

# MULTIFEEDER CONFIGURATION FOR FAULT ISOLATION IN INCOMING CUBICLE

Penggunaan Multifeeder untuk Mengatasi Gangguan di Kubikel Incoming

Zefanya Palit, Lily Stiowaty Patras, Glanny Martial C Mangindaan

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : [zefanyapalit023@student.unsrat.ac.id](mailto:zefanyapalit023@student.unsrat.ac.id), [patraslily48@gmail.com](mailto:patraslily48@gmail.com), [glanny\\_m@unsrat.ac.id](mailto:glanny_m@unsrat.ac.id)

Received: [date]; Revised: [date]; Accepted: [date]

**Abstract** — The Paniki 150/20 kV Substation plays a critical role in distributing power to five main feeders. The current protection system, which uses a single busbar configuration, has limited selectivity during multi-feeder faults. This study aims to evaluate the performance of the existing system and compare two alternative configurations—double busbar and one and a half breaker busbar—through manual calculations based on actual data, without simulation software. The results indicate that during a three-feeder fault, the existing system fails to maintain selectivity due to cumulative fault current exceeding the transformer OCR setting. The double busbar configuration improves flexibility but still poses a risk of tripping time overlap. In contrast, the one and a half breaker busbar effectively isolates faults locally without tripping the transformer side. Therefore, the one and a half breaker busbar is recommended to enhance the protection system's reliability at the Paniki Substation.

**Keywords:** Substation Protection; Substation Protection; Overcurrent Relay; Selectivity Coordination;

**Abstrak** — Gardu Induk Paniki 150/20 kV merupakan GI penting yang menyalurkan energi ke lima penyulang utama. Sistem proteksi eksisting yang mengandalkan konfigurasi busbar tunggal menunjukkan keterbatasan selektivitas saat terjadi gangguan pada lebih dari satu penyulang. Studi ini bertujuan mengevaluasi performa sistem proteksi eksisting dan membandingkan dua konfigurasi alternatif, yakni double busbar dan one and a half breaker busbar, dalam merespons skenario gangguan multipenyulang. Metode yang digunakan adalah perhitungan manual berbasis data aktual tanpa bantuan perangkat lunak simulasi. Hasil menunjukkan bahwa pada gangguan tiga penyulang, sistem eksisting gagal menjaga selektivitas karena arus kumulatif melebihi batas setting OCR trafo. Konfigurasi double busbar menawarkan peningkatan fleksibilitas, namun tetap berisiko overlap waktu trip. Sebaliknya, konfigurasi one and a half breaker busbar mampu mengisolasi gangguan secara lokal tanpa memicu trip pada sisi trafo. Dengan demikian, konfigurasi one and a half breaker direkomendasikan sebagai solusi untuk meningkatkan keandalan sistem proteksi di GI Paniki.

**Kata kunci :** Proteksi Gardu Induk; Konfigurasi Busbar; Relay Arus Lebih; Koordinasi Selektivitas.

## I. PENDAHULUAN

Dalam sistem tenaga listrik, selektivitas dan keandalan sistem proteksi merupakan faktor utama untuk menjaga kontinuitas penyaluran energi. Ketika terjadi gangguan, sistem proteksi harus mampu mengisolasi bagian yang terganggu secara cepat dan tepat tanpa mengganggu suplai ke beban lain yang masih sehat.

Gardu Induk (GI) Paniki 150/20 kV merupakan salah satu GI strategis yang menyalurkan energi ke lima penyulang utama. Sistem proteksi yang digunakan pada sisi distribusi 20 kV masih mengandalkan koordinasi antara relay arus lebih (Overcurrent Relay/OCR) dan relay gangguan tanah (Ground Fault Relay/GFR). Namun, pada kondisi tertentu seperti gangguan yang terjadi secara bersamaan pada lebih dari satu penyulang (multipenyulang), sistem proteksi tidak mampu bekerja secara selektif. Akumulasi arus gangguan dapat menyebabkan relay pada sisi trafo bekerja lebih cepat daripada relay penyulang, sehingga memicu trip incoming dan menyebabkan pemadaman menyeluruh.

Kondisi ini menunjukkan adanya keterbatasan dari konfigurasi busbar eksisting yang masih berupa single atau partial double busbar. Oleh karena itu, diperlukan solusi teknis berupa evaluasi dan perbandingan konfigurasi alternatif, seperti double busbar dan one and a half breaker busbar, untuk meningkatkan selektivitas dan keandalan sistem.

Penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis data aktual dari GI Paniki, dengan perhitungan manual arus gangguan dan simulasi logika proteksi. Tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik gangguan multipenyulang, mengevaluasi sistem proteksi eksisting, serta menilai efektivitas konfigurasi busbar alternatif dalam mengisolasi gangguan secara lokal dan mencegah padam total.

## II. METODE

### A. Sistem Gardu Induk dan Peralatan Proteksi

Gardu Gardu Induk (GI) Paniki 150/20 kV dilengkapi dengan sejumlah peralatan utama yang menunjang fungsi transformasi dan distribusi tenaga listrik, serta mendukung sistem proteksi. Peralatan tersebut meliputi:

#### 1. Transformator

GI Paniki menggunakan dua unit transformator daya berkapasitas 30 MVA dan 60 MVA. Transformator ini berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 150 kV menjadi 20 kV, dan dilengkapi dengan winding tersier serta sistem proteksi internal. Impedansi transformator menjadi dasar dalam perhitungan arus gangguan.

#### 2. Circuit Breaker (CB)

CB berfungsi sebagai pemutus tenaga yang akan membuka sirkuit saat terjadi gangguan. Jenis yang digunakan di GI Paniki adalah pemutus berbasis gas SF<sub>6</sub> dengan kapasitas pemutusan arus hingga 40 kA selama 3 detik. CB dikendalikan oleh sinyal dari relay proteksi.

#### 3. Pemisah (Disconnecting Switch/PMS)

PMS digunakan untuk memisahkan bagian sistem saat dilakukan pemeliharaan. Dalam sistem double busbar, PMS juga berfungsi sebagai selector switch untuk menghubungkan penyulang ke salah satu dari dua busbar.

#### 4. Current Transformer dan Potential Transformer

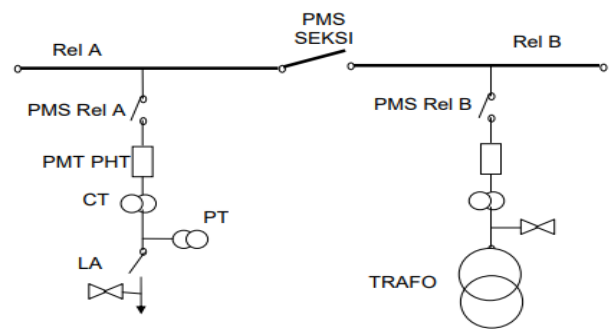
CT dan PT digunakan untuk mengukur arus dan tegangan pada sistem tegangan tinggi. Nilai ini kemudian digunakan sebagai input pada sistem proteksi dan pengukuran, terutama untuk mengoperasikan relay OCR dan GFR.

#### 5. Relay Proteksi

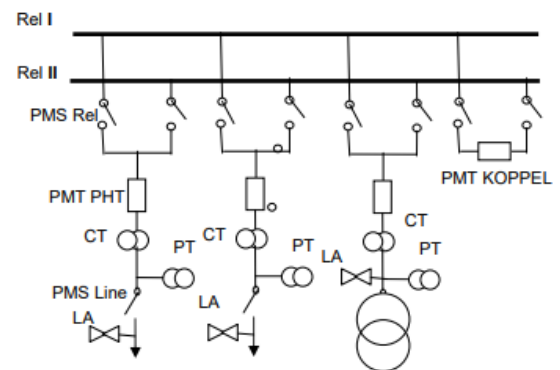
Sistem proteksi GI Paniki menggunakan relay arus lebih (Overcurrent Relay/OCR) dan relay gangguan tanah (Ground Fault Relay/GFR). Relay ini bekerja berdasarkan nilai pickup dan karakteristik waktu tertentu (Standard Inverse dan Definite Time).

### B. Jenis Konfigurasi Busbar

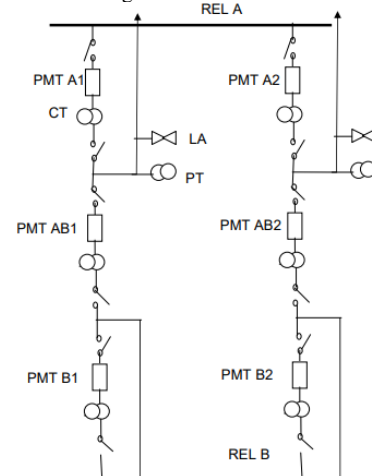
Konfigurasi busbar merupakan komponen kunci dalam perancangan gardu induk karena menentukan fleksibilitas operasional, keandalan sistem, serta efektivitas proteksi terhadap gangguan. Dalam studi ini, tiga jenis konfigurasi busbar yang umum digunakan dianalisis secara komparatif, yaitu single busbar, double busbar, dan one and a half breaker busbar. Konfigurasi single busbar menawarkan struktur sederhana namun memiliki kelemahan dari sisi keandalan dan selektivitas proteksi. Double busbar memberikan fleksibilitas lebih tinggi dengan memungkinkan pemindahan beban antar busbar saat pemeliharaan atau gangguan terjadi. Sementara itu, one and a half breaker busbar memberikan keunggulan selektivitas tertinggi karena mampu mengisolasi gangguan secara lokal tanpa memengaruhi penyulang lain maupun sisi trafo. Pemahaman terhadap karakteristik masing-masing konfigurasi sangat penting sebagai dasar dalam mengevaluasi sistem eksisting dan menentukan alternatif solusi proteksi di Gardu Induk.



Gambar 1. Konfigurasi Single Busbar



Gambar 2. Konfigurasi Double Busbar



Gambar 3. Konfigurasi One Half Busbar

Keunggulan sistem one and a half breaker adalah kemampuan isolasi gangguan yang sangat baik dan selektivitas yang tinggi. Kekurangannya adalah biaya instalasi dan ruang yang lebih besar dibandingkan konfigurasi lain.

### C. Jenis Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan dalam sistem tenaga listrik merupakan kondisi abnormal yang dapat menyebabkan arus lebih tinggi dari kondisi normal, tegangan tidak stabil, hingga pemutusan suplai energi. Pemahaman jenis dan karakteristik gangguan sangat penting untuk menentukan strategi proteksi yang efektif. Secara umum, gangguan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

#### 1) Gangguan Hubung Singkat (Short Circuit)

Merupakan jenis gangguan paling umum dan paling berbahaya, ditandai dengan adanya kontak langsung antara dua atau lebih konduktor yang seharusnya terisolasi. Tiga jenis utama gangguan ini adalah:

- Hubung Singkat Antar Fasa (Phase-to-Phase Fault): terjadi saat dua konduktor fasa saling bersentuhan.
- Hubung Singkat Fasa ke Tanah (Single Line to Ground Fault): terjadi saat satu fasa menyentuh tanah atau peralatan yang terhubung ke tanah.
- Hubung Singkat Tiga Fasa (Three-Phase Fault): gangguan paling parah, menghasilkan arus gangguan maksimum.

Gangguan jenis ini dapat menyebabkan arus sangat tinggi dalam waktu singkat, sehingga sistem proteksi harus mampu merespons dengan cepat dan selektif untuk menghindari kerusakan peralatan dan blackout.

#### 2) Gangguan Arus Lebih (Overcurrent)

Terjadi saat arus dalam sistem melebihi batas aman yang telah ditentukan. Penyebabnya dapat berupa beban lebih (overload) atau akibat gangguan hubung singkat. Meskipun tidak selalu menyebabkan kerusakan instan, gangguan arus lebih yang dibiarkan terlalu lama dapat merusak peralatan dan memicu pemutusan sistem secara keseluruhan.

#### 3) Gangguan Hubung Tanah (Ground Fault)

Jenis gangguan ini terjadi ketika salah satu konduktor fasa terhubung langsung dengan tanah. Biasanya menyebabkan arus asimetris yang mengalir melalui saluran netral. Sistem proteksi menggunakan relay GFR untuk mendeteksi dan mengisolasi gangguan ini.

#### 4) Dampak Gangguan Multipenyulang

Pada sistem distribusi yang melayani beberapa penyulang sekaligus, gangguan yang terjadi secara bersamaan pada dua atau lebih penyulang dapat menyebabkan akumulasi arus gangguan yang besar. Jika tidak ditangani secara selektif, relay pada sisi incoming (trafo) dapat trip lebih dulu dibanding relay penyulang. Hal ini akan menyebabkan padam total (blackout), meskipun gangguan terjadi di sisi beban.

Oleh karena itu, studi selektivitas dan konfigurasi busbar sangat diperlukan agar gangguan dapat diisolasi secara lokal tanpa mengganggu keseluruhan sistem.

#### D. Solusi Terhadap Gangguan Multipenyulang

Gangguan multipenyulang, yakni gangguan yang terjadi secara bersamaan pada dua atau lebih penyulang, menjadi tantangan utama dalam menjaga selektivitas sistem proteksi di Gardu Induk Paniki. Dalam sistem eksisting yang masih menggunakan konfigurasi single busbar, gangguan jenis ini sering menyebabkan akumulasi arus gangguan yang melebihi setting relay pada sisi trafo. Akibatnya, relay trafo akan bekerja lebih cepat daripada relay penyulang, sehingga trip terjadi pada incoming dan menyebabkan padam menyeluruh.

Untuk mengatasi kondisi ini, dibutuhkan solusi teknis yang tidak hanya fokus pada pengaturan ulang setting relay, tetapi juga menyentuh aspek desain sistem, yaitu konfigurasi busbar. Dua konfigurasi alternatif yang dinilai potensial untuk meningkatkan selektivitas proteksi adalah double busbar dan one and a half breaker busbar.

Konfigurasi double busbar memberikan fleksibilitas pengoperasian karena setiap penyulang dapat dipindahkan ke busbar lain jika salah satu sisi terganggu. Dengan distribusi penyulang yang merata ke dua busbar, arus gangguan pada masing-masing jalur menjadi lebih kecil, sehingga kemungkinan triggering relay trafo dapat dikurangi. Namun, masih terdapat potensi overlap waktu kerja antara relay penyulang dan trafo, terutama jika dua

penyulang pada busbar yang berbeda terganggu secara bersamaan.

Sementara itu, konfigurasi one and a half breaker busbar menawarkan tingkat selektivitas yang lebih tinggi karena tiap penyulang dihubungkan melalui dua pemutus dan dua busbar. Dalam skenario gangguan multipenyulang, hanya CB dan bay yang terkait langsung dengan penyulang terganggu yang akan trip, tanpa memengaruhi penyulang lain atau memicu proteksi sisi trafo. Hal ini memungkinkan isolasi gangguan secara lokal, yang menjadi kunci dalam mempertahankan kontinuitas suplai.

Dengan membandingkan kedua konfigurasi ini secara logika terhadap sistem eksisting, penelitian ini bertujuan menentukan konfigurasi mana yang paling efektif diterapkan di GI Paniki sebagai solusi jangka panjang untuk mengatasi gangguan multipenyulang.

#### E. Dasar Teori Perhitungan Gangguan

Dalam sistem tenaga listrik, gangguan merupakan kondisi abnormal yang menyebabkan arus mengalir jauh melebihi nilai nominalnya. Gangguan yang paling umum adalah gangguan hubung singkat (short circuit), yang bisa terjadi antara fasa dengan fasa, atau antara fasa dengan tanah.

Untuk menganalisis sistem proteksi, terutama dalam menentukan apakah sistem dapat bekerja secara selektif, penting untuk mengetahui besar arus gangguan yang mungkin terjadi. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah menghitung arus hubung singkat 3 fasa simetris, yang mewakili kondisi gangguan terparah dalam sistem.

##### 1. Impedansi Per Unit

Impedansi transformator yang biasanya diberikan dalam persen harus dikonversi ke bentuk per unit menggunakan rumus:

$$Z_{pu} = \frac{\%Z}{100}$$

##### 2. Arus Nominal Trafo

Arus nominal transformator dihitung menggunakan rumus:

$$I_{rated} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}}$$

Keterangan:

$I_{rated}$ : arus nominal (A)

$S_{base}$ : transformator (VA)

$V_{LL}$ : tegangan line-to-line (V)

##### 3. Arus Gangguan 3 Fasa

Setelah diketahui impedansi per unit dan arus nominal trafo, maka arus gangguan dapat dihitung dengan:

$$I_{sc} = \frac{I_{rated}}{Z_{pu}} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot Z_{pu}}$$

Keterangan:

$I_{sc}$ : arus gangguan (A)

Keterangan:

$I_{sc}$ : arus gangguan (A)

$Z_{pu}$ : impedansi transformator per unit

#### F. Data Gardu Induk

Gardu Induk (GI) Tonsealama merupakan salah satu gardu induk milik PLN yang berfungsi sebagai pusat transformasi dan distribusi daya listrik dari sistem transmisi 150 kV ke sistem distribusi tegangan menengah 20 kV. GI ini melayani sejumlah penyulang (feeder) distribusi yang terhubung ke berbagai wilayah pelanggan. Secara umum, GI Tonsealama memiliki konfigurasi sebagai

berikut:

- Tegangan sisi primer 150 kV
- Tegangan sisi sekunder 20 kV
- Jumlah transformator daya: 2 unit
- Jumlah penyulang 20 kV: 5 penyulang (SN1 sampai SN5)
- Fungsi utama GI: Menyalurkan energi listrik dari sistem transmisi ke sistem distribusi, sekaligus menjadi titik kontrol proteksi untuk keandalan jaringan

Gardu Induk ini dilengkapi dengan peralatan utama seperti transformator daya, circuit breaker, disconnecter, current transformer, potential transformer, serta sistem proteksi dan pengukuran. Di sisi distribusi 20 kV, terdapat lima penyulang utama yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik ke jaringan pelanggan dan fasilitas penting di sekitar wilayah pelayanan.

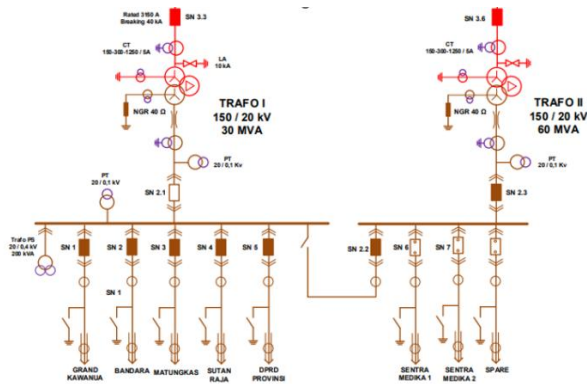
#### G. Data Single Line Diagram (SLD)

Single Line Diagram (SLD) atau diagram satu garis merupakan representasi skematik dari sistem tenaga listrik yang menunjukkan hubungan antar peralatan seperti transformator, pemutus tenaga (CB), penyulang, dan busbar dalam bentuk garis tunggal untuk tiap fasa.

Pada Gardu Induk Paniki 150 kV, sistem eksisting menggunakan konfigurasi busbar tipe single dan double busbar. Sistem ini menghubungkan dua transformator utama ke lima penyulang pada sisi 20 kV, yang masing-masing diberi label SN1 hingga SN5.

Struktur SLD eksisting ini menjadi referensi utama dalam menganalisis bagaimana sistem menangani gangguan, serta menjadi dasar dalam merancang konfigurasi baru seperti double busbar atau one half busbar yang akan dibahas pada bab selanjutnya.

Berikut merupakan gambar SLD pada GI Paniki:



Gambar 4. Single Line Diagram GI Paniki

TABEL 1  
Data Trafo 1

| Parameter                | Nilai dari Nameplate Trafo |
|--------------------------|----------------------------|
| Merk / Produsen          | UNINDO                     |
| Daya Terpasang           | 18/30 MVA (ONAN/ONAF)      |
| Tegangan Nominal HV      | 150 kV                     |
| Tegangan Nominal Tersier | 6.3 kV                     |
| Arus Nominal HV          | 69.3/115.5 A               |

#### H. Data Peralatan Gardu Induk

##### 1. Trafo

Untuk mendukung analisis sistem proteksi pada Gardu Induk Paniki, diperlukan pemahaman terhadap karakteristik peralatan utama yang berperan dalam proses distribusi dan proteksi sistem tenaga. Peralatan yang dikaji meliputi transformator daya, pemutus tenaga (circuit breaker), current transformer (CT) dan potential transformer (PT), serta relay proteksi pada sisi incoming dan penyulang.

Transformator bertugas menurunkan tegangan dari 150 kV ke 20 kV sebagai langkah awal proses distribusi. Circuit breaker berfungsi sebagai pemutus arus otomatis saat terjadi gangguan, berdasarkan sinyal dari relay proteksi. CT dan PT memberikan data pengukuran arus dan tegangan sebagai input bagi sistem proteksi. Relay incoming digunakan untuk melindungi sisi trafo dari gangguan arus kumulatif, sedangkan relay penyulang bertugas mendeteksi dan mengisolasi gangguan lokal pada masing-masing penyulang. Data teknis peralatan ini disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan evaluasi dan perhitungan sistem proteksi yang bisa di lihat pada tabel 1 data Trafo di atas.

TABEL 2  
Data PMT Incoming

| Tipe                                           | GV242025 TD113127W |
|------------------------------------------------|--------------------|
| Tegangan Nominal (Rated Voltage)               | 24 kV              |
| Arus Nominal (Rated Current)                   | 2000 A             |
| Tegangan Kontrol (Control Voltage)             | DC 110 V           |
| Tegangan Tahan Frekuensi Daya (1 menit)        | 50 kV              |
| Tegangan Tahan Impuls Petir (Peak)             | 125 kV             |
| Durasi Hubung Singkat (Short-Circuit Duration) | 3 detik            |
| Kapasitas Pemutusan Hubung Singkat             | 25 kA              |
| Urutan Operasi (Operating Sequence)            | O-0.3s-CO-180s-CO  |
| Standar                                        | IEC 62271-100:2001 |
| Massa                                          | 284 kg             |
| Nomor Seri (Serial Number)                     | BH125801996        |

TABEL 3  
Data PMT Incoming

| Lokasi     | CT Ratio | Jenis Rele | Arus Set Relay | Arus Aktual | Waktu (detik) | Kurva                 |
|------------|----------|------------|----------------|-------------|---------------|-----------------------|
| Sisi 20 kV | 1200/1   | OCR        | 0,87           | 1039,23     | 0,23          | Standard Inverse (SI) |
|            |          |            | 2,83           | 3400        | 0,7           | Definite (DT)         |
|            |          |            | 3,65           | 4380        | 0,4           | Definite (DT)         |
|            | GFR      |            | 0,05           | 60          | 0,23          | Standard Inverse (SI) |
|            |          |            | Block          | -           | -             | Block                 |

TABEL 4  
Setting Relay SN1

| Penyulang | CT Ratio | Jenis Rele | Arus Set Relay (A) | Arus Aktual (A) | Waktu (detik) | Kurva                 |
|-----------|----------|------------|--------------------|-----------------|---------------|-----------------------|
| SN1       |          | GFR        | 0,05               | 30              | 0,17          | Standard Inverse (SI) |
|           |          | OCR        | 6,57               | 1971            | 02            | Definite T            |

TABEL 5  
Penyulang SN2

| Penyulang        | CT Ratio | Jenis Rele | Arus Set Relay (A) | Arus Aktual (A) | Waktu (detik) | Kurva                 |
|------------------|----------|------------|--------------------|-----------------|---------------|-----------------------|
| F3. Trafo 1 SN 2 | 600/1    | OCR        | 0,68               | 405,6           | 0,19          | Standard Inverse (SI) |
|                  |          | GFR        | 0,05               | 30              | 0,17          | Standard Inverse (SI) |
|                  |          | OCR        | 6,57               | 1971            | 0,2           | Definite (DT)         |
|                  |          | GFR        | 0,2                | 60              | 0             | Block                 |
|                  |          | OCR        | 12,17              | 3650            | 0             | Definite (DT)         |
|                  |          | GFR        | Block              | -               | -             | Block                 |

TABEL 6  
Penyulang SN3

| Penyulang        | CT Ratio | Jenis Rele | Arus Set Relay (A) | Arus Aktual (A) | Waktu (detik) | Kurva                 |
|------------------|----------|------------|--------------------|-----------------|---------------|-----------------------|
| F3. Trafo 1 SN 3 | 600/1    | OCR        | 0,68               | 405,6           | 0,19          | Standard Inverse (SI) |
|                  |          | GFR        | 0,05               | 30              | 0,17          | Standard Inverse (SI) |
|                  |          | OCR        | 6,57               | 1971            | 0,2           | Definite (DT)         |
|                  |          | GFR        | 0,2                | 60              | 0             | Block                 |
|                  |          | OCR        | 12,17              | 3650            | 0             | Definite (DT)         |
|                  |          | GFR        | Block              | -               | -             | Block                 |

### I. Skenario Gangguan Multipenyulang di GI Paniki

Dalam sistem distribusi tenaga listrik, gangguan tidak hanya terjadi pada satu penyulang, namun dapat pula terjadi secara bersamaan pada dua atau lebih penyulang. Dalam kondisi seperti ini, arus gangguan yang diterima oleh relay incoming akan menjadi akumulasi dari masing-masing penyulang, dan jika nilainya melebihi setting OCR trafo, maka dapat menyebabkan relay trafo trip terlebih dahulu,

yang artinya sistem tidak bekerja secara selektif.

Untuk memahami kondisi tersebut, berikut ini disimulasikan secara logika dua skenario gangguan berdasarkan data aktual GI Paniki:

#### A. Logika Perhitungan Gangguan Multipenyulang

Pada perhitungan arus gangguan hubung singkat dari GI Lopana ke GIS Teling 1 fasa ke tanah didapatkan arus sebesar 3.2 kA. Untuk gangguan 3 fasa didapatkan arus sebesar 4.04 kA. Dan pada gangguan fasa ke fasa didapatkan arus sebesar

#### Dasar Perhitungan Arus Gangguan Multipenyulang

Arus gangguan pada sistem distribusi ditentukan oleh kapasitas trafo dan impedansi total sistem. Berdasarkan hasil perhitungan pada Bab 3.5.1, arus gangguan maksimum di sisi 20 kV GI Paniki dihitung sebagai berikut:

Data:

- Daya trafo: 30 MVA
- Tegangan sisi 20 kV: 20 kV
- Impedansi trafo: 12,47%

Langkah Perhitungan:

1. Impedansi per unit:

$$Z_{pu} = 12,47 / 100 = 0,1247$$

2. Arus nominal:

$$I_{rated} = 30.000 / (\sqrt{3} \times 20) = 865,9 \text{ A}$$

3. Arus gangguan:

$$I_{sc} = I_{rated} / Z_{pu} = 865,9 / 0,1247 \approx 6942 \text{ A}$$

Distribusi Arus Gangguan pada Beberapa Penyulang

Karena gangguan bisa terjadi di lebih dari satu penyulang, maka arus gangguan total akan terbagi sesuai titik gangguan. Untuk mendekati realita, digunakan pendekatan proporsi arus sebagai berikut:

- Gangguan 1 penyulang → diasumsikan menyerap sekitar 35% dari arus gangguan penuh  
→  $0,35 \times 6942 \approx 2400 \text{ A}$
  - Gangguan 2 penyulang →  $2 \times 2400 = 4800 \text{ A}$
  - Gangguan 3 penyulang →  $2400 + 2400 + 2100 \approx 6900 \text{ A}$
- Angka ini digunakan sebagai dasar simulasi skenario gangguan pada pembahasan berikutnya.

#### B. Skenario Gangguan Dua Penyulang (SN1 dan SN2)

- Arus gangguan SN1 = 2400 A
- Arus gangguan SN2 = 2400 A
- Total arus gangguan = 4800 A

Setting relay OCR penyulang (SN1 dan SN2):

- Pickup = 360 A
- Waktu trip = 0,19 s

Setting relay OCR trafo (20 kV):

- Pickup = 1039 A
- Waktu trip = 0,23 s

Analisis:

Dalam skenario ini, meskipun arus masing-masing penyulang terdeteksi oleh OCR masing-masing, akumulasi arus gangguan yang masuk ke OCR trafo juga meningkat. Namun, karena waktu kerja OCR penyulang masih lebih cepat dibanding OCR trafo, maka gangguan dapat diisolasi oleh penyulang.

Sistem masih bekerja selektif, tetapi dalam kondisi kritis karena arus mendekati pickup OCR trafo.

#### C. Skenario Gangguan Tiga Penyulang (SN1, SN2, dan SN3)

- Arus gangguan SN1 = 2400 A
- Arus gangguan SN2 = 2400 A
- Arus gangguan SN3 = 2100 A
- Total arus gangguan = 6900 A

Setting sama seperti sebelumnya.

Analisis:

Dalam skenario ini, arus kumulatif sebesar 6900 A jauh melebihi pickup OCR trafo (1039 A). Sehingga, meskipun relay penyulang mendeteksi gangguan, arus yang diterima relay trafo juga langsung melewati batas pickup dan dapat menyebabkan trip lebih cepat dibanding OCR penyulang, atau setidaknya terjadi overlap waktu trip. Sistem tidak selektif, dan berpotensi menyebabkan trip incoming → padam total.

#### D. Perhitungan/Perancangan

##### 1. Analisis Arus Gangguan

Dalam sistem distribusi tenaga listrik, gangguan arus lebih (overcurrent) merupakan kondisi abnormal yang dapat terjadi akibat hubung singkat antar fasa atau fasa ke tanah. Untuk mengatasi kondisi ini, digunakan sistem proteksi berupa relay OCR dan GFR yang dikonfigurasi dengan setting tertentu agar dapat bekerja secara selektif dan cepat.

Untuk menganalisis performa sistem eksisting di GI Paniki, dilakukan perhitungan arus gangguan pada sisi 20 kV menggunakan data transformator daya. Perhitungan dilakukan berdasarkan nilai impedansi trafo dan daya terpasang. Berikut langkah perhitungannya:

##### 1) Hitung Impedansi Per Unit (q,u)

Impedansi dalam persen perlu diubah ke bentuk per unit dengan rumus:

$$Z_{pu} = \frac{\%Z}{100}$$

impedansi trafo adalah 12,47%, maka:

$$Z_{pu} = \frac{12,47}{100} = 0,1247$$

##### 2) Hitung Arus Nominal Trafo

Arus nominal trafo dihitung menggunakan rumus;

$$I_{rated} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}}$$

Dengan:

$$S_{base} = 30 \text{ MV A} = 30,000 \text{ kVA}$$

$$V_{LL} = 20 \text{ kV}$$

Maka:

$$I_{rated} = \frac{30,000}{\sqrt{3} \cdot 20} = \frac{30,000}{34,64} = 865,9 \text{ A}$$

##### 3) Hitung Arus Gangguan

Arus gangguan dihitung dengan membagi arus nominal dengan impedansi per unit:

$$I_{sc} = \frac{I_{rated}}{Z_{pu}} = \frac{865,9}{0,1247} = 6,942 \text{ A}$$

Atau bisa langsung dihitung dengan rumus alternatif:

$$I_{sc} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot Z_{pu}} = \frac{30,000}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 0,1247} = 6,942 \text{ A}$$

##### 4) Simulasi Skenario Gangguan

Berdasarkan hasil perhitungan, arus hubung singkat maksimum di sisi 20 kV adalah sekitar 6.942 A. Untuk analisis selektivitas sistem, digunakan pendekatan distribusi arus gangguan berdasarkan jumlah penyulang yang

terganggu.

- 1 penyulang terganggu → diasumsikan 30% arus gangguan penuh I1
- 2 penyulang → 60% gangguan → I2 = 4165,2 A
- 3 penyulang → 90% gangguan → I3 = 6247,8 A

##### Evaluasi Setting Relay

Jika arus gangguan total dari 3 penyulang = 6247 A, maka relay trafo akan trip lebih cepat dari relay penyulang, karena arus jauh melampaui setting pickup-nya.

Kesimpulan Awal:

Sistem eksisting berpotensi tidak selektif saat terjadi gangguan pada lebih dari dua penyulang, karena relay incoming (trafo) dapat trip lebih cepat dibanding relay penyulang. Oleh karena itu, diperlukan perancangan ulang konfigurasi busbar untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam mengisolasi gangguan secara lokal.

##### Simulasi Logika Proteksi Sistem Existing

Simulasi logika proteksi sistem eksisting dilakukan untuk memahami bagaimana sistem bekerja saat terjadi gangguan satu hingga tiga penyulang secara bersamaan. Analisis ini didasarkan pada hasil perhitungan arus gangguan maksimum sebesar 6942 A (lihat 3.5.1) dan distribusi gangguan per penyulang.

##### Skenario 1 – Gangguan Satu Penyulang (SN1)

- Arus gangguan: ±2400 A
  - OCR SN1: pickup 360 A, waktu 0,19 s
  - OCR trafo: pickup 1039 A, waktu 0,23 s
- OCR SN1 trip duluan, relay trafo tidak aktif  
Sistem bekerja selektif

##### Skenario 2 – Gangguan Dua Penyulang (SN1 + SN2)

- Arus total: 2400 + 2400 = 4800 A
  - Masing-masing OCR feeder tetap trip (0,19 s)
  - Arus total masih jauh di bawah I<sub>sc</sub> (6942 A), tapi mulai mendekati perhatian OCR trafo
- Relay trafo tidak trip, sistem tetap selektif  
Masih aman

##### Skenario 3 – Gangguan Tiga Penyulang (SN1 + SN2 + SN3)

- Arus total: 2400 + 2400 + 2100 = 6900 A
  - OCR trafo pickup = 1039 A
  - Karena arus sudah jauh melampaui pickup, OCR trafo sangat berpotensi trip
- Selisih waktu antara OCR trafo (0,23 s) dan feeder (0,19 s) sangat tipis  
Potensi sistem gagal selektif.

Kesimpulan:

Sistem proteksi eksisting bekerja baik untuk gangguan satu dan dua penyulang, namun akan gagal selektif saat gangguan tiga penyulang terjadi secara bersamaan. Ini menunjukkan bahwa konfigurasi busbar eksisting perlu dimodifikasi agar gangguan tetap dapat diisolasi secara lokal tanpa memicu trip pada sisi incoming.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Perubahan Sistem

##### 1. Konfigurasi Menggunakan Double Busbar

Double busbar adalah konfigurasi sistem busbar yang terdiri dari dua buah batang penghantar utama (busbar I dan busbar II) yang memungkinkan setiap feeder atau peralatan untuk terhubung ke salah satu atau kedua busbar melalui selector switch.

Konfigurasi ini dirancang untuk memberikan fleksibilitas operasional, meningkatkan keandalan suplai, dan mempermudah isolasi gangguan tanpa mengganggu sistem secara keseluruhan.

Keuntungan Double Busbar dalam Sistem Proteksi:

- Bila terjadi gangguan pada salah satu penyulang, feeder tersebut dapat diisolasi sementara feeder lain tetap tersuplai dari busbar satunya.
- Memungkinkan pemindahan beban antar busbar saat pemeliharaan.
- Dapat membantu menunda atau mencegah trip-nya OCR trafo, karena gangguan dapat segera diisolasi oleh OCR feeder saja.

Logika Proteksi Double Busbar (Manual Simulation)

Misalkan terjadi gangguan pada penyulang SN1 yang terhubung ke Busbar I:

- OCR SN1 akan mendeteksi arus gangguan sekitar  $\pm 2400$  A
  - Relay OCR SN1 akan trip pada waktu 0,19 s
  - Penyulang lain (SN2–SN5) tetap aktif di Busbar II
- Gangguan berhasil diisolasi secara lokal, relay trafo tidak ikut trip, dan sistem tetap selektif.

Simulasi Logika: Gangguan Ganda (SN1 + SN2)

- Arus total:  $2400 \text{ A} + 2400 \text{ A} = 4800 \text{ A}$

Jika SN1 dan SN2 berada di busbar berbeda:

- SN1 di Busbar I, SN2 di Busbar II
- Masing-masing OCR trip di 0,19 s
- Relay trafo tidak melewati pickup (1039 A)

Sistem tetap selektif, gangguan lokal, tidak melibatkan OCR trafo.

Jika SN1 dan SN2 di Busbar yang Sama:

- Gangguan 4800 A terkonsentrasi di satu busbar
  - Masih jauh di bawah arus gangguan maksimum (6942 A), namun mendekati batas perhatian OCR trafo
  - OCR penyulang tetap bekerja lebih cepat
- Sistem tetap aman asalkan koordinasi waktu trip relay sudah diatur dengan benar

Skenario Gangguan 3 Penyulang (Double Busbar)

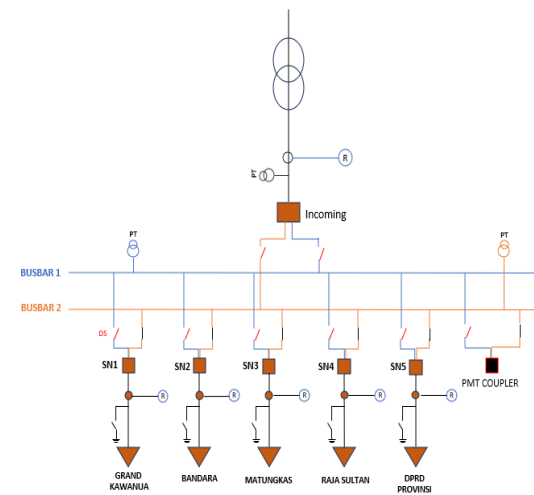
Misal:

- SN1 di Busbar I
- SN2 dan SN3 di Busbar II
- Arus total:  $2400 + 2400 + 2100 = 6900 \text{ A}$

Respons sistem:

- Masing-masing OCR penyulang trip di 0,19 s
  - OCR trafo melihat total arus gangguan → tetap besar (terdistribusi dari dua busbar)
  - Namun, karena gangguan tersebar dan selektor busbar memungkinkan isolasi per jalur, sistem dapat tetap mencegah relay trafo trip
- Gangguan berhasil diisolasi oleh OCR penyulang → sistem tetap selektif

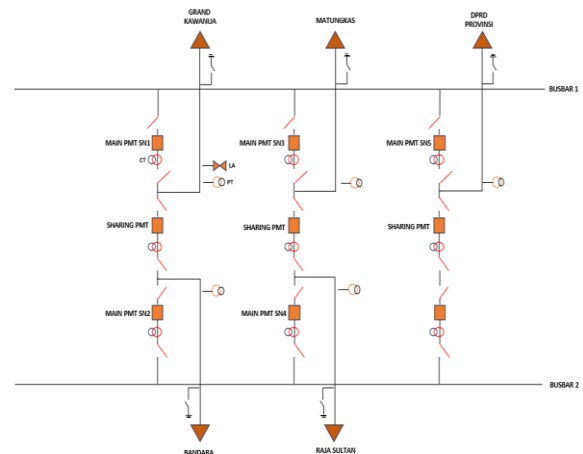
#### KONFIGURASI MENGGUNAKAN DOUBLE BUSBAR



Gambar 5. Konfigurasi Double Busbar

##### 2. Konfigurasi Menggunakan One and a Half Busbar

#### KONFIGURASI MENGGUNAKAN ONE AND HALF BUSBAR



Gambar 6. Konfigurasi One and a Half Busbar

Setiap dua feeder dihubungkan melalui tiga CB, sehingga masing-masing feeder memiliki dua jalur akses ke dua busbar, dengan shared breaker di tengah. Konfigurasi ini sangat populer di sistem 150 kV karena:

- Sangat andal dalam mempertahankan suplai saat salah satu breaker gagal atau terjadi gangguan.
- Selektivitas sangat tinggi, karena hanya breaker yang terkait dengan gangguan yang akan trip.

Logika Proteksi One Half Busbar (Manual Simulation)

Misalkan terjadi gangguan pada penyulang SN1, yang dihubungkan dengan CB1 (feeder), CB2 (shared), dan CB3 (feeder SN2):

- OCR SN1 mendeteksi arus gangguan sekitar  $\pm 2400$  A
  - CB1 dan CB2 akan trip secara otomatis
  - SN2 tetap aktif melalui CB3
  - Penyulang lain (SN3–SN5) tetap hidup tanpa terpengaruh
- Gangguan berhasil diisolasi oleh dua breaker, tanpa memutus

jalur penyulang lainnya.

Simulasi Logika: Gangguan Ganda (SN1 + SN2)

- Arus total:  $2400\text{ A} + 2400\text{ A} = 4800\text{ A}$
- CB1, CB2, dan CB3 akan trip
- SN1 dan SN2 padam, namun penyulang lain tetap aktif melalui jalur breaker dan busbar lainnya
- OCR trafo tidak menerima arus gangguan kumulatif karena gangguan diisolasi pada level penyulang

Sistem tetap selektif dan stabil

Simulasi Logika: Gangguan Tiga Penyulang (SN1 + SN2 + SN3)

- Arus total:  $2400 + 2400 + 2100 = 6900\text{ A}$
  - CB1, CB2, CB3, dan CB untuk SN3 akan trip
  - Tiga penyulang padam, namun dua penyulang lainnya tetap aktif
  - Relay trafo tidak ikut trip karena gangguan berhasil diisolasi melalui CB dan OCR masing-masing feeder
- Sistem sangat selektif, hanya penyulang terkait yang padam  
Trafo tetap terjaga, tidak terjadi black-out total

Kesimpulan Sementara Double Busbar

Penggunaan konfigurasi double busbar memberikan fleksibilitas dalam mengalihkan beban dan menjaga kontinuitas suplai saat terjadi gangguan. Sistem ini memungkinkan isolasi gangguan secara lebih terdistribusi dan membantu mempertahankan selektivitas proteksi, terutama pada sistem dengan banyak penyulang seperti di GI Paniki.

Kesimpulan Sementara One Half Busbar

Sistem one and a half breaker busbar menawarkan selektivitas dan fleksibilitas proteksi paling tinggi di antara konfigurasi lain. Dengan sistem ini, gangguan dapat diisolasi secara efisien tanpa memengaruhi penyulang lain atau memicu pemutusan di sisi trafo.

#### A. Analisis Perbandingan Konfigurasi Busbar Terhadap Selektivitas Sistem

Dalam bagian ini, dilakukan evaluasi mendalam terhadap efektivitas masing-masing konfigurasi busbar dalam mengatasi skenario gangguan multipenyulang, berdasarkan hasil simulasi manual.

##### 1. Sistem Existing

- Pada gangguan satu atau dua penyulang, sistem masih dapat bekerja selektif karena OCR penyulang trip lebih dulu.
- Pada gangguan tiga penyulang, arus kumulatif sangat besar ( $\pm 6900\text{ A}$ ), jauh melebihi pickup OCR trafo ( $1039\text{ A}$ ).
- Waktu kerja OCR trafo ( $0,23\text{ s}$ ) menjadi sangat dekat dengan OCR feeder ( $0,19\text{ s}$ ) → Overlap waktu trip.
- Berisiko trip trafo lebih dulu → menyebabkan pemadaman total (blackout).
- Kesimpulan: Sistem tidak aman untuk gangguan multipenyulang; perlu modifikasi.

##### 2. Double Busbar

- Memberikan opsi isolasi antar busbar (misalnya SN1 di Busbar I dan SN2 di Busbar II).
- Saat gangguan terjadi pada dua atau tiga penyulang yang tersebar pada busbar berbeda:
- Arus gangguan tidak langsung terkonsentrasi ke OCR

trafo.

- Gangguan tetap dapat diisolasi oleh OCR feeder.
- Namun, pada kondisi ekstrem (gangguan pada penyulang di busbar yang sama), arus tetap bisa melewati batas setting OCR trafo.
- Kesimpulan: Selektivitas meningkat dibanding sistem eksisting, tetapi masih memiliki risiko overlap waktu jika tidak dikonfigurasi dengan baik.

##### 3. One and a Half Busbar

- Tiap penyulang dihubungkan ke dua busbar melalui tiga breaker.
- Saat terjadi gangguan:
- Hanya breaker yang terkait dengan gangguan yang trip.
- Arus tidak akan terakumulasi ke OCR trafo karena gangguan diisolasi secara lokal.
- Pada gangguan 3 penyulang sekalipun, trafo tetap aman → tidak terjadi black-out.
- Keunggulan:
- Selektivitas maksimal
- Kontinuitas suplai terjaga
- Tidak perlu manuver manual untuk memindahkan beban.

TABLE 7  
Perbandingan Konfigurasi Busbar

| Kriteria                                          | Single Busbar                | Double Busbar                                        | One and a Half Breaker Busbar                                  |
|---------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Jumlah Busbar                                     | 1                            | 2                                                    | 2                                                              |
| Jumlah CB per penyulang                           | 1                            | 1                                                    | 1,5 (3 CB untuk 2 penyulang)                                   |
| Fleksibilitas Operasional                         | Rendah                       | Sedang                                               | Tinggi                                                         |
| Redundansi Sistem                                 | Tidak ada                    | Ada (penyulang bisa pindah busbar)                   | Sangat baik (masing-masing penyulang bisa tetap aktif)         |
| Selektivitas Proteksi                             | Rendah – mudah trip incoming | Lebih baik jika penyulang tersebar                   | Sangat tinggi – gangguan bisa diisolasi tanpa trip incoming    |
| Risiko Trip Incoming Saat Gangguan Multipenyulang | Tinggi                       | Sedang – jika dua penyulang berbeda busbar terganggu | Rendah – hanya CB terkait yang trip                            |
| Kemudahan Pemeliharaan                            | Sulit – butuh padam total    | Lebih mudah – bisa pindah busbar                     | Mudah – sistem tetap beroperasi meski satu CB/busbar dimatikan |
| Kebutuhan Ruang dan Biaya                         | Rendah (sederhana)           | Sedang                                               | Tinggi (banyak CB dan peralatan)                               |
| Rekomendasi Penerapan                             | Sistem kecil/ujung jaringan  | GI menengah dengan kebutuhan fleksibel               | GI besar/strategis dengan banyak penyulang                     |

Kesimpulan: Konfigurasi paling andal dan selektif, ideal untuk sistem dengan multi-feeder strategis seperti GI Paniki adalah Konfigurasi double busbar.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, disarankan agar PLN atau pihak pengelola gardu induk mulai mempertimbangkan penerapan konfigurasi busbar tipe one and a half breaker, khususnya pada gardu induk yang melayani banyak penyulang strategis. Konfigurasi ini terbukti mampu meningkatkan selektivitas dan keandalan sistem proteksi dengan meminimalkan risiko padam total akibat gangguan multipenyulang. Selain itu, diperlukan evaluasi rutin terhadap setting relay proteksi, seperti Overcurrent Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR), agar tetap terkoordinasi dengan baik mengikuti dinamika beban dan kondisi sistem terkini. Pendekatan perhitungan manual seperti yang digunakan dalam penelitian ini dapat dijadikan acuan awal dalam mengevaluasi sistem proteksi, namun untuk implementasi yang lebih akurat dan real-time, disarankan menggunakan perangkat lunak simulasi seperti ETAP atau DigSILENT. Di sisi lain, manajemen teknis juga perlu memastikan ketersediaan data historis gangguan serta konfigurasi peralatan yang terdokumentasi dengan baik untuk mendukung analisis yang lebih presisi dan perencanaan sistem proteksi yang berkelanjutan di masa depan.

##### B. Saran

Sebagai upaya meningkatkan keandalan sistem proteksi pada gardu induk, disarankan agar PLN atau pihak pengelola mempertimbangkan penerapan konfigurasi busbar tipe one and a half breaker, terutama pada gardu induk yang melayani banyak penyulang strategis. Konfigurasi ini mampu memberikan fleksibilitas operasional dan selektivitas proteksi yang lebih tinggi, sehingga dapat meminimalkan risiko padam total akibat gangguan multipenyulang. Selain itu, evaluasi periodik terhadap setting relay proteksi, khususnya Overcurrent Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR), perlu dilakukan secara berkala untuk memastikan koordinasi yang optimal sesuai perubahan beban dan kondisi jaringan terkini. Pendekatan perhitungan manual seperti yang digunakan dalam penelitian ini masih relevan sebagai langkah awal dalam analisis sistem proteksi. Namun, untuk kebutuhan implementasi aktual dan pengambilan keputusan teknis yang lebih presisi, penggunaan software simulasi seperti ETAP atau DigSILENT sangat dianjurkan. Di sisi lain, manajemen teknis juga diharapkan dapat menyediakan data historis gangguan serta konfigurasi peralatan yang terdokumentasi dengan baik agar mendukung analisis proteksi yang lebih akurat dan menyeluruh di masa depan.

#### V. KUTIPAN

- [1] T. Tumiran, *Sistem Proteksi dalam Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2013.
- [2] International Electrotechnical Commission (IEC), IEC 60255-151: *Measuring relays and protection equipment– Functional requirements for over/under current protection*, IEC Standard, 2009.
- [3] S. M. Hadi, *Power System Protection and Switchgear*, New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2010.
- [4] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, New York: McGraw-Hill, 1994.
- [5] G. R. Slemon, *Electric Machines and Power Systems*, Reading, MA: Addison-Wesley, 1992.
- [6] IEEE Power System Relaying Committee, “IEEE Guide for Protective Relay Applications,” IEEE Std C37.110-2007, 2007.
- [7] PLN, *Standar Operasi Sistem Proteksi Gardu Induk 150 kV*. Jakarta: PT PLN (Persero), 2021.
- [8] R. K. Rajput, *A Textbook of Power System Engineering*, New Delhi: Laxmi Publications, 2006.
- [9] J. Lewis Blackburn and Thomas J. Domin, *Protective Relaying: Principles and Applications*, 4th ed., Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [10] M. Kezunovic, *Smart Fault Location for Smart Grids*, London: Springer, 2011.
- [11] M. S. Naidu and V. Kamaraju, *High Voltage Engineering*, New Delhi: McGraw-Hill Education, 2013.
- [12] D. P. Kothari and I. J. Nagrath, *Modern Power System Analysis*, 4th ed., New Delhi: McGraw-Hill Education, 2011.
- [13] M. A. Zamani, S. Jadid, and A. H. Kazemi, “Optimal allocation of protective devices for distribution systems considering reliability indices,” *Electric Power Systems Research*, vol. 152, pp. 315–323, Nov. 2017.
- [14] M. M. Aman, G. B. Jasmon, A. H. A. Bakar, and H. Mokhlis, “A new approach for fault current analysis and busbar protection scheme in distribution systems,” *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 10, no. 8, pp. 1901–1909, Jun. 2016.
- [15] A. Nugraha, A. Rachman, and S. Widodo, “Analisis Koordinasi Proteksi pada Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Overcurrent Relay,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, no. 2, pp. 85–92, 2020.



**Penulis bernama lengkap Zefanya Palit**, anak pertama dari dua bersaudara, lahir di Noongan, Sulawesi Utara, pada tanggal 03 Februari 2004. Sebelum menempuh jenjang pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, penulis telah menempuh Pendidikan pertama di Sekolah Dasar Inpres Tempang (2009-2015), kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama 9 Satap Langowan (2015-2018), dan melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Manado. Pada tahun 2021, penulis memulai pendidikan di Fakultas Teknik

Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi Minat Teknik Tegangan Tinggi pada tahun 2023. Dalam menempuh Pendidikan, penulis telah melaksanakan Kerja Praktek di UPT Manado selama 5 bulan. Selama menempuh pendidikan penulis aktif terutama dalam kegiatan Himpunan Mahasiswa Elektro FT. UNSRAT Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak UPT PLN Manado dan staf teknis Gardu Induk Paniki atas izin akses data dan bantuan teknis selama proses penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Ir. Lily S. Patras, MT dan Ir. Glanny M. C. Mangindaan, ST., MT., Ph.D., IPM., ASEAN., Eng. selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan masukan yang sangat berharga dalam penyusunan jurnal ini.