

KOORDINASI RELAI PROTEKSI UNTUK MENCEGAH SIMPATETIK TRIP PADA PENYULANG 20 KV DI GARDU INDUK SEI RAYA

Heri Wijaya¹, Purwoharjono², Rudy Gianto³

heriwijaya2412@gmail.com¹, purwo.harjono@ee.untan.ac.id², rudy.gianto@ee.untan.ac.id³

Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mencegah terjadinya simpatetik trip pada jaringan distribusi 20 kV di Gardu Induk Sei Raya, dengan fokus pada penyulang Ayani dan Dahlia. Metode yang digunakan meliputi perhitungan impedansi jaringan, arus gangguan hubung singkat (3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah), arus kapasitif pada penyulang Ayani dan Dahlia serta setting relai OCR dan GFR. Selain itu, dilakukan simulasi koordinasi relai menggunakan perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory 15.1. Hasil analisis menunjukkan bahwa arus kapasitif pada penyulang Ayani mencapai 27,478 A, melebihi setting relai GFR yang ada sebesar 16 A, sehingga menyebabkan trip pada penyulang Ayani. Begitu juga pada penyulang Dahlia, arus kapasitif tercatat sebesar 21,650 A melebihi setting arus relai GFR yang ada sebesar 15 A, yang berpotensi menyebabkan simpatetik trip. Sebagai solusi, dilakukan resetting relai GFR pada kedua penyulang, dengan nilai baru sebesar 35,722 A untuk Ayani dan 22,181 A untuk Dahlia. Solusi ini berhasil meningkatkan koordinasi relai proteksi dan keandalan sistem distribusi listrik.

Kata Kunci: Arus Kapasitif, Simpatetik Trip, Ocr, Gfr, Gangguan Hubung Singkat, Setting.

PENDAHULUAN

Setiap tahun, jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi meningkatkan kebutuhan listrik. Perusahaan Listrik Negara (PLN) berusaha untuk meningkatkan penyediaan dan pengembangan sistem tenaga listrik untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Oleh karena itu, PLN melakukan berbagai usaha dalam memaksimalkan persediaan tenaga listrik dengan cara meningkatkan keandalan sistem melalui pengoptimalan sistem proteksi. Sistem proteksi digunakan untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan listrik atau beban lebih pada jaringan tegangan menengah yang bisa merusak peralatan listrik dan menyebabkan kerugian besar pada pihak PLN [1].

Salah satu gangguan yang dialami pada jaringan tegangan menengah adalah gangguan hubung singkat (short circuit). Gangguan ini disebabkan hubung singkat antara satu konduktor ke konduktor lainnya. Gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yakni faktor eksternal dan faktor internal. Faktor luar (eksternal) biasanya berkaitan dengan sumber-sumber di luar sistem jaringan seperti binatang, pohon, atau bencana alam, sedangkan faktor dalam (internal) berhubungan dengan masalah-masalah di dalam sistem jaringan seperti kebocoran isolator, penuaan peralatan, dan kesalahan konstruksi jaringan [2].

Gangguan ini bisa saja terjadi walaupun sudah dilengkapi dengan sistem proteksi, salah satu gangguan yang sering terjadi pada jaringan tegangan menengah yaitu simpatetik trip. Simpatetik trip adalah suatu fenomena dimana pemutus tenaga (PMT) dari penyulang yang sehat (normal) ikut trip akibat dari suatu penyulang yang mengalami gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah yang masih dalam satu busbar [3][4]. Pada saat terjadinya fenomena ini, arus kapasitif (Ice) yang tidak seimbang ketika gangguan 1 fasa ke tanah akan mengalir ke sumber melalui titik gangguan dan melalui relai gangguan tanah (GFR) pada penyulang yang sehat tersebut [5]. Jika setting relai gangguan tanah (GFR) ini lebih kecil dari pada arus kapasitif (Ice) yang mengalir maka relai tersebut akan memerintahkan PMT untuk trip. Sedangkan sebaliknya jika setting relai gangguan tanah (GFR) ini lebih besar dari pada arus

kapasitif (Ice) maka relai gangguan tanah (GFR) ini tidak akan trip [6].

Hingga saat ini simpatetik trip pernah terjadi 1 kali pada tanggal 16 April 2023 di jaringan distribusi 20 kV di Gardu Induk Sei Raya pada penyulang Ayani yang di akibatkan oleh gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada penyulang Dahlia. Jika kasus dibiarkan maka akan mengganggu pasokan listrik dan mendapatkan pelayanan yang buruk bagi konsumen sehingga merugikan pihak PLN. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan analisis gangguan hubung singkat serta koordinasi setting relai proteksi mencegah terjadinya simpatetik trip pada penyulang tersebut. Untuk mendukung analisis ini dibutuhkan perangkat lunak DIGSILENT PowerFactory 15.1 yang dimana software ini memiliki keunggulan dalam mensimulasikan arus hubung singkat serta setting relai proteksi dengan cara memasukan parameter yang diperlukan

Dengan demikian, penelitian ini akan mengkoordinasikan setting relai proteksi untuk mencegah simpatetik trip pada penyulang 20 kV di Gardu Induk Sei Raya. Diharapkan hasil setting relai proteksi dari penelitian ini dapat meminimalisir simpatetik trip serta meningkatkan keandalan sistem proteksi dalam melindungi sistem tenaga listrik dan peralatan listrik di Gardu Induk Sei Raya.

TINJAUAN PUSTAKA

Ada beberapa tinjauan pustaka terkait koordinasi relai proteksi untuk mencegah simpatetik trip, antara lain Penelitian yang di lakukan oleh Teguh Rahayu Slamet dan Liliana (2020) dengan judul “Optimalisasi Relai OCR dan GFR Dalam Meminimalisir Sympathetic Trip Penyulang 20 kV” Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan setting yang optimal pada relai arus lebih agar simpatetik trip tidak terjadi lagi. Metode yang ditawarkan adalah dilakukan pengujian relai dengan variasi beban motor dengan statis. Hasil setting relai optimal yang di dapatkan yaitu $TMS = 0,26$, $PS = 0,6086$ dengan kurva inverse [7]. Penelitian yang di lakukan oleh Mohammad Agus Salim, Hadi Suyono, dan Rini Nur Hasanah (2016) dengan judul “Studi Sympathetic Trip Pada Penambahan Distributed Generation Penyulang Pujon Di Transformator III GI Sengkaling”. Penelitian ini menunjukkan bahwa, penambahan pembangkit pada sistem distribusi 20 kV penyulang Pujon menyebabkan gangguan simpatetik trip. Dari hasil analisis, besarnya arus gangguan dapat mempercepat waktu kerja relai, maka dari itu setting arus pada relai gangguan tanah harus melebihi besar arus kapasitif. Hasil setting relai gangguan tanah untuk penyulang Junrejo, Karang Ploso, Pujon dan Wastra Indah berturut-turut sebesar 2 A, 6A, 7A, dan 5A [2]. Penelitian yang di lakukan Caksana Alif Bathamantri, Rony Seto Wibowo, dan Ontoseno Penangsang (2012) dengan judul “Analisis Sympathetic Trip pada Penyulang Ungasan dan Bali Resort, Bali” Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis penyebab simpatetik trip pada penyulang Ungasan-Bali Resort, mengetahui setting overcurrent relay (OCR) dan ground fault relay (GFR) yang terpasang, serta mengidentifikasi adanya kesalahan yang mungkin ada sehingga diharapkan dapat memberikan setelan relai yang tepat. Hasil dari penelitian tersebut yaitu Iset (arus setting) pada relai GFR disetting sebesar 94,64 A, sehingga jika arus kapasitif yang mengalir pada penyulang unggasan sebesar 72,79 A maka relai pada penyulang unggasan tidak mengalami simpatetik trip [6]. Penelitian yang di lakukan Dwipayana, Supriyatna, dan Ari Nrrartha (2020) dengan judul “Symphathetic Trip Pada Penyulang 20 kV Di Gardu Induk Ampenan PT. PLN (Persero) Apdp Mataram” menunjukkan bahwa masalah simpatetik trip disebabkan oleh gangguan interkonektor 2 pada kabel tanah pada pukul 09.33. kejadian ini menyebabkan relai pada penyulang yang sehat ikut trip, sehingga penyulang 3 Gili, Interkonektor 1 dan Kopel C terhubung pada busbar yang sama juga mengalami trip secara bersamaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

selektivitas telah terpenuhi. waktu kerja relai (trip) untuk interkonektor 1 dan interkonektor 2 yaitu waktu kerja relai (trip) adalah 0,296 detik pada penyulang yang terganggu, sedangkan di penyulang lainnya adalah -0,12 detik. Untuk Kopel C waktu kerja relai (trip) di penyulang terganggu adalah 0,298 detik, sedangkan pada penyulang lainnya adalah -0,26 detik. Terakhir untuk penyulang 3 Gili waktu kerja relai (trip) pada penyulang terganggu adalah 0,297 detik, sementara waktu trip di penyulang lainnya adalah -0,27 detik [3].

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini meliputi perhitungan impedansi jaringan, arus gangguan hubung singkat, arus kapasitif serta setting relai OCR dan GFR pada penyulang Dahlia dan Ayani. Selain itu, dilakukan simulasi koordinasi relai menggunakan perangkat lunak DIGSILENT PowerFactory 15.1.

Impedansi Jaringan

1. Menghitung Impedansi Sumber

Langkah awal yang harus dilakukan adalah perhitungan MVA hubung singkat tiga fasa di sisi 150 kV menggunakan persamaan sebagai berikut [1]:

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} \times I_{SC} \times kV_{primer} \quad (1)$$

Setelah diperoleh nilai MVA hubung singkat, untuk menghitung impedansi sumber dari sisi 20 kV (sekunder), terlebih dahulu harus dilakukan perhitungan pada sisi 150 kV (primer) dengan menggunakan rumus berikut [1]:

$$X_{SC(150)} = \frac{kV_{primer}^2}{MVA_{SC}} \quad (2)$$

Untuk mengubah impedansi sisi 150 kV menjadi impedansi sumber sisi 20 kV dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [1]:

$$X_{SC(20)} = \frac{kV_{sekunder}^2}{kV_{primer}^2} \times X_{SC(150)} \quad (3)$$

Dimana:

MVA_{SC}	= MVA hubung singkat di sisi 150 kV (MVA)
I_{SC}	= Arus hubung singkat (kA)
$X_{SC(150)}$	= Impedansi sumber sisi 150 kV (Ω)
kV_{primer}	= Tegangan transformator daya sisi primer (kV)
$kV_{sekunder}$	= Tegangan transformator sisi sekunder (kV)

2. Menghitung Reaktansi Transformator

Perhitungan reaktansi pada transformator yang dihitung merupakan nilai reaktansi nya, sedangkan nilai tahanan dalam transformator tersebut di abaikan karena terlalu kecil [8]. Dalam menghitung reaktansi urutan positif (X_{T1}) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [1]:

$$X_{T1} = \% X_T \text{ diketahui} \times \frac{kV_{sekunder}^2}{MVA_{trafo}} \quad (4)$$

Sedangkan untuk menghitung reaktansi urutan nol (X_{T0}) transformator daya dengan belitan ΔY , dapat digunakan persamaan berikut [9]:

$$X_{T0} = X_{T1} \quad (5)$$

Dimana:

X_{T1}	= Reaktansi urutan positif pada transformator daya (Ω)
X_{T0}	= Reaktansi urutan negatif pada transformator daya (Ω)
$\% X_T \text{ diketahui}$	= Reaktansi pada transformator daya (%)
$kV_{sekunder}$	= Tegangan transformator sisi sekunder (kV)
MVA_{trafo}	= Kapasitas daya pada transformator daya (MVA)

3. Menghitung Impedansi Penyulang

Perhitungan impedansi penyulang bergantung pada nilai impedansi per kilometer (Ω/km) dari penyulang tersebut [10]. Dalam perhitungan ini, impedansi dianggap $Z = (R + jX) \Omega/\text{km}$, di mana nilai impedansi ditentukan oleh jenis penghantar, luas penampang, dan panjang dari penyulang [11]. Dalam Menghitung impedansi penyulang urutan positif (Z_1) dan urutan negatif (Z_2) dapat menggunakan persamaan berikut [12]:

$$Z_1 = Z_2 = Z \times l \quad (6)$$

Sedangkan untuk menghitung impedansi penyulang urutan nol (Z_0), dapat digunakan persamaan berikut:

$$Z_0 = Z \times l \quad (7)$$

Dimana:

$$Z_1 = \text{Impedansi penyulang urutan positif } (\Omega)$$

$$Z_2 = \text{Impedansi penyulang urutan negatif } (\Omega)$$

$$Z_0 = \text{Impedansi penyulang urutan nol } (\Omega)$$

$$l = \text{Panjang penyulang (km)}$$

4. Menghitung Impedansi Ekuivalen

Perhitungan nilai impedansi ekuivalen urutan positif (Z_{eq1}), urutan negatif (Z_{eq2}), dan urutan nol (Z_{eq0}) dari titik gangguan sampai ke sumber sesuai dengan nilai urutan tersebut [13]. Urutan positif dan urutan negatif karena tersambung seri maka langsung bisa dijumlahkan impedansi nya [14]. Sedangkan urutan nol, perhitungan dimulai dari titik gangguan sampai ke transformator daya yang netral nya ditanahkan [15].

Nilai impedansi ekuivalen untuk urutan positif dan negatif dapat dihitung sebagai berikut [16]:

$$Z_{eq1} = X_{sc(20)} + X_{T1} + Z_1 \quad (8)$$

$$Z_{eq2} = X_{sc(20)} + X_{T2} + Z_2 \quad (9)$$

Dimana:

$$Z_{eq1} = \text{Impedansi ekuivalen urutan positif } (\Omega)$$

$$Z_{eq2} = \text{Impedansi ekuivalen urutan negatif } (\Omega)$$

$$X_{sc(20)} = \text{Impedansi sumber sisi 20 kV } (\Omega)$$

$$X_{T1} = \text{Impedansi transformator daya urutan positif } (\Omega)$$

$$X_{T2} = \text{Impedansi transformator daya urutan negatif } (\Omega)$$

$$Z_1 = \text{Impedansi penyulang urutan positif } (\Omega)$$

$$Z_2 = \text{Impedansi penyulang urutan negatif } (\Omega)$$

Sedangkan untuk memperoleh nilai impedansi ekuivalen urutan nol, dapat menggunakan persamaan berikut [17] :

$$Z_{eq0} = X_{T0} + 3R_n + Z_0 \quad (10)$$

Dimana:

$$Z_{eq0} = \text{Impedansi ekuivalen urutan nol } (\Omega)$$

$$X_{T0} = \text{Impedansi transformator daya urutan nol } (\Omega)$$

$$3R_n = \text{Tahanan netral } (\Omega)$$

$$Z_0 = \text{Impedansi penyulang urutan nol } (\Omega)$$

Gangguan Hubung Singkat

1. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah

Untuk mencari nilai arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, dapat gunakan perhitungan dengan persamaan berikut [18], [19] :

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \quad (11)$$

Dimana:

$$\begin{array}{ll}
I_{a0} & = \text{Arus urutan nol (pu)} & Z_0 & = \text{Impedansi urutan nol (pu)} \\
I_{a1} & = \text{Arus urutan positif (pu)} & Z_1 & = \text{Impedansi urutan positif (pu)} \\
I_{a2} & = \text{Arus urutan negatif (pu)} & Z_2 & = \text{Impedansi urutan negatif (pu)} \\
E_a & = \text{Tegangan sistem (pu)} & Z_f & = \text{Impedansi gangguan (pu)}
\end{array}$$

Rumus di atas untuk menentukan arus urutan positif, negatif, dan nol pada titik gangguan. Sedangkan untuk mendapatkan arus fasa dititik gangguan, dapat menggunakan persamaan berikut [18],[20] :

$$\begin{bmatrix} I_{af} \\ I_{bf} \\ I_{cf} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Dimana:

$$\begin{array}{ll}
I_{a0} & = \text{Arus urutan nol (pu)} & I_{af} & = \text{Arus gangguan fasa A (pu)} \\
I_{a1} & = \text{Arus urutan positif (pu)} & I_{bf} & = \text{Arus gangguan fasa B (pu)} \\
I_{a2} & = \text{Arus urutan negatif (pu)} & I_{cf} & = \text{Arus gangguan fasa C (pu)}
\end{array}$$

2. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Untuk mencari nilai arus-arus urutan dititik gangguan 2 fasa, dapat gunakan perhitungan dengan persamaan berikut [21], [22]:

$$I_{a0} = 0 \quad (13)$$

$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (14)$$

Dimana:

$$\begin{array}{ll}
I_{a0} & = \text{Arus urutan nol (pu)} & Z_f & = \text{Impedansi gangguan (pu)} \\
I_{a1} & = \text{Arus urutan positif (pu)} & Z_1 & = \text{Impedansi urutan positif (pu)} \\
I_{a2} & = \text{Arus urutan negatif (pu)} & Z_2 & = \text{Impedansi urutan negatif (pu)} \\
E_a & = \text{Tegangan sistem (pu)}
\end{array}$$

Dengan cara yang sama, arus-arus fasa dititik gangguan dapat dihitung menggunakan persamaan (11).

3. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Arus urutan dititik gangguan saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa, dapat dinyatakan sebagai berikut [18]:

$$I_{a0} = I_{a2} = 0 \quad (15)$$

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_f} \quad (16)$$

Dimana:

$$\begin{array}{ll}
I_{a0} & = \text{Arus urutan nol (pu)} & E_a & = \text{Tegangan sistem (pu)} \\
I_{a1} & = \text{Arus urutan positif (pu)} & Z_1 & = \text{Impedansi urutan positif (pu)} \\
I_{a2} & = \text{Arus urutan negatif (pu)} & Z_f & = \text{Impedansi gangguan (pu)}
\end{array}$$

Dengan cara yang sama, dalam menentukan arus-arus fasa dititik gangguan saat terjadi hubung singkat 3 fasa dapat menggunakan persamaan (11).

Gangguan Simpatetik Trip

Simpatetik trip terjadi ketika pemutus tenaga (PMT) pada penyulang yang tidak terganggu (penyulang sehat) terputus oleh relai gangguan tanah (GFR) akibat gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah yang terjadi pada penyulang lain yang terhubung dalam satu bus. Hal ini biasanya terjadi karena setting relai gangguan tanah (GFR) ini lebih kecil dari pada arus kapasitif (I_{ce}), sehingga relai tersebut akan memerintahkan PMT untuk trip [23]. Dalam menentukan I_{ce} (arus kapasitif) dapat menggunakan persamaan berikut ini [5]:

$$I_{ce} = \frac{3 \times V_{L-N}}{X_{c \text{ total penyulang}}} \quad (17)$$

Sedangkan X_C total penyulang (reaktansi kapasitif) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$X_{c \text{ total penyulang}} = \frac{1}{2\pi f C_e} \quad (18)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} I_{ce} &= \text{Arus kapasitif (A)} \\ V_{L-N} &= \text{Tegangan fasa-netral (V)} \\ C_e &= \text{Kapasitansi urutan nol sistem (F)} \\ f &= \text{Frekuensi (Hz)} \\ X_c &= \text{Reaktansi kapasitif } (\Omega) \end{aligned}$$

Relai Arus Lebih (OCR) dan Relai Arus Lebih Ke Tanah (GFR)

Over Current Relay (OCR) adalah alat proteksi pada sistem tenaga listrik bila terjadi gangguan antar fasa [24], [25], sementara Ground Fault Relay (GFR) berfungsi sebagai alat proteksi sistem tenaga listrik untuk gangguan 1 fasa ke tanah [26]. Kedua jenis relai ini memiliki berperan penting dalam melindungi jaringan distribusi dari gangguan hubung singkat. Dalam menentukan setting relai proteksi ada dua parameter yang harus dihitung yaitu setting arus (I_{set}) dan Time Multiple Setting (TMS).

1. Setting Arus OCR

Untuk menentukan I_{set} pada relai OCR di sisi primer dan sekunder, dapat digunakan persamaan berikut [1]:

$$I_{set-OCR}(\text{primer}) = 1,1 \times I_{beban}(\text{max}) \quad (19)$$

Sedangkan I_{set} di sisi sekunder yaitu:

$$I_{set-OCR}(\text{sekunder}) = \frac{I_{set-OCR}(\text{primer})}{\text{Rasio CT}} \quad (20)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} I_{set-OCR}(\text{primer}) &= \text{Arus setting OCR sisi primer (A)} \\ I_{beban}(\text{max}) &= \text{Arus beban penyulang maksimum (A)} \\ I_{set-OCR}(\text{sekunder}) &= \text{Arus setting OCR sisi sekunder (A)} \\ \text{Rasio CT} &= \text{Rasio trafo arus (A)} \end{aligned}$$

2. Setting Arus GFR

Untuk setting arus pada relai arus lebih ke tanah (GFR) dapat di setting mulai dari 6% hingga 12% dari arus gangguan hubung singkat 1 fasa terjauh atau terkecil [1]. I_{set} pada relai OCR di sisi primer dan sekunder dapat ditentukan dengan persamaan berikut [1]:

$$I_{set-GFR}(\text{primer}) = 8\% \times I_{fasa-tanah}(\text{min}) \quad (21)$$

Sedangkan I_{set} di sisi sekunder yaitu:

$$I_{set-GFR}(\text{sekunder}) = \frac{I_{set-GFR}(\text{primer})}{\text{Rasio CT}} \quad (22)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} I_{set-GFR}(\text{primer}) &= \text{Arus setting GFR sisi primer (A)} \\ I_{fasa-tanah}(\text{min}) &= \text{Arus gangguan 1 fasa ke tanah terkecil (A)} \\ I_{set-GFR}(\text{sekunder}) &= \text{Arus setting GFR sisi sekunder (A)} \\ \text{Rasio CT} &= \text{Rasio trafo arus (A)} \end{aligned}$$

3. Setting TMS

Setelah diperoleh hasil setting arus pada relai OCR dan GFR, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan setting TMS [1]:

$$TMS = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{fault}(\text{max})}{I_{set}(\text{primer})} \right)^\alpha - 1 \right]}{\beta} \quad (23)$$

Dimana:

- TMS = Time Multiple Setting
- $I_{fault (max)}$ = Arus gangguan hubung singkat maksimum (A)
- $I_{set (primer)}$ = Arus Setting di sisi primer (A)
- t = Setting waktu (s)

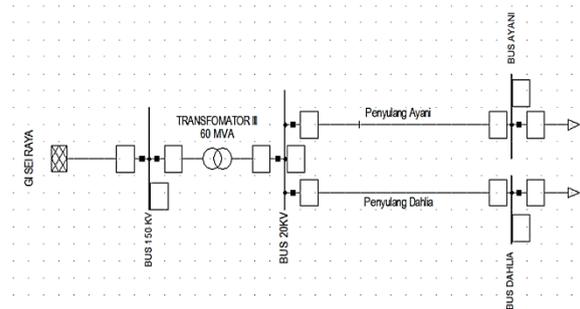
Untuk nilai konstanta pada saat setting TMS bisa di lihat pada tabel di bawah ini [27]:

Tabel 1. Nilai konstanta α dan β

Nama Kurva	α	β
Standard Inverse	0,02	0,14
Very Inverse	1	13,5
Extremely Inverse	2	80
Long Inverse	1	120

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Penelitian



Gambar 1. Single line diagram penyulang Ayani dan Dahlia

1. Data Transformator Daya

Gardu Induk 150 kV Sei Raya dilengkapi dengan tiga Transformator, yaitu Transformator 1, Transformator 2, dan Transformator 3. Dalam penelitian ini, Penyulang Ayani dan Dahlia terhubung melalui Transformator 3. Oleh karena itu, Transformator yang digunakan dalam penelitian ini hanya Transformator 3. Untuk terkait data Transformator 3 di Gardu Induk 150 kV Sei Raya dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data spesifikasi transformator daya

Transformator daya 3 Sei Raya	
Merk	Pauwels
Tahun Pembuatan	2012
Kapasitas Daya	60 MVA
Frekuensi	50 Hz
Phasa	3
Vektor Group	YNyn0+d
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Arus Primer	230.9 A
Arus Sekunder	1732.1 A
Rn	40 Ω
Impedansi Trafo	12,586%
Minyak Trafo	Nyas Nitro Libra

2. Data Jenis Penghantar

Penghantar yang digunakan pada penelitian ini menggunakan jenis penghantar AAAC (All Aluminum Alloy Conductor) dan XLPE (Cross-Linked Polyethylene) yang bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data jenis penghantar

Nama Penyulang	Jenis Penghantar	Jarak Penghantar (km)
Ayani	AAAC dan XLPE	23,2
Dahlia	XLPE	6,4

Data impedansi untuk jenis penghantar AAAC dan XLPE pada penelitian ini bisa dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data impedansi penghantar AAAC 3 × 150 mm² dan XLPE 3 × 240 mm²

Jenis Penghantar	Diameter Penghantar (mm ²)	Impedansi		Kapasitansi (uf/km)
		Urutan Positif/Negatif (Ω)	Urutan Nol (Ω)	
AAAC	150	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180	0,011
XLPE	240	0,125 + j 0,097	0,275 + j 0,029	0,311

3. Data Beban Penyulang

Data arus beban maksimal (I_{max}) pada penyulang Ayani dan Dahlia dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data arus beban maksimal penyulang

Nama Penyulang	Arus Beban Maksimal (A)
Ayani	139
Dahlia	51

4. Data Arus Hubung Singkat 150 kV

Data arus hubung singkat (I_{sc}) ini diperoleh pada sisi 150 kV di Gardu Induk Sei Raya yang terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Data arus hubung singkat 150 kV

Lokasi	Arus Hubung Singkat (I_{sc}) 150 kV			
	Min		Max	
	kA	MVA	kA	MVA
Gardu Induk Sei Raya	4,98	1293,842	5,03	1306,832

5. Data Setting dan Spesifikasi Relai

Data setting dan spesifikasi relai pada penyulang Ayani dan Dahlia bertujuan untuk membandingkan nilai setting pada kondisi existing dengan hasil perhitungan. Dengan membandingkan hasil setting relai tersebut, apakah terdapat potensi terjadinya simpatetik trip atau tidak. Setting relai pada penyulang Ayani dan Dahlia kondisi existing terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Data setting dan spesifikasi relai

Lokasi	Relai Arus Lebih (OCR)		Relai Arus Lebih Ke Tanah (GFR)	
Outgoing Ayani	Merek	: Siemens 7SR22	Merek	: Siemens 7SR22
	Tipe	: -	Tipe	: -
	No seri	: 103551504/0002	No seri	: 103551504/0002
	karakteristik	: Standard Inverse	karakteristik	: Standard Inverse
	Rasio CT	: 2000/5	Rasio CT	: 2000/5
	$I_0 >$ Primer	: 300 (A)	$I_0 >$ Primer	: 16 (A)
	Sekunder	: 0,75 (A)	Sekunder	: 0,04 (A)
	Tms	: 0,05	Tms	: 0,06
	$I_0 \gg$ Primer	: 1300 (A)	$I_0 \gg$ Primer	: - (A)
	Sekunder	: 3,25 (A)	Sekunder	: - (A)
$t \gg$: 0,05 (S)	$t \gg$: - (S)	
Outgoing Dahlia	Merek	: Micom P127	Merek	: Micom P127
	Tipe	: -	Tipe	: -
	No seri	: 39639982/12/17	No seri	: 39639982/12/17
	karakteristik	: Standard Inverse	karakteristik	: Standard Inverse
	Rasio CT	: 300/5	Rasio CT	: 300/5
	$I_0 >$ Primer	: 300 (A)	$I_0 >$ Primer	: 15 (A)
	Sekunder	: 5 (A)	Sekunder	: 0,25 (A)
	Tms	: 0,15	Tms	: 0,35
	$I_0 \gg$ Primer	: 2150 (A)	$I_0 \gg$ Primer	: - (A)
	Sekunder	: 35,8 (A)	Sekunder	: - (A)
$t \gg$: 0,25 (S)	$t \gg$: - (S)	

Impedansi Jaringan

1. Perhitungan Impedansi Sumber

Dengan menggunakan persamaan (1), maka MVA hubung singkat tiga fasa di sisi 150 kV pada Gardu Induk Sei Raya adalah sebagai berikut:

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} \times I_{SC} \times kV_{primer}$$

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} \times 4,98 \times 150$$

$$MVA_{SC} = 1293,84 \text{ MVA}$$

Setelah di dapatkan MVA_{SC} , selanjutnya dihitung impedansi sumber sisi 150 kV menggunakan persamaan (2):

$$X_{SC(150)} = \frac{kV_{primer}^2}{MVA_{sc}}$$

$$X_{SC(150)} = \frac{150^2}{1293,84}$$

$$X_{SC(150)} = j17,39 \Omega$$

Terakhir, mengubah impedansi sumber sisi 150 kV ke sisi 20 kV dengan menggunakan persamaan (3):

$$X_{SC(20)} = \frac{kV_{sekunder}^2}{kV_{primer}^2} \times X_{SC(150)}$$

$$X_{SC(20)} = \frac{20^2}{150^2} \times j17,39 \Omega$$

$$X_{SC(20)} = j0,309 \Omega$$

2. Perhitungan Reaktansi Transformator Daya

Nilai reaktansi urutan positif (X_{T1}) pada transformator daya dapat menggunakan persamaan (4):

$$X_{T1} = \% X_T \text{ diketahui} \times \frac{kV_{sekunder}^2}{MVA_{trafo}}$$

$$X_{T1} = 0,12586 \times \frac{20^2}{60}$$

$$X_{T1} = j0,0839 \Omega$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai reaktansi urutan nol (X_{T0}) pada transformator daya, gunakan persamaan (5):

$$X_{T0} = X_{T1}$$

$$X_{T0} = j0,0839 \Omega$$

3. Perhitungan Impedansi Penyulang

Jenis penghantar pada penyulang Ayani dan Dahlia yaitu AAAC 3×150 mm² dan XLPE 3×240 mm². Untuk menghitung nilai impedansi penyulang Ayani dan Dahlia dapat menggunakan persamaan (6) dan (7):

- a. Impedansi urutan positif / negatif penyulang Dahlia jarak 50% (3,2 km)

$$Z_1 = Z_2 = Z \times l$$

$$Z_1 = Z_2 = (0,125 + j0,097) \times 3,2$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,4 + j0,310 \Omega$$

- b. Impedansi urutan nol penyulang Dahlia jarak 50% (3,2 km)

$$Z_0 = Z \times l$$

$$Z_0 = (0,275 + j0,029) \times 3,2$$

$$Z_0 = 0,88 + j0,093 \Omega$$

Dengan cara yang sama, didapatkan hasil impedansi di setiap penyulang pada jarak 0%, 50% dan 100% dari panjang penyulang yang terlihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil impedansi penyulang

Penyulang	Persen (%)	Jarak (Km)	Impedansi Urutan Positif/Negatif ($Z_1 = Z_2$) (Ω)	Impedansi Urutan Nol (Z_0) (Ω)
Ayani	0%	0	0	0
	50%	11,6	2,163 + j2,950	3,879 + j12,754
	100%	23,2	4,325 + j5,9	7,757 + j25,509
Dahlia	0%	0	0	0
	50%	3,2	0,4 + j0,310	0,88 + j0,093
	100%	6,4	0,8 + j0,621	1,76 + j0,186

4. Perhitungan Impedansi Ekuivalen

Untuk menghitung impedansi ekuivalen dapat menggunakan persamaan (8) dan (10). Dengan cara menjumlahkan impedansi sumber, transformator dan penyulang sesuai dengan urutannya. Berikut adalah perhitungan impedansi ekuivalen:

- a. Impedansi ekuivalen urutan positif/negatif pada penyulang Dahlia jarak 50% (3,2 km)

$$Z_{eq1} = Z_{eq2} = X_{SC(20)} + X_{T1} + Z_1$$

$$Z_{eq1} = Z_{eq2} = j0,309 + j0,839 + 0,4 + j0,310$$

$$Z_{eq1} = Z_{eq2} = 0,4 + j1,458 \Omega$$

b. Impedansi ekuivalen urutan nol pada penyulang Dahlia jarak 50% (3,2 km)

$$Z_{eq0} = X_{T2} + 3R_n + Z_0$$

$$Z_{eq0} = j0,839 + (3 \times 40) + 0,88 + j0,093$$

$$Z_{eq0} = 120,88 + j0,932 \Omega$$

Dengan cara yang sama didapatkan hasil impedansi ekuivalen penyulang pada jarak 0%, 50% dan 100% dari panjang penyulang yang terlihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil impedansi ekuivalen penyulang

Penyulang	Persen (%)	Jarak (Km)	Impedansi Ekuivalen Urutan Positif/Negatif ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$) (Ω)	Impedansi Ekuivalen Urutan Nol (Z_{0eq}) (Ω)
Ayani	0 %	0	$0 + j1,148$	$120 + j0,839$
	50 %	11,6	$2,163 + j4,098$	$123,879 + j13,594$
	100%	23,2	$4,325 + j7,048$	$127,757 + j26,348$
Dahlia	0 %	0	$0 + j1,148$	$120 + j0,839$
	50 %	3,2	$0,4 + j1,458$	$120,88 + j0,932$
	100%	6,4	$0,8 + j1,769$	$121,76 + j1,025$

Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah memperoleh nilai impedansi ekuivalen yang sesuai dengan jarak panjang penyulang, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah dengan menggunakan persamaan (11) – (16). Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat pada berapa titik di setiap penyulang terlihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil gangguan arus hubung singkat

Penyulang	Persen (%)	Jarak (km)	Gangguan Arus Hubung Singkat		
			3 Fasa (A)	2 Fasa (A)	1 Fasa ke Tanah (A)
Ayani	0 %	0	10056,442	8709,745	285,920
	50%	11,6	2490,947	2158,206	263,391
	100%	23,2	1395,687	1207,358	243,875
Dahlia	0 %	0	10057,442	8709,745	285,920
	50%	3,2	7636,317	6610,64	284,535
	100%	6,4	5946,939	5153,357	277,263

Perhitungan Arus Kapasitif

Arus kapasitif (I_{ce}) dihasilkan dari kapasitansi jenis penghantar yang digunakan, ketika terjadi gangguan 1 fasa ke tanah, arus kapasitif ini akan mengalir ke penyulang yang sehat. Untuk menghitung arus kapasitif di tiap penyulang dapat menggunakan persamaan (17) dan (18). Hasil perhitungan arus kapasitif terlihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil perhitungan arus kapasitif

Nama Penyulang	Panjang Penyulang (km)	Arus Kapasitif (A)
Ayani	23,2	27,478
Dahlia	6,4	21,650

Perhitungan Setting Relai OCR dan GFR

Dalam setting relai OCR, diperlukan data arus beban maksimum pada setiap penyulang serta nilai rasio CT yang tercantum pada Tabel 5 dan Tabel 7. Sedangkan setting relai GFR, diperlukan data nilai rasio CT serta arus hubung singkat 1 fasa ke tanah yang terjauh yang tercantum pada Tabel 7 dan Tabel 10. Untuk menghitung setting relai OCR dan GFR bisa menggunakan persamaan (19) – (23). Hasil perhitungan setting relai OCR dan GFR tercantum pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil perhitungan setting relai OCR dan GFR

Nama Penyulang	Setting OCR			Setting GFR		
	$I_{set-OCR}$ Primer (A)	$I_{set-OCR}$ sekunder (A)	TMS	$I_{set-GFR}$ Primer (A)	$I_{set-GFR}$ sekunder (A)	TMS
Ayani	152,9	0,382	0,187	19,510	0,049	0,118
Dahlia	56,1	0,935	0,234	22,181	0,370	0,112

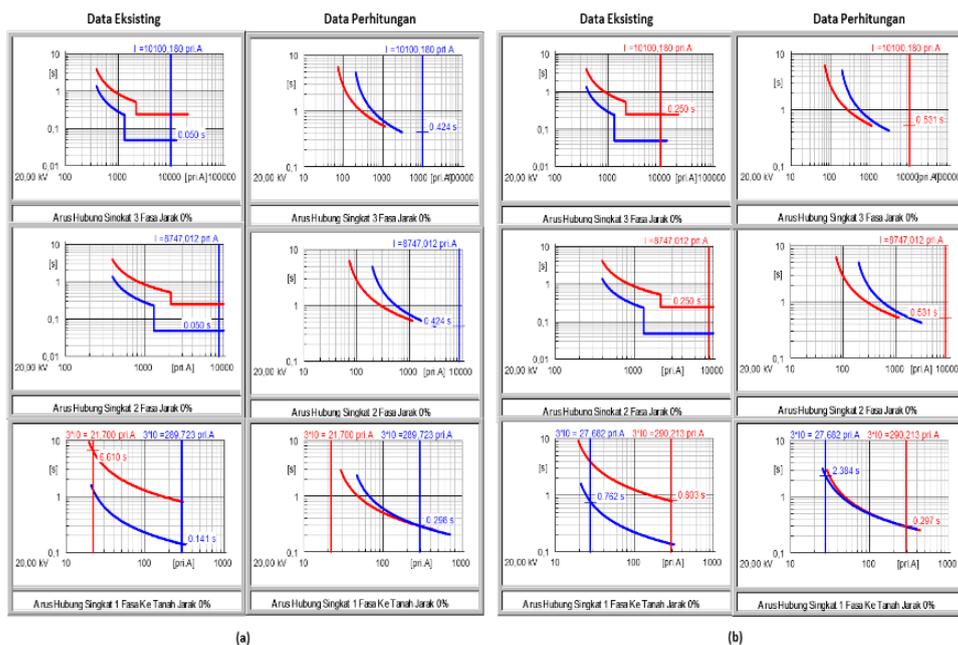
Simulasi Digsilent Power Factory 15.1

1. Simulasi Koordinasi Setting Relai Proteksi Skenario 1

Pada simulasi koordinasi setting relai proteksi skenario 1, dilakukan dengan memberikan gangguan arus hubung singkat pada setiap penyulang. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk membandingkan setting relai dalam kondisi eksisting dengan hasil perhitungan, sehingga dapat ketahui waktu kerja relai serta kurva yang menyebabkan simpatetik trip. Pada simulasi ini, ditampilkan dua karakteristik kurva yaitu, warna merah untuk relai Penyulang Dahlia dan warna biru untuk relai penyulang Ayani yang terlihat pada Gambar 1. Sedangkan untuk hasil simulasi waktu kerja relai yang lebih lengkap ditunjukkan pada Tabel 13 dan Tabel 14.

Berdasarkan Tabel 13 dan Gambar 2(a) pada kondisi eksisting, ketika terjadi gangguan 1 fasa ke tanah pada penyulang Ayani yang bersifat temporer (sementara), seharusnya penyulang lainnya (Dahlia) tidak mengalami trip, karena waktu kerja relai pada penyulang Ayani yang lebih cepat dibandingkan dengan penyulang Dahlia. Sebagai contoh, ketika terjadi gangguan dititik 0% dari panjang penyulang (0 km), waktu trip pada penyulang Ayani adalah 0,141 detik, sementara pada penyulang Dahlia adalah 6,610 detik. Namun, karena penelitian ini, gangguan di asumsikan bersifat permanen, di mana arus kapasitif tetap mengalir meskipun gangguan telah diputuskan oleh relai proteksi. Akibatnya, maka penyulang Dahlia dapat tetap mengalami trip, meskipun tidak ada gangguan langsung pada penyulang tersebut. Fenomena ini dikenal sebagai simpatetik trip, di mana arus kapasitif yang terdeteksi pada penyulang yang sehat menyebabkan relai berkerja.

Sedangkan berdasarkan Tabel 14 dan Gambar 1(b) pada kondisi eksisting, ketika terjadi gangguan 1 fasa ke tanah pada penyulang Dahlia, penyulang lainnya (Ayani) juga mengalami trip. Hal ini disebabkan oleh waktu kerja relai pada penyulang Dahlia yang lebih lambat dibandingkan dengan penyulang Ayani. Sebagai contoh, ketika terjadi gangguan dititik 0% dari panjang penyulang (0 km), waktu trip pada penyulang Dahlia adalah 0,803 detik, sementara pada penyulang Ayani adalah 0,762 detik. Untuk mengatasi masalah ini, tetap dilakukan reseting pada penyulang Dahlia dan Ayani yang mengalami simpatetik trip saat terjadi gangguan permanen maupun sementara.



Gambar 2. Hasil simulasi waktu kerja relai proteksi penyulang (a) Ayani dan (b) Dahlia

Tabel 13. Hasil simulasi waktu kerja relai (penyulang Ayani)

Setting Relai	Gangguan Penyulang	Panjang Penyulang (km)	Panjang penyulang (%)	Waktu Kerja Relai		
				3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa ke Tanah
Eksisting	Penyulang Ayani	0	0%	0,05 Detik	0,05 Detik	0,141 Detik
		11,6	50%	0,05 Detik	0,05 Detik	0,144 Detik
		23,2	100%	0,235 Detik	0,261 Detik	0,149 Detik
	Penyulang Lainnya (Dahlia)	0	0%	-	-	6,610 Detik
		3,2	50%	-	-	7,895 Detik
		6,4	100%	-	-	Tidak Kerja
Perhitungan	Penyulang Ayani	0	0%	0,424 Detik	0,424 Detik	0,299 Detik
		11,6	50%	0,431 Detik	0,454 Detik	0,305 Detik
		23,2	100%	0,599 Detik	0,643 Detik	0,315 Detik
	Penyulang Lainnya (Dahlia)	0	0%	-	-	Tidak Kerja
		3,2	50%	-	-	Tidak Kerja
		6,4	100%	-	-	Tidak Kerja

Tabel 14. Hasil simulasi waktu kerja relai (penyulang Dahlia)

Setting Relai	Gangguan Penyulang	Panjang Penyulang (km)	Panjang penyulang (%)	Waktu Kerja Relai		
				3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa ke Tanah
Eksisting	Penyulang Dahlia	0	0%	0,25 Detik	0,25 Detik	0,803 Detik
		3,2	50%	0,25 Detik	0,25 Detik	0,807 Detik
		6,4	100%	0,25 Detik	0,25 Detik	0,811 Detik
	Penyulang Lainnya (Ayani)	0	0%	-	-	0,762 Detik
		11,6	50%	-	-	0,783 Detik
		23,2	100%	-	-	0,805 Detik
Perhitungan	Penyulang Dahlia	0	0%	0,531 Detik	0,531 Detik	0,297 Detik
		3,2	50%	0,531 Detik	0,531 Detik	0,299 Detik
		6,4	100%	0,531 Detik	0,531 Detik	0,301 Detik
	Penyulang Lainnya (Ayani)	0	0%	-	-	2,384 Detik
		11,6	50%	-	-	2,491 Detik
		23,2	100%	-	-	2,606 Detik

2. Simulasi Koordinasi Setting Relai Proteksi Skenario 2

Untuk mencegah terjadinya simpatetik trip pada penyulang Ayani dan Dahlia, arus setting relai GFR perlu ditingkatkan sehingga melebihi nilai arus kapasitif yang ada pada penyulang tersebut. Oleh karena itu, disarankan agar perhitungan kedua hanya dilakukan pada relai GFR di penyulang Ayani, karena berdasarkan perhitungan diawal, penyulang Dahlia tidak mengalami simpatetik. Arus setting relai GFR yang direkomendasikan pada penyulang Ayani yaitu 1,3 kali nilai arus kapasitif, dengan tujuan untuk menghindari terjadinya simpatetik trip di masa depan.

Berikut ini adalah perhitungan arus setting relai GFR pada penyulang Ayani yang bertujuan agar dapat mencegah terjadinya simpatetik trip:

$$I_{set-GFR (primer)} = 1,3 \times I_{ce}$$

$$I_{set-GFR (primer)} = 1,3 \times 27,478$$

$$I_{set-GFR (primer)} = 35,722 \text{ A}$$

Sedangkan untuk sisi sekunder nya dapat menggunakan persamaan (22):

$$I_{set-GFR (sekunder)} = \frac{I_{set-GFR (primer)}}{\text{Rasio CT}}$$

$$I_{set-GFR (sekunder)} = \frac{35,722}{\left(\frac{300}{5}\right)}$$

$$I_{set-GFR (sekunder)} = 0,089 \text{ A}$$

Setelah didapatkan nilai arus setting, selanjutnya perhitungan TMS menggunakan persamaan (23):

$$TMS = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{fault(max)}}{I_{set(primer)}} \right)^\alpha - 1 \right]}{\beta}$$

$$TMS = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{288,577}{35,722} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,091 \text{ tanpa satuan}$$

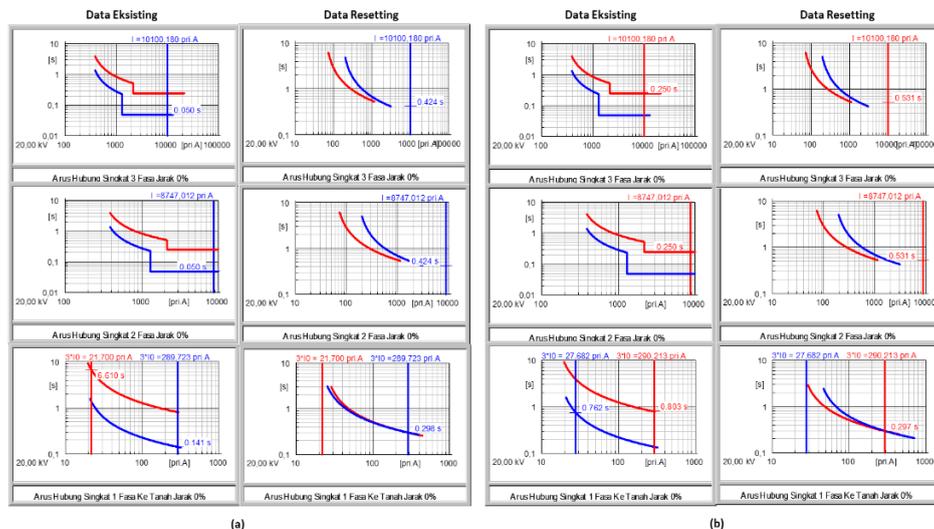
Berdasarkan hasil perhitungan kedua yang telah dilakukan. Hasil setting relai GFR yang telah reseting ditunjukkan Tabel 15.

Tabel 15. Hasil reseting relai OCR dan GFR

Nama Penyulang	Setting OCR			Setting GFR			Arus Kapasitif (A)
	I _{set-OCR Primer} (A)	I _{set-OCR sekunder} (A)	TMS	I _{set-GFR Primer} (A)	I _{set-GFR sekunder} (A)	TMS	
Ayani	152,9	0,382	0,187	35,722	0,089	0,091	27,478
Dahlia	56,1	0,935	0,234	22,181	0,370	0,112	21,650

Pada Tabel 15, hanya relai GFR pada penyulang Ayani yang di reseting, sedangkan pengaturan relai lainnya tetap menggunakan setting berdasarkan perhitungan sebelumnya. Untuk memastikan bahwa reseting arus relai yang dilakukan aman, akan dilakukan simulasi koordinasi relai terakhir dengan membandingkan hasil simulasi kondisi eksisting dan reseting.

Setelah dilakukan reseting relai pada penyulang Ayani dan Dahlia, simpatetik trip tidak terjadi lagi. Ketika terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada penyulang Ayani, waktu kerja relai pada titik gangguan 0% (0 km) adalah 0,298 detik, sedangkan pada penyulang yang lainnya (Dahlia), relai tidak berkerja. Sebaliknya, ketika terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada penyulang Dahlia, waktu kerja relai pada penyulang Dahlia adalah 0,297 detik, sementara pada penyulang lainnya (Ayani), relai tidak bekerja. Hal ini menunjukkan bahwa setelah reseting, simpatetik trip tidak akan terjadi lagi ketika terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah. Untuk lebih lengkapnya bisa di lihat pada Gambar 3 dan Tabel 16 – Tabel 17.



Gambar 3. Hasil simulasi waktu kerja relai setelah reseting penyulang (a) Ayani dan (b) Dahlia
Tabel 16. Hasil simulasi waktu kerja relai setelah reseting (penyulang Ayani)

Setting Relai	Gangguan Penyulang	Panjang Penyulang (km)	Panjang penyulang (%)	Waktu Kerja Relai		
				3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa ke Tanah
Eksisting	Penyulang Ayani	0	0%	0,05 Detik	0,05 Detik	0,141 Detik
		11,6	50%	0,05 Detik	0,05 Detik	0,144 Detik
		23,2	100%	0,235 Detik	0,261 Detik	0,149 Detik
	Penyulang Lainnya (Dahlia)	0	0%	-	-	6,610 Detik
		3,2	50%	-	-	7,895 Detik
		6,4	100%	-	-	Tidak Kerja
Reseting	Penyulang Ayani	0	0%	0,424 Detik	0,424 Detik	0,298 Detik
		11,6	50%	0,431 Detik	0,454 Detik	0,305 Detik
		23,2	100%	0,599 Detik	0,643 Detik	0,317 Detik
	Penyulang Lainnya (Dahlia)	0	0%	-	-	Tidak Kerja
		3,2	50%	-	-	Tidak Kerja
		6,4	100%	-	-	Tidak Kerja

Tabel 17. Hasil simulasi waktu kerja relai setelah resetting (penyulang Dahlia)

Setting Relai	Gangguan Penyulang	Panjang Penyulang (km)	Panjang penyulang (%)	Waktu Kerja Relai		
				3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa ke Tanah
Eksisting	Penyulang Dahlia	0	0%	0,25 Detik	0,25 Detik	0,803 Detik
		3,2	50%	0,25 Detik	0,25 Detik	0,807 Detik
		6,4	100%	0,25 Detik	0,25 Detik	0,811 Detik
	Penyulang Lainnya (Ayani)	0	0%	-	-	0,762 Detik
		11,6	50%	-	-	0,783 Detik
		23,2	100%	-	-	0,805 Detik
Resetting	Penyulang Dahlia	0	0%	0,531 Detik	0,531 Detik	0,297 Detik
		3,2	50%	0,531 Detik	0,531 Detik	0,299 Detik
		6,4	100%	0,531 Detik	0,531 Detik	0,301 Detik
	Penyulang Lainnya (Ayani)	0	0%	-	-	Tidak Kerja
		11,6	50%	-	-	Tidak Kerja
		23,2	100%	-	-	Tidak Kerja

Analisis Setting Relai Proteksi Mencegah Simpatetik Trip

Mengacu pada Tabel 18, setting relai dalam kondisi eksisting perlu dilakukan resetting pada kedua penyulang. Hal ini sebabkan, arus setting relai yang lebih kecil di bandingkan arus kapasitif yang mengalir pada masing-masing penyulang. Pada penyulang Ayani, setting relai dalam kondisi eksisting adalah 16 ampere, sementara arus kapasitif yang mengalir pada penyulang tersebut saat terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada penyulang lain adalah 27,478 ampere. Sedangkan pada penyulang Dahlia, arus setting relai adalah 15 ampere, sementara arus kapasitif yang mengalir adalah 21,650 ampere.

Berdasarkan hasil perhitungan yang lebih lanjut, pada penyulang Ayani resetting relai tetap dilakukan karena nilai arus setting relai (19,510 ampere) masih lebih kecil di bandingkan arus kapasitif yang mengalir (27,478). Sedangkan pada penyulang Dahlia, arus setting relai sudah dianggap aman karena nilai arus setting (22,181 ampere) lebih besar di bandingkan arus kapasitif (21,650 ampere).

Setelah dilakukan resetting pada penyulang yang mengalami trip simpatetik, hasil akhir yang diperoleh menunjukkan bahwa pada penyulang Ayani, arus setting relai meningkat menjadi 35,722 ampere, sedangkan pada penyulang Dahlia, nilai setting relai tetap pada 22,181 ampere. Oleh karena itu, jika PLN berencana untuk melakukan penarikan jaringan baru, diperlukan analisis ulang terhadap setting relai untuk mencegah terjadinya trip simpatetik di masa mendatang.

Tabel 18. Perbandingan setting relai GFR kondisi eksisting, perhitungan, dan resetting

Setting Relai	Nama Penyulang	Arus Kapasitif (A)	Arus Setting GFR (A)			Rekomendasi
			I _{set-GFR Primer} (A)	I _{set-GFR sekunder} (A)	TMS	
Eksisting	Ayani	27,478	16	0,04	0,06	Resetting
	Dahlia	21,650	15	0,25	0,35	Resetting
Perhitungan	Ayani	27,478	19,510	0,049	0,118	Resetting
	Dahlia	21,650	22,181	0,370	0,112	Aman
Resetting	Ayani	27,478	35,722	0,089	0,091	Aman
	Dahlia	21,650	22,181	0,370	0,112	Aman

KESIMPULAN

Setelah dilakukan perhitungan dan simulasi menggunakan software DIgSILENT PowerFactory 15.1 untuk mendapatkan koordinasi relai yang tepat guna mencegah terjadinya simpatetik, dilakukan resetting relai GFR pada penyulang Ayani menjadi 35,722 A dan pada penyulang Dahlia menjadi 22,181 A.

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan software DIgSILENT PowerFactory 15.1, gangguan simpatetik trip dapat terjadi pada penyulang Ayani dan Dahlia saat terjadi gangguan 1 fasa ke tanah pada masing-masing penyulang. Penyebabnya adalah arus kapasitif yang mengalir pada kedua penyulang tersebut, yang melebihi nilai setting arus relai GFR. Pada penyulang Ayani, arus kapasitif tercatat sebesar 27,478 A,

sementara pada penyulang Dahlia tercatat 21,650 A, keduanya melebihi setting arus relai kondisi eksisting yang masing-masing sebesar 16 A dan 15 A.

Berdasarkan hasil perhitungan, arus kapasitif yang mengalir pada penyulang Ayani adalah sebesar 27,478 A, sedangkan penyulang Dahlia sebesar 21,650. Arus kapasitif ini potensi memicu terjadinya simpatetik trip, karena nilainya melebihi setting arus relai GFR pada masing-masing penyulang dalam kondisi eksisting.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Azis and I. K. Febrianti, "Analisis Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang," *J. Ampere*, vol. 4, no. 2, pp. 332–344, 2019.
- A. Firmansyah, M. Noer, and I. J. Putra, "Evaluasi Sistem Proteksi Penyulang Kalingga Pada Gardu Induk New Jakabaring yang Melayani Pelanggan Premium," *J. Eltek*, vol. 20, no. 1, pp. 11–24, 2022, doi: 10.33795/eltek.v20i1.338.
- A. Gaffar, Agussalim, and D. Arisandi, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi 20 kV di Gardu Induk Panakkukang," *J. Teknol. Elekterika*, vol. 14, p. 156, 2017, doi: 10.31963/elekterika.v14i2.1221.
- A. Multi and T. Addaus, "Analisa Proteksi Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) Pada Transformator Daya Gardu Induk," *Sainstech J. Penelit. Dan Pengkaj. Sains Dan Teknol.*, vol. 32, no. 1, pp. 1–8, 2022, doi: 10.37277/stch.v32i1.1215.
- A. Sofwan and M. F. Rochman, "Analisa Sistem Koordinasi Kerja Relay Dengan Recloser Pada Penyulang Berbasis Simulasi Etap," *Sinusoida*, vol. 25, no. 2, pp. 13–19, 2023, doi: 10.37277/s.v25i2.1923.
- C. A. Bathamantri, R. S. Wibowo, and O. Penangsang, "Analisis Sympathetic Trip Pada Penyulang Ungasan dan Bali Resort, Bali," *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, pp. 81–86, 2012.
- C. Rizal and A. Azis, "Analisa Setting Relai Arus Lebih (OCR) dan Relai Gangguan Tanah (GFR) Pada Penyulang Gurami Gardu Induk Sungai Kedukan Palembang," *J. Ampere*, vol. 7, no. 1, pp. 49–62, 2022.
- F. Pranayuda, A. Solichan, and M. T. Prasetyo, "Analisis Penyetelan Proteksi Arus Lebih Penyulang Cimalaka di Gardu Induk 70 kV Sumedang," *Media Elektr.*, vol. 5, no. 2, pp. 11–26, 2012.
- F. Tasiem, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Teknosian, 2017.
- I. M. Dwipayana, Supriyatna, and I. M. A. Nnarthana, "Symphathetic Trip Pada Penyulang 20 kV di Gardu Induk Ampenan PT. PLN (Persero) APDP Mataram," *J. Bakti Nusa*, vol. 1, no. 2, pp. 14–24, 2020.
- I. Mayasari, R. Kurnianto, and Danial, "Studi Koordinasi Proteksi Arus Lebih Antara Recloser dan Relay Arus Lebih Pada Penyulang Pematang Mas GI 20 kV Kota Baru," *JimpJurnal Penelit. Iilm. Multidisiplin*, vol. 9, no. 2, 2025.
- J. Glover, M. Sarma, and T. j Overbye, *Power System Analysis and Design*, 5 th Ed. Stamford: Cengage learning, 2012.
- J. Glover, T. J. Overbye, and M. S. Sarma, *Power System Analysis and Design*, 6 th Ed. Boston: Cengage learning, 2017.
- J. Grainger and W. Stevenson, *Power System Analysis*. Singapore: McGraw-Hill, 1994.
- L. Maisyarah, "Analisis Hubung Singkat Pada Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV (Studi Kasus Pada Penyulang LG 02 PT. PLN (Persero) Rayon Lhokseumawe) Menggunakan Software Etap 12.6.0," *J. Energi Elektr.*, vol. 08, no. 1, pp. 25–31, 2019.
- L. N. Syamsy, T. Tohir, and Supriyanto, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Penyulang RASA PT. PLN (Persero) UP3 Majalaya Menggunakan Software Etap," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 15, no. 1, pp. 378–385, 2024, doi: 10.35313/irwns.v15i1.6203.
- M. A. Auliq and eko B. Prasetyo, "Simpatetik Trip Pmt Cell 20 kV Pada Gardu Induk Lumajang," *Seniati*, pp. 167–174, 2019.
- M. A. Salim, "Studi Sympathetic Pada Penambahan Distributed Generation Penyulang Pujon Transformator III GI Sengkaling," pp. 2–10, 2016.
- N. A. Noor, K. Naim, and M. R. Akhdan, "Analisis Perhitungan Setting Proteksi Transformator 60

- MVA Pada Gardu Induk Bulukumba PT PLN (Persero),” Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform. 2022, pp. 429–434, 2022.
- N. S. Mardiana, R. Y. Cahyani, Y. B. Debyyantana, S. Sujito, and M. Z. Falah, “Electrical Protection Systems in Indonesia : Literature Review of Relay on Indonesian Articles Perspectives,” *Ece Electr. Comput. Exp.*, vol. 2, no. 1, 2024.
- R. Saputra, J. Jn, and D. A. Mardiono, “Analisa Rele Gangguan Tanah untuk Menjaga Keandalan Sistem Tenaga Listrik pada PT. X Menggunakan ETAP 12.6.0,” vol. 5, no. 3, pp. 443–451, 2022.
- S. Hadi, *Power System Analysis*. New Delhi: McGraw-Hill, 1999. doi: 10.1201/9781003394433-4.
- S. Samsurizal and T. G. Nugroho, “Studi Perhitungan Rele Tanah (GFR) Akibat Gangguan Simpatetik Trip Pada Penyulang Tegangan Menengah,” *Sutet*, vol. 10, no. 1, pp. 1–14, 2021, doi: 10.33322/sutet.v10i1.1137.
- T. Gonen, *Modern Power System Analysis*, 2nd Ed. Sacramento, California: CRC Press, 2013.
- T. R. Slamet, “Optimalisasi Relai OCR dan GFR Dalam Meminimalisir Sympathetic Trip Penyulang 20 kV,” *J. electro Univ. UIN Sultan Syarif Kasim Riau*, vol. 12, no. 2, pp. 336–341, 2020.
- W. Sarimun, “Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik,” Edisi 2. Bekasi: Garamond, 2016.
- W. Sarimun, *Buku Saku Pelayanan Teknik*, Edisi 2. Bekasi: Garamond, 2011.