| I <sub>d</sub> (A) | 0.48 | 0.65 | 0.84 | 0.95 | 1.12 |
|--------------------|------|------|------|------|------|

### 3.3 Pengujian Fungsi Relai Buspro Low Impedance

Uji fungsi dalam lingkungan PT.PLN (Persero) khususnya bidang transmisi bertujuan untuk menguji kesiapan semua fungsi, dari setting relai, hingga suatu bay dapat trip. Untuk itu pengujian fungsi diperlukan. Metode pengujian yakni bay dalam keadaan *offline* dan status PMT *Closed* selanjutnya akan diberi arus uji. Dari situ dilihat bagaimana reaksi bay itu apakah trip atau tidak. Hal ini perlu dilakukan untuk melihat kesiapan semua peralatan.

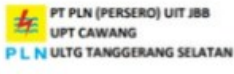
Sistem busbar proteksi pada GI 150kV Lengkong sendiri memiliki beberapa fungsi yakni:

1. *normal operation* (fungsi normal);
2. *block trip* (relai masih berfungsi tetapi output trip diputus);
3. *block all* (relai tidak bisa merespon apapun).

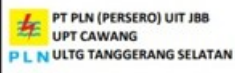
Fungsi itu bertujuan ketika operasi busbar normal,

pemeliharaan rutin atau bila ada pekerjaan di busbar, dan bila ada keadaan darurat yang mengharuskan sistem busbar proteksi non aktif sehingga tidak perlu mematikan relai, cukup dengan saklar

saja. Gambar 4.1 menampilkan tangkapan layar dokumen hasil uji fungsi busbar 1 dan Gambar 4.2 merupakan tangkapan layar dokumen hasil uji fungsi busbar 2.

|  <p style="text-align: center;"><b>PENGUJIAN FUNGSI PENGAMAN DAN INDIKASI</b></p> <p>LOKASI GI/ GITET : GILKONGKONG<br/>BAY : BUSBAR 1</p> <p style="text-align: right;">TANGGAL : 8 OKTOBER 2022</p> |                       |                                                     |       |          |                                 |                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|-------|----------|---------------------------------|----------------------------|------------|
| NO                                                                                                                                                                                                                                                                                     | OBJEK PENGAMAN        | SIMULASI GANGGUAN                                   | ALARM | PMT TRIP | PANEL RELAY                     | PANEL KONTROL              | CHECK TRIP |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                      | BUSBAR PROTEKSI RELAY | INJEK ARUS 1.2xln A PHASE R normal operation switch | V     | V        | ALARM PHASE RST, TRIP PHASE RST | BUSBAR PROTECTION OPERATED | F861       |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                      | BUSBAR PROTEKSI RELAY | INJEK ARUS 1xln A PHASE R normal operation switch   | V     | -        | ALARM PHASE RST                 | -                          | -          |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                      | BUSBAR PROTEKSI RELAY | INJEK ARUS 1.2xln A PHASE R BLOCK TRIP switch       | V     | -        | ALARM PHASE RST, TRIP PHASE RST | BUSBAR PROTECTION OPERATED | -          |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                      | BUSBAR PROTEKSI RELAY | INJEK ARUS 1xln A PHASE R BLOCK TRIP switch         | V     | -        | ALARM PHASE RST                 | -                          | -          |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                      | BUSBAR PROTEKSI RELAY | INJEK ARUS 1.2xln A PHASE R BLOCK ALL switch        | -     | -        | -                               | -                          | -          |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                      | BUSBAR PROTEKSI RELAY | INJEK ARUS 1.2xln A PHASE R BLOCK ALL switch        | -     | -        | -                               | -                          | -          |

GAMBAR 4.1 HASIL UJI FUNGSI BUSBAR 1 GARDU INDUK 150kV LENGKONG

|  <p style="text-align: center;"><b>PENGUJIAN FUNGSI PENGAMAN DAN INDIKASI</b></p> <p>LOKASI GI/ GITET : GILKONGKONG<br/>BAY : BUSBAR 2</p> <p style="text-align: right;">TANGGAL : 13 OKTOBER 2022</p> |                       |                                                     |       |          |                                 |                            |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|-------|----------|---------------------------------|----------------------------|------------|
| NO                                                                                                                                                                                                                                                                                      | OBJEK PENGAMAN        | SIMULASI GANGGUAN                                   | ALARM | PMT TRIP | PANEL RELAY                     | PANEL KONTROL              | CHECK TRIP |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                       | BUSBAR PROTEKSI RELAY | INJEK ARUS 1.2xln A PHASE R normal operation switch | V     | V        | ALARM PHASE RST, TRIP PHASE RST | BUSBAR PROTECTION OPERATED | F861       |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                       | BUSBAR PROTEKSI RELAY | INJEK ARUS 1xln A PHASE R normal operation switch   | V     | -        | ALARM PHASE RST                 | -                          | -          |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                       | BUSBAR PROTEKSI RELAY | INJEK ARUS 1.2xln A PHASE R BLOCK TRIP switch       | V     | -        | ALARM PHASE RST, TRIP PHASE RST | BUSBAR PROTECTION OPERATED | -          |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                       | BUSBAR PROTEKSI RELAY | INJEK ARUS 1xln A PHASE R BLOCK TRIP switch         | V     | -        | ALARM PHASE RST                 | -                          | -          |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                       | BUSBAR PROTEKSI RELAY | INJEK ARUS 1.2xln A PHASE R BLOCK ALL switch        | -     | -        | -                               | -                          | -          |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                       | BUSBAR PROTEKSI RELAY | INJEK ARUS 1.2xln A PHASE R BLOCK ALL switch        | -     | -        | -                               | -                          | -          |

GAMBAR 4.2. HASIL UJI FUNGSI BUSBAR 2 GARDU INDUK 150kV LENGKONG

### 3.4 Perhitungan Arus Pada Busbar Proteksi Gardu Induk 150kV Lengkong

Perhitungan arus pada relai busbar proteksi menggunakan sifat dasar hukum Kirchoff 1 yaitu  $I_{in} + I_{out} = 0$ , artinya arus yang datang

dan yang keluar nilainya sama. Terdapat jarak pada perhitungan yang disebut proteksi differential. Untuk itu peneliti menentukan Idiff pada relai busbar proteksi secara perhitungan. Untuk mendapatkan Idiff tersebut maka diperlukan data beban Gardu Induk 150kV Lengkong, dan dapat ditunjukkan pada Tabel 3.4.

TABEL 3.4. DATA BEBAN GARDU INDUK 150 kV LENGKONG PUKUL 19.00

| Nama Bay        | Busbar | kV     | AMP    | MW     | MVAR  | Status |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Lengkong Baru 1 | 1      | 150,6  | 425    | 108,68 | 21,31 | Terima |
| Lengkong Baru 2 | 2      | 150,2  | 438    | 111,96 | 22,57 | Terima |
| BSD 1           | 1      | 151    | 230    | 56,75  | 13,12 | Kirim  |
| BSD 2           | 2      | 151    | 225    | 55,66  | 13,33 | Kirim  |
| TRAFO 1         | 1      | 147,77 | 156,1  | 40,26  | 3,34  | Kirim  |
| TRAFO 2         | 2      | 149,56 | 36,75  | 10,54  | 0,31  | Kirim  |
| TRAFO 3         | 1      | 148,6  | 48,229 | 14,81  | 1,75  | Kirim  |
| TRAFO 4         | 2      | 147,8  | 148    | 39,58  | 4,27  | Kirim  |

### 3.5 Perhitungan Idiff Busbar 1

Penyetelan Idiff Busbar 1 oleh UIT JBB sebesar 80 A dan penyetelan hasil perhitungan hanya 9,32 A, sehingga masih pada toleransi yang diterima relai. Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2-1).

$$Idiff_{busbar\ 1} = I_{lb1} + I_{bsd1} + I_{t1} + I_{t3} +$$

$$Idiff_{busbar\ 1} = 425 + \{(-230) + (-156.1) + (-48.22)\}$$

$$Idiff_{busbar\ 1} = 9.32\ A$$

### 3.6 Perhitungan Idiff Busbar 2

Penyetelan Idiff Busbar 1 oleh UIT JBB sebesar 80 A dan penyetelan hasil perhitungan sebesar 28.25 A, sehingga masih

pada toleransi yang diterima relai. Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2-1).

$$Idiff\ busbar\ 2 = Ilb2 + Ibsd2 + It2 + It4 + Idiff\ busbar\ 2 = 438 + \{(-225) + (-36.75) + (-148)\}$$

$$Idiff\ busbar\ 2 = 28.25\ A$$

### 3.7 Pola Penggantian Relai Busbar Proteksi Gardu Induk 150 kV Lengkong

Pola penggantian relai busbar proteksi gardu induk 150 kV lengkung dari *high impedance* ke *low impedance* ialah urutan pekerjaan selama penggantian ini berlangsung. Hal ini meliputi survei lapangan terlebih dahulu, melengkapi dokumen administrasi, pengarahan dan doa berama sebelum memulai pekerjaan, penggantian kabel, Penggantian Relai, pengujian Relai. Secara detail diuraikan sebagai berikut.

#### 3.7.1 Survei Lapangan

Kegiatan ini meliputi pihak yang mengerjakan suatu penggantian mengumpulkan data nyata pada Gardu Induk 150 kV lengkung. Data – data tersebut menjadi dasar menentukan pola kerja selanjutnya. Berikut ini hal-hal yang diperhatikan dalam survei lapangan.

1. Jalan dan lingkungan masyarakat.
2. Letak panel baru.
3. Jalur kabel dan suplai ac dan dc.
4. Letak material pekerjaan.
5. Relai dan gambar wiring

#### 3.7.2 Dokumen Administrasi

Untuk memasuki suatu wilayah atau kawasan pasti memiliki beberapa dokumen persyaratan. Pada PT.PLN (Persero) UIT JBB pula mempunyai beberapa persyaratan. Untuk proses survei sendiri untuk memasuki suatu gardu induk yang dibutuhkan yakni ijin kerjaya dapat diperoleh secara daring. Pada tahapan pekerjaan, pihak yang melaksanakan pekerjaan harus membuat instruksi kerja yang diperiksa oleh tim khusus PT.PLN (Persero). Barang yang dikirim harus menyertakan surat jalan dari suatu tempat yang menuju ke gardu induk.

#### 3.7.3 Pengarahan Keamanan

Pada umumnya disebut *safety briefing* yakni kegiatan awal sebelum pekerjaan dimulai, pengarahan dari pengawas manuver, pengawas pekerjaan, pengawas K3 dan Pengwas project. Dalam moment ini pula ditunjukan area – area aman dan area – area yang berbahaya bersama – sama semua pihak agar dapat bisa dipahami bersama.

#### 3.7.4 Penggantian Kabel

Penggantian kabel ini bertujuan untuk memudahkan dalam pekerjaan dikarenakan panjang kabel, ukuran kabel dan fungsi fungsi kabel antara relai lama dan yang baru berbeda. Penggantian ini bertujuan untuk memaksimalkan ruang kabel yang ada, tidak ditimbun seperti itu saja bila tidak terpakai.

#### 3.7.5 Penggantian relai

Tahapan penggantian relai adalah sebagai berikut .

1. Pengukuran tegangan suplai DC.
2. Penonaktifan fungsi busbar proteksi di panel lama.
3. Penonaktifan suplai AC dan DC pada panel busbar proteksi lama.
4. Penyambungan suplai AC dan DC pada panel busbar proteksi baru.
5. Wiring pada panel busbar proteksi baru.
6. Menginput data seting dan PSL kedalam relai.
7. Pengukuran tegangan suplai DC.

#### 3.7.6 Pengujian Relai

Dalam tahapan ini sebelum pengujian diperlukan bay untuk padam. Pada busbar proteksi tidak bisa padam sendiri di fasilitas pengujian stabilitasnya, maka diperlukan padam 2 bay untuk pengujiannya. Hal tersebut dapat memperkecil jam padam suatu peralatan yang membuatnya evisien. Lebih lengkapnya tahapan dalam pengujian relai adalah sebagai berikut [10].

1. Proses pemadaman Bay.
2. *Safety briefing*.
3. Penyambungan pada core CT pada Bay Lama serta penyambungan status DS dan PMT
4. Pengujian individu relai.
5. Pengujian fungsi busbar proteksi.
6. Pengujian stabilitas.
7. *Blocking tripping*.
8. Penormalan bay
9. Pengujian *stability onload*.

Setelah semua bay sudah diintegrasikan ke dalam sistem busbar proteksi yang baru maka ada 1 hal lagi yakni aktivasi tripping. Hal ini dilakukan pada pekerjaan bay terakhir untuk memastikan semua aman. Setelah tripping dinormalkan hal tersebut menandai proses penggantian relai busbar proteksi sudah selesai.

### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menyoroti urgensi penggantian sistem proteksi busbar dari *high impedance* ke *low impedance* pada Gardu Induk 150 kV Lengkong untuk meningkatkan keandalan sistem transmisi. Penggunaan relai numerik GE P746 menggantikan relai *electromechanical* lama telah diterapkan secara menyeluruh, mencakup pemasangan, pengujian individual, uji fungsi, serta verifikasi performa sistem sesuai standar proteksi PT PLN (Persero). Hasil pengujian menunjukkan bahwa relai *low impedance* mampu menjalankan tiga mode operasi utama, yaitu *normal operation*, *block trip*, dan *block all*, yang mendukung fleksibilitas operasional dan pemeliharaan sistem. Pengujian individual dan uji fungsi menyatakan bahwa semua parameter bekerja sesuai dengan *tap setting* dan memenuhi kriteria teknis dari Subbidang Harproteksi UIT JBB. Berdasarkan data beban aktual Gardu Induk, perhitungan arus diferensial (*Idiff*) pada Busbar 1 adalah 9,32 A dan pada Busbar 2 sebesar 28,25 A. Kedua nilai ini jauh di bawah batas setting proteksi 80 A, yang menunjukkan bahwa sistem proteksi bekerja dalam zona aman dan tidak memicu gangguan palsu (*false trip*), serta mampu mendeteksi gangguan aktual dengan akurat.

Temuan ini mendukung hasil penelitian sebelumnya seperti oleh Miftahul Khoiri dan Muslim (2017) serta Fauzi Ahmad dkk.[2], yang merekomendasikan migrasi ke sistem *low impedance*. Ke depan, pengembangan dapat diarahkan pada integrasi sistem proteksi dengan komunikasi digital berbasis IEC 61850 serta pengujian performa sistem dalam kondisi gangguan nyata guna

mengevaluasi stabilitas dan kecepatan tanggapnya secara menyeluruh.

### Referensi

- [1] S. L. Hermawan, H. R. N. Hermawan, P. S. Harijanto, dan A. Hermawan, "Evaluasi Kinerja Sistem Proteksi Penyulang Trawas PT. PLN (PERSERO) ULP Pandaan," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 11, no. 2, pp. 122–127, Jun. 2024, doi: 10.33795/elposys.v11i2.5249
- [2] M. Khoiri dan Muslim, "Analisa Gangguan Rele Differential Busbar di GISTET 500 kV Durikosambi Jakarta Barat," *Jurnal Ilmiah*, vol. 2, no. 1, pp. xx–xx, 2017.
- [3] F. Ahmad, I. G. D. Arjana, dan I. C. G. Partha, "Perancangan Sistem Pengaman Busbar 150 kV Menggunakan Rele Diferensial di Gardu Induk Sanur," *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, vol. 7, no. 102, pp. xx–xx, 2020.
- [4] I. M. D. Purnawan, I. G. Arjana, dan I. W. Rinas, "Studi Pengaman Busbar pada Gardu Induk Amlapura," *Jurnal Elektronika dan Energi*, vol. 2, no. 3, pp. xx–xx, 2016.
- [5] R. Yusmartato, R. Nasution, dan A. Armansyah, "Menentukan Setting Rele Diferensial Pada Bus-Bar Di Gardu Induk Paya Pasir Medan," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 3, no. 48, pp. xx–xx, 2017.
- [6] J. Y. Siallagan, A. Tanjung, dan Arlenny, "Studi Kebutuhan Perencanaan Pemasangan Busbar Proteksi pada Gardu Induk Dumai PT. PLN (Persero) UPT Pekanbaru," *Jurnal Energi dan Infrastruktur*, vol. 3, no. 96, pp. 94–103, 2021.
- [7] S. H. L. Gilani, X. Dong, dan H. Xu, "New Principle of Busbar Protection Based on Active Power and Extreme Learning Machine," *IEEE Access*, vol. 7, no. 5, pp. xx–xx, 2020.
- [8] M. M. Eissa, "Developing Busbar Protection with New Differential Characteristics to Solve the Breakpoint Settings of Digital Commercial Relays," *Electric Power Systems Research*, vol. 98, pp. xx–xx, 2018.
- [9] D. A. C. Lima et al., "Review of Bus Differential Protection Using IEC 61850," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 24, pp. 9537–9545, 2022.
- [10] Karyono, *Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*, Jakarta: PLN, 2013.
- [11] N. Haryanto, dkk., *Dasar Analisis Hubung Singkat dalam PowerFactory*, Makassar: ITB Press, 2022.
- [12] IEEE Std C37.234™-2021, *Guide for Protective Relay Applications to Power System Buses*, IEEE Power & Energy Society, 2021.
- [13] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 20 Tahun 2020, *Tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code)*, ESDM, 2020.
- [14] T. A. Short, *Electric Power Distribution Handbook*, 2nd ed., Boca Raton, FL: CRC Press, 2014.
- [15] A. R. Van C. Warrington, *Protective Relays: Their Theory and Practice*, vol. 1, 3rd ed., London: Chapman & Hall, 1994.