

COORDINATION OF OVER CURRENT RELAY PROTECTION ON TRANSFORMER BAY 2 AT THE 150 kV PANIKI SUBSTATION

Koordinasi Proteksi Over Current Relay Pada Bay Trafo 2 di Gardu Induk 150 kV Paniki

Leonel Chardiski Ginting ¹⁾, Glany Martial C Mangindaan ²⁾, Hans Tumaliang ³⁾

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

e-mails: leoginting023@student.unsrat.ac.id, glanny_m@unsrat.ac.id, hanstumaliang@unsrat.ac.id

Received: [date]; Revised: [date]; Accepted: [date] (Times New Roman 10)

Abstract Overcurrent faults are one of the main causes of instability in power systems, potentially leading to equipment damage and widespread blackouts. Therefore, a fast, reliable, and selective protection system is essential to mitigate such faults. This study aims to analyze the coordination of Over Current Relay (OCR) protection on Bay Transformer 2 at the 150 kV Paniki Substation. The research method involves calculating short-circuit fault currents on both the 150 kV and 20 kV sides, determining the current setting (Iset), Time Multiplier Setting (TMS), and analyzing the relay's operating time characteristics using the standard inverse curve.

The calculation results show that the applied TMS values are 0.91 for the 150 kV side, 0.41 for the 20 kV incoming side, and 0.28 for the 20 kV outgoing side. The analysis of operating time characteristics indicates that as the fault current (I/I_{set}) increases, the relay operates faster in accordance with the inverse time principle. The results demonstrate good coordination between the 150 kV, 20 kV incoming, and 20 kV outgoing relays, where the relay closest to the fault location operates faster. This confirms that the OCR protection system at Bay Transformer 2 of the Paniki Substation meets the principles of selectivity and sensitivity in responding to faults. This study is expected to serve as a reference for optimizing OCR settings to improve the reliability of the power system.

Keywords: Protection Coordination, Over Current Relay, Fault Current, TMS, Paniki Substation.

Gangguan arus lebih merupakan faktor utama yang mengganggu stabilitas sistem tenaga listrik dan berpotensi menyebabkan kerusakan peralatan serta pemadaman listrik yang meluas. Oleh karena itu, diperlukan sistem proteksi dengan kecepatan, keandalan, dan selektivitas tinggi untuk menangani gangguan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis koordinasi proteksi Relai Arus Lebih (OCR) pada Ruang Transformator 2 di Gardu Induk

150 kV Paniki. Metodologi penelitian meliputi perhitungan arus hubung singkat pada sisi 150 kV dan 20 kV, penentuan nilai arus setting (Iset), penentuan Time Multiplier Setting (TMS), dan analisis kurva karakteristik operasi relai menggunakan standar invers.

Hasil perhitungan menunjukkan nilai TMS yang diperoleh sebesar 0,91 pada sisi 150 kV, 0,41 pada sisi 20 kV masuk, dan 0,28 pada sisi 20 kV keluar. Analisis karakteristik operasi menunjukkan bahwa semakin besar rasio arus gangguan terhadap arus pengaturan (I/I_{set}), semakin pendek waktu operasi relai, sesuai dengan prinsip waktu terbalik. Koordinasi proteksi yang dihasilkan menunjukkan bahwa relai yang paling dekat dengan titik gangguan beroperasi lebih cepat daripada relai yang lebih jauh. Hal ini membuktikan bahwa sistem proteksi OCR pada Bay Transformer 2 Gardu Induk Paniki memenuhi prinsip selektivitas dan sensitivitas. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam menentukan pengaturan OCR yang optimal untuk meningkatkan keandalan operasi sistem tenaga listrik.

Kata kunci : Koordinasi Proteksi, Over Current Relay, Arus Gangguan, TMS, GI Paniki.

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan infrastruktur vital yang harus dijaga keandalan dan kontinuitas operasinya. Gangguan pada sistem tenaga, seperti arus lebih (overcurrent) akibat hubung singkat atau gangguan tanah, dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan, penurunan kualitas layanan, dan bahkan pemadaman listrik yang luas bila tidak cepat ditangani. Oleh karena itu, diperlukan sistem proteksi yang handal, cepat, dan selektif agar gangguan dapat ditangani dengan tepat dan tidak menjalar ke area yang lebih luas.

Salah satu perangkat utama dalam sistem proteksi adalah Over Current Relay (OCR). OCR berfungsi mendeteksi terjadinya arus lebih pada sistem tenaga dan memerintahkan pemutusan rangkaian melalui pemutus tenaga (circuit breaker). OCR bekerja berdasarkan prinsip inverse time, artinya semakin besar arus gangguan yang

terdeteksi, semakin cepat relay akan bekerja untuk memutuskan aliran listrik. OCR harus diatur dengan parameter yang tepat agar sistem proteksi dapat bekerja secara selektif, hanya memutus bagian sistem yang terganggu tanpa mengganggu bagian lain yang sehat[1].

Pada jaringan transmisi dan distribusi, termasuk pada Bay Trafo 2 Gardu Induk 150 kV Paniki, OCR memiliki peran penting dalam menjaga keandalan sistem. OCR digunakan baik pada sisi incoming 150 kV maupun outgoing 20 kV. Agar OCR bekerja dengan baik, diperlukan analisis koordinasi proteksi, yaitu studi untuk menentukan nilai arus setting (Iset), Time Multiplier Setting (TMS), dan kurva karakteristik kerja relay (seperti standar inverse, very inverse, atau extremely inverse) yang tepat. Analisis ini dilakukan dengan perhitungan untuk memastikan bahwa relay primer bekerja lebih cepat dibanding relay cadangan, sehingga sistem proteksi dapat merespons gangguan dengan tepat waktu dan mencegah kerusakan yang lebih luas.

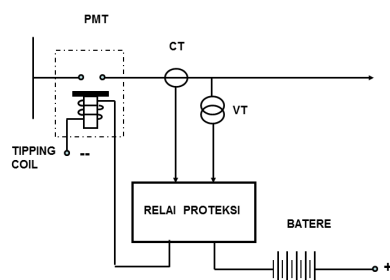
Melalui analisis koordinasi ini, akan diperoleh gambaran mengenai sensitivitas dan selektivitas kerja OCR dalam menghadapi berbagai kondisi gangguan, tanpa perlu dilakukan pengujian langsung di lapangan. Perhitungan dilakukan pada berbagai skenario arus gangguan, misalnya pada 1,5 hingga 5 kali arus setting, agar diperoleh setting relay yang sesuai dengan standar proteksi dan dapat diandalkan dalam menghadapi potensi gangguan pada sistem tenaga listrik. Analisis ini juga menjahdfsahgfsdasi dasar evaluasi apakah proteksi pada Bay Trafo 2 sudah memenuhi persyaratan keandalan yang diharapkan.

Dengan demikian, analisis koordinasi OCR pada Bay Trafo 2 Gardu Induk 150 kV Paniki ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan keandalan sistem proteksi, mendukung operasi sistem tenaga yang aman dan efisien, serta meminimalkan risiko meluasnya dampak gangguan pada sistem tenaga listrik. Dengan latar belakang tersebut, penulis melakukan

II. METODE

A. Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi merupakan perangkat pengaman pada sistem tenaga listrik yang diaplikasikan pada jaringan distribusi, transformator, saluran transmisi, hingga generator. Tujuannya adalah menjaga sistem dari gangguan maupun kondisi kelebihan beban dengan cara memutus atau mengisolasi bagian jaringan yang mengalami masalah. Secara umum, sistem proteksi terdiri atas komponen utama seperti current transformer (CT), voltage transformer (VT), relay proteksi, serta circuit breaker (CB) [2].



Gambar 1 Perangkat Pengaman (PROTEKSI)

B. Over Current Relay (OCR)

Over Current Relay (OCR) atau relay arus lebih merupakan perangkat proteksi yang beroperasi dengan prinsip mendeteksi besar arus yang mengalir dalam sistem tenaga listrik. Prinsip kerjanya yaitu ketika arus yang terukur melebihi nilai setting (pickup current) dalam jangka waktu tertentu, maka relay akan memberikan sinyal trip ke pemutus tenaga (circuit breaker) untuk memutus bagian sistem yang mengalami gangguan[2].

Karakteristik waktunya dapat diatur sesuai kebutuhan koordinasi proteksi, misalnya definite time, inverse time, atau very inverse time, sehingga relay dapat bekerja secara selektif dan terkoordinasi dengan relay lain dalam sistem.

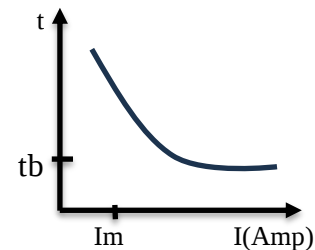
C. PERINSIP KERJA OCR

Prinsip kerja Over Current Relay (OCR) didasarkan pada kemampuan relay dalam mengenali arus yang melampaui batas normal, baik karena terjadinya hubungan singkat maupun kelebihan beban. Saat arus yang terukur melebihi nilai setting, relay akan bekerja sesuai karakteristik waktu yang telah ditentukan. Selanjutnya, OCR mengirimkan sinyal trip ke pemutus tenaga (PMT) sehingga bagian sistem yang terganggu dapat diputus, dan peralatan terhindar dari potensi kerusakan akibat arus berlebih.

D. Klasifikasi Relay Menurut Karakteristik Waktu Responnya

1. Over Current Relay (OCR) Inverse

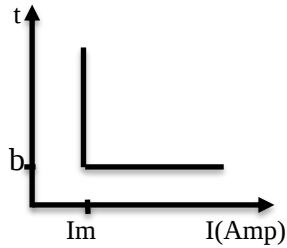
Over Current Relay (OCR) merupakan relay yang memiliki waktu kerja dipengaruhi oleh besar arus gangguan. Ketika arus gangguan melewati nilai setting yang telah ditentukan, relay ini akan mengirimkan sinyal trip ke Pemutus Tenaga (PMT). Interval waktu sejak relay mulai pickup hingga benar-benar bekerja memiliki sifat berbanding terbalik terhadap besarnya arus yang terukur [3].



Gambar 3 Karakteristik Waktu Inverse

2. Over Current Relay (OCR) Definite

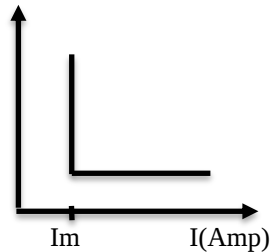
Adalah Over Current Relay (OCR) dengan karakteristik definite time adalah relay yang periode kerjanya tetap, meskipun besarnya arus gangguan berubah-ubah. Saat arus gangguan melebihi arus setelan, relay segera memerintahkan PMT untuk memutus sistem sesuai waktu tunda yang sudah diatur. Dengan demikian, waktu antara pickup hingga trip tidak dipengaruhi oleh tingkat arus gangguan. [3].



Gambar 4 Karakteristik Waktu Definite

3. Over Current Relay (OCR) Instantaneous

Over Current Relay (OCR) tipe *instantaneous* adalah relai yang beroperasi tanpa penundaan waktu. Ketika arus gangguan melebihi nilai penyetelan, relai langsung mengirimkan sinyal trip ke Pemutus Tenaga (PMT). Waktu operasi dari pickup hingga trip berlangsung sangat singkat, biasanya hanya sekitar 20–60 milidetik. [3].



Gambar 5 Karakteristik Waktu Instantaneous

E. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah kondisi terjadinya kontak konduktif, baik secara disengaja maupun tidak, antara penghantar bertegangan maupun yang tidak bertegangan melalui suatu media dengan impedansi tertentu. Hal ini menyebabkan munculnya aliran arus abnormal pada sistem tenaga listrik.

Arus gangguan yang timbul dari masing-masing jenis hubung singkat tersebut dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana :

I = Arus yang mengalir pada hambatan Z (A)

V = Tegangan (V)

Z = Impedansi jaringan (Ω)

Menghitung daya arus hubung singkat

Dimana :

$$MVA_{hs} = \sqrt{3} \times I_{hs} \times V$$

MVA_{hs} = Daya hubung singkat (MVA)

V = Tegangan (V)

I_{hs} = Arus hubung singkat (A)

F. Satuan Per Unit (p.u)

Dalam studi sistem tenaga listrik, insinyur biasanya menyatakan besaran tegangan, arus, dan daya dalam satuan persen atau per-unit (pu). Konsep per-unit sendiri merupakan rasio antara nilai aktual suatu besaran terhadap nilai dasarnya (base value). Metode

ini dipakai karena dapat menyederhanakan perhitungan, terutama pada sistem tenaga yang memiliki lebih dari dua level tegangan yang saling berhubungan[5].

Untuk sistem tiga fasa, hubungan matematis berikut dapat digunakan :

1. Base Quantities

a. Base MVA (MVA_b)

b. Base kV (kV_b)

c. Base Current (I_b)

$$I_b = \frac{MVA_{base}}{\sqrt{3} \times kV_{base}}$$

d. Base Impedansi (Z_b)

$$Z_b = \frac{(kV_{base})^2}{MVA_{base}}$$

Dimana:

MVA_b = Daya yang dijadikan acuan (MVA)

kV_b = Tegangan yang dijadikan acuan (kV)

I_b = Arus yang menjadikan acuan (A)

Z_b = Impedansi yang menjadikan acuan (Ω)

2. Satuan per unit

a. Per Unit MVA

$$MVA_{pu} = \frac{MVA_{aktual}}{MVA_{base}}$$

b. Per Unit Tegangan

$$kV_{pu} = \frac{kV_{aktual}}{kV_{dasar}}$$

c. Per Unit Arus

$$I_{pu} = \frac{I_{aktual}}{I_{dasar}}$$

d. Per Unit Impedansi

$$I_{pu} = \frac{I_{aktual}}{I_{dasar}}$$

Dimana :

MVA_b = Daya yang dijadikan acuan (pu)

kV_b = Tegangan yang dijadikan acuan (pu)

I_b = Arus yang menjadi acuan (pu)

Z_b = Impedansi yang menjadi acuan (pu)

Karena dalam suatu analisis sistem tenaga listrik besaran daya dasar (base power) harus konsisten, maka diperlukan konversi dari besaran dasar yang lama ke besaran dasar yang baru. Perubahan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Z_{baru} = \left(\frac{kV_{lama}}{kV_{baru}} \right) \times \left(\frac{MVA_{baru}}{MVA_{lama}} \right) \times Z_{lama}$$

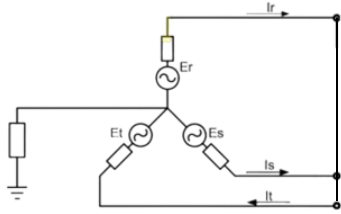
G. Menghitung Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat ditentukan menggunakan rumus arus gangguan dasar. Nilai impedansi ekuivalen yang digunakan dalam persamaan ini bergantung pada jenis gangguan yang terjadi, apakah gangguan tersebut merupakan gangguan tiga fasa, dua fasa, atau satu fasa ke tanah. [6].

1. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Rangkaian gangguan tiga fasa pada sistem tenaga

listrik dengan transformator berhubungan Y-Y, di mana titik netralnya dihubungkan ke tanah melalui sebuah tahanan, dapat digambarkan seperti ilustrasi pada gambar berikut. [7].



Gambar 6 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Arus hubung singkat dua fasa dihitung menggunakan rumus tertentu yang disesuaikan dengan kondisi sistem saat terjadi gangguan

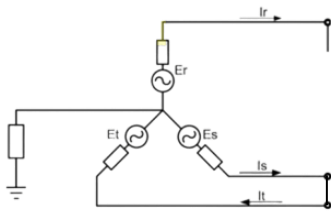
$$IF_{3fasa} = \frac{E}{Z_{1eq}}$$

Dimana :

IF_{3fasa} = Arus hubung singkat tiga fasa (A)
 E = Tegangan sumber atau dari generator (V)
 Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif (Ω)

2. Perhitungan Arus Hubung Singkat 2 Fasa

Gangguan hubung singkat dua fasa pada saluran tenaga listrik dengan konfigurasi transformator Y-Y, di mana titik netralnya dihubungkan ke tanah melalui tahanan netral (RNGR), dapat digambarkan sebagaimana terlihat pada ilustrasi berikut.



Gambar 7 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Arus gangguan hubung singkat dua fasa dapat dihitung menggunakan rumus.

$$IF_{2fasa} = \frac{\sqrt{3} \cdot E}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$$

Karena $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ Maka :

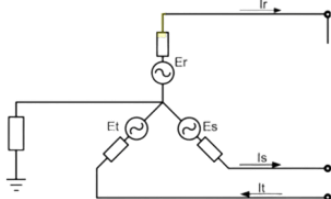
$$IF_{2fasa} = \frac{\sqrt{3} \cdot E}{2 \times Z_{1eq}}$$

Dimana

IF_{2fasa} = Arus gangguan hubung singkat 2 fasa (A)
 E = Tegangan dari generator (V)
 Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (Ω)

3. Perhitungan Arus Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada saluran tenaga dengan konfigurasi transformator Y-Y, di mana titik netralnya ditanahkan melalui tahanan netral (RNGR), dapat ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 8 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke

Tanah

Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dihitung menggunakan rumus.

$$IF_{1fasa} = \frac{3 \times E}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}}$$

Dimana :

IF_{1fasa} = Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah (A)
 E = Tegangan dari generator (V)
 Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (Ω)

H. Setting Arus Kerja Minimum OCR 150 kV

OCR pada sisi 150 kV berfungsi sebagai proteksi cadangan transformator daya terhadap gangguan hubung singkat antar fasa pada sisi primer 150 kV. Penentuan arus setting relay, baik di sisi primer maupun sekunder transformator, ditetapkan dengan mempertimbangkan kapasitas atau kemampuan nominal trafo:

Arus setting ditentukan sesuai dengan kapasitas nominal transformator.

$$I_{s1} = 1.2 \times I_n$$

Dalam besaran sekunder

$$I_{set} = \frac{I_{s1}}{CT_{150 \text{ kV}}}$$

Nilai tap ditentukan berdasarkan rentang yang tersedia pada relay

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{sekunder}}$$

Dimana :

I_{s1} = Setting arus kerja dalam primer (A)
 I_n = Arus kemampuan trafo tenaga (A)
 I_{set} = Setting arus kerja dalam sekunder (A)

1. Setting Waktu

Pengaturan waktu kerja rele dilakukan dengan mempertimbangkan faktor kecepatan serta selektivitas operasi, agar rele tidak mengalami salah kerja yang dapat mengakibatkan fungsi pengaman menjadi tidak efektif.

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{hs}}{I_{s1}}\right)^{0.02} - 1}{0.14} t$$

Dimana :

I_{hs} = Arus hubung singkat maksimum dua fasa pada busbar TT (A)
 I_{s1} = Nilai setting arus kerja pada sisi primer (A)
 t = Waktu kerja relay yang diinginkan

TMS = Waktu tunda relay OCR (s)

I. Setting Arus Kerja Minimum OCR (Incoming 20 kV)

OCR pada sisi incoming berfungsi sebagai proteksi cadangan bagi transformator tenaga terhadap gangguan hubung singkat antar fasa yang terjadi di sisi 20 kV.

Penyetelan arus operasi ditentukan sesuai dengan kapasitas trafo.

$$I_{s1} = 1.2 \times I_n$$

Dalam besaran sekunnder

$$I_{set} = \frac{I_{s1}}{I_n \text{ relay}}$$

Nilai tap ditentukan berdasarkan rentang yang tersedia pada relay

$$Tap = \frac{I_{set}}{I_n \text{ relay}}$$

Dimana :

I_{s1} = Setting arus kerja dalam primer (A)

I_n = Arus kemampuan trafo tenaga (A)
 I_{set} = Setting arus kerja dalam sekunder (A)
 $I_{n \text{ relay}}$ = Arus kemampuan yang di pakai di relay
 OCR (A)

1. Waktu Karakteristik Kerja

Agar koordinasi dengan rele penyulang di Gardu Induk (GI) maupun Gardu Hubung (GH) dapat lebih fleksibel, digunakan karakteristik waktu kerja dengan tipe Normal/Standar Inverse. Dengan karakteristik tersebut, nilai time dial dapat disesuaikan berdasarkan kurva karakteristik yang dipilih.

Untuk jenis standar inverse (SI)

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{hs}}{I_{s1}}\right)^{0.02} - 1}{0.14} t$$

Dimana :

I_{hs} = Hubung singkat 2-fasa di busbar TM (A)

I_{s1} = Arus setting kerja dalam arus primer (A)

t = Waktu operasi yang ditetapkan (s)

TMS = Waktu tunda relay OCR (s)

III. DATA DAN PERHITUNGAN

A. Data Penelitian

TABEL I

Data Trafo GI 60 MVA PANIKI	
Merk	SCHNEIDER ELECTIC
Kapasitas Daya	60 MVA
Arus Nominal Sisi Primer	256.60 A
Arus Nominal Sisi Sekunder	1574.559 A
Impedansi	11,66 %
Rasio CT	300/1
Frekuensi	50 Hz
Vector Group	YNyn0d

TABEL II

Data OCR Sisi 150 kV	
Merk	SEIMENS
Tipe	SIPROTECT 7SJB6
No Seri	BM18040077B2
Karakteristik	Standart Inverse
I Nominal	1 Ampere
TMS	0,56 s
I Setting	1,03 A
Rasio CT	300/1

TABEL III

Data OCR Sisi Incoming 20 kV	
Merk	SEIMENS
Tipe	SIPROTECT 7SJB6

No Seri	BM10BDDDD126
Karakteristik	Standart Inverse
I Nominal	1 Ampere
TMS	0,23 s
I Setting	0,888 A
Rasio CT	2000/1

TABEL IV

Data OCR Sisi Penyulang 20 kV	
Merk	GE
Tipe	P14DB
No Seri	36798064/07/04
Karakteristik	Standart Inverse
I Nominal	1 Ampere
TMS	0,23 s
I Setting	1,2 A
Rasio CT	300/1

TABEL V

Data Impedansi Sumber GI Paniki	
Z_s Urutan Positif (pu)	0.011000 + j0.071000
Z_s Urutan Negatif (pu)	0.008000 + j0.071000
Z_s Urutan Nol (pu)	0.5000+ j016000

TABEL VI

Data per km (ohm)		
Kabel NA2XSE	R	jX
Z1/Km(240 mm ²)	0,1344	J0, 3158 Ω/Km
Z2/Km (240 mm ²)	0,1344	J0, 3158 Ω/Km
Z0/Km (240 mm ²)	0,2824	J1, 6034 Ω/Km

B. Perhitungan Arus Nominal Trafo

- a. Kemampuan Arus sisi primer (I_n 135 kV)

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{3} \times V_p \times I_p \\
 I_{n135 \text{ kV}} &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p} \\
 &= \frac{60.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 135 \text{ kV}} = 256,6 \text{ A}
 \end{aligned}$$

- b. Kemampuan Arus sisi sekunder (I_n 22 kV)

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{3} \times V_s \times I_s \\
 I_{n22 \text{ kV}} &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p} \\
 &= \frac{60.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 22 \text{ kV}} = 1574,6 \text{ A}
 \end{aligned}$$

C. Perhitungan Satuan Per Unit

1. Tegangan dari Generator

$$E = 1 \text{ pu}$$

2. Tegangan dasar

$$\text{kV base } 135 \text{ kV} = 135 \text{ kV}$$

$$\text{kV base } 22 \text{ kV} = 22 \text{ kV}$$

3. Daya dasar

$$\text{MVA}_{\text{base}} = 100 \text{ MVA}$$

4. Nilai Arus dasar

$$I_{\text{base } 135 \text{ kV}} = \frac{\text{kVa}_{\text{base}}}{\sqrt{3} \times \text{kV}_{\text{base}}} = \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 135} = 427,7 \text{ } \Omega$$

$$I_{\text{base } 22 \text{ kV}} = \frac{\text{kVa}_{\text{base}}}{\sqrt{3} \times \text{kV}_{\text{base}}} = \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 22} = 2624,7 \text{ } \Omega$$

5. Transformator

$$X_t = 11,66 \% = 0,11$$

$$X_{t1} = X_t \cdot \frac{\text{MVA}_{\text{baru}}}{\text{MVA}_{\text{dasar}}} = 0,11 \cdot \frac{100}{60} = 0,18 \text{ pu}$$

6. Impedansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$)

$$X_{t1} = X_{t2} = 0,18 \quad (j0,18)$$

7. Impedansi urutan nol (X_{t0})

$$\begin{aligned} X_{t0} &= 3 \times X_{t1} \\ &= 3 \times 0,18 \\ &= 0,54 \quad (j0,54) \end{aligned}$$

D. Impedansi Sumber 150 kV

1. Impedansi sumber 135 kV urutan Positif

$$Z_{s1} \text{ 150 kV} = 0,011000 + j0,071000 \text{ pu}$$

2. Impedansi sumber 135 kV urutan Negatif

$$Z_{s2} \text{ 150 kV} = 0,008000 + j0,071000 \text{ pu}$$

3. Impedansi sumber 135 kV urutan Nol

$$Z_{s0} \text{ 150 kV} = 0,005000 + j0,016000 \text{ pu}$$

Untuk mengetahui nilai Impedansi di Busbar sisi 22 kV yaitu:

1. Impedansi Sumber 22 kV Urutan Positif

$$\begin{aligned} Z_{s1} \text{ 22 kV} &= \left(\frac{22 \text{ kV}}{135 \text{ kV}} \right)^2 \cdot Z_{s1} \text{ 150 kV} \\ &= 0,02657 \cdot (0,011000 + j0,071000) \\ &= 0,000292 + j0,001886 \text{ pu} \end{aligned}$$

2. Impedansi Sumber 22 kV Urutan Negatif

$$\begin{aligned} Z_{s1} \text{ 22 kV} &= \left(\frac{22 \text{ kV}}{115 \text{ kV}} \right)^2 \cdot Z_{s1} \text{ 150 kV} \\ &= 0,02657 \cdot (0,008000 + j0,071000 \text{ pu}) \\ &= 0,000293 + j0,00260 \text{ pu} \end{aligned}$$

3. Impedansi Sumber 22 kV Urutan Nol

$$\begin{aligned} Z_{s1} \text{ 22 kV} &= \left(\frac{22 \text{ kV}}{135 \text{ kV}} \right)^2 \cdot Z_{s1} \text{ 150 kV} \\ &= 0,02657 \cdot (0,005000 + j0,016000) \\ &= 0,000089 + j0,000284 \text{ pu} \end{aligned}$$

E. Impedansi Total 150 kV

1. Impedansi total 135 kV urutan positif

$$\begin{aligned} Z_{1eq} \text{ 135} &= Z_{s1} \text{ 135} + X_{t1} \\ &= (0,011000 + j0,071000) + (j0,1943) \\ &= 0,01100 + j0,2653 \text{ pu} \\ &= 0,2656 \angle 87,63^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

2. Impedansi total 135 kV urutan Negatif

$$\begin{aligned} Z_{2eq} \text{ 135} &= Z_{s2} \text{ 135} + X_{t2} \\ &= (0,008000 + j0,071000) + (j0,1943) \\ &= 0,00800 + j0,2653 \text{ pu} \\ &= 0,2655 \angle 88,27^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

3. Impedansi total 135 kV urutan nol

$$\begin{aligned} Z_{0eq} \text{ 135} &= Z_{s0} \text{ 135} + X_{t0} \\ &= (0,005000 + 0,016000) + (j0,5829) \\ &= 0,021000 + j0,5829 \text{ pu} \\ &= 0,5831 \angle 87,94^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

4. Impedansi Total 22 kV urutan Positif

$$\begin{aligned} Z_{1eq} \text{ 22} &= Z_{s1} \text{ 22} + X_{t1} \\ &= (0,000292 + j0,001886) + (j0,1943) \\ &= 0,000292 + j0,196186 \\ &= 0,1962 \angle 89,91^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

5. Impedansi Total 22 kV urutan Negatif

$$\begin{aligned} Z_{2eq} \text{ 22} &= Z_{s2} \text{ 22} + X_{t2} \\ &= (0,000293 + j0,00260) + (j0,1943) \\ &= 0,000292 + j0,196186 \\ &= 0,1962 \angle 89,91^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

6. Impedansi Total 22 kV urutan Nol

$$\begin{aligned} Z_{0eq} \text{ 22} &= Z_{s0} \text{ 22} + X_{t0} \\ &= (0,000089 + j0,000284) + (j0,5829) \\ &= 0,00089 + j0,583184 \\ &= 0,5832 \angle 89,99^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

F. Arus Hubung Singkat 150 kV

1. Arus hubung singkat 3 fasa

$$\begin{aligned} I_{hs \text{ 3 fasa}} &= \frac{E}{Z_{1eq} \text{ 135}} \\ &= \frac{1}{0,2656 \angle 87,63^\circ} = 3,766 \angle -87,63^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

Nilai sebenarnya dari $I_{hs \text{ 3 fasa}}$ di sisi 135 kV

$$\begin{aligned} I_{hs \text{ 3 fasa}} &= I_{pu} \times I_{\text{base } 135 \text{ kV}} \\ &= 3,766 \times 427,7 \\ &= 1610,71 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Arus hubung singkat 2 fasa

$$\begin{aligned} I_{hs \text{ 2 fasa}} &= \frac{\sqrt{3} \times E}{Z_{1eq} \text{ 135} + Z_{2eq} \text{ 135}} \\ &= \frac{1}{\frac{(0,01100 + j0,2653) + (0,00800 + j0,2653)}{\sqrt{3}}} \\ &= \frac{1}{\frac{0,01900 + j0,5306}{\sqrt{3}}} \\ &= \frac{\sqrt{3}}{0,5309 \angle 88,61^\circ} = 3,263 \angle -87,95^\circ \end{aligned}$$

Nilai sebenarnya dari $I_{hs \text{ 2 fasa}}$ di sisi 135 kV

$$\begin{aligned} I_{hs \text{ 2 fasa}} &= I_{pu} \times I_{\text{base } 135 \text{ kV}} \\ &= 3,263 \times 427,7 \\ &= 1395,58 \text{ A} \end{aligned}$$

3. Arus hubung singkat 1 fasa

$$\begin{aligned} I_{hs \text{ 1 fasa}} &= \frac{3 \times E}{Z_{1eq} \text{ 135} + Z_{2eq} \text{ 135} + Z_{0eq} \text{ 135}} \\ &= \frac{3 \times 1}{\frac{(0,01100 + j0,2653) + (0,00800 + j0,2653) + (0,02100 + j0,5829)}{3}} \\ &= \frac{0,4000 + j1,1135}{1,1142 \angle 87,94^\circ} = 2,692 \angle -87,94^\circ \end{aligned}$$

Nilai sebenarnya dari $I_{hs \text{ 1 fasa}}$ di sisi 135 k

$$\begin{aligned} I_{hs \text{ 1 fasa}} &= I_{pu} \times I_{\text{base } 135 \text{ kV}} \\ &= 2,692 \times 427,7 \\ &= 1151,36 \text{ A} \end{aligned}$$

TABEL VII

Arus hubung singkat 135 kV	
Arus hubung singkat 3 fasa	1610,71 A

Arus hubung singkat 2 fasa	1395,58 A
Arus hubung singkat 1 fasa	1151,36 A

Tabel di atas menunjukkan besarnya arus hubung singkat pada jaringan 125 kV. Gangguan paling besar terjadi saat ketiga fasa mengalami hubungan singkat, yaitu sebesar 1610,71 A.

G. Arus Hubung Singkat Sisi 20 kV

1. Arus hubung singkat 3 fasa

$$I_{hs \text{ 3 fasa}} = \frac{E}{Z_{1eq \text{ 22}}} = \frac{1}{0,1962 \angle 89,91^\circ} = 5,111 \angle -89,94^\circ$$

Nilai sebenarnya dari $I_{hs \text{ 3 fasa}}$ di sisi 22 kV

$$I_{hs \text{ 3 fasa}} = I_{pu} \times I_{base \text{ 22 kV}} = 5,111 \times 2624,7 = 13414,84 \text{ A}$$

2. Arus hubung singkat 2 fasa

$$I_{hs \text{ 2 fasa}} = \frac{\sqrt{3} \times E}{Z_{1eq \text{ 22}} + Z_{2eq \text{ 22}}} = \frac{\sqrt{3} \times 1}{(0,000292 + j0,196186) + (0,000292 + j0,196186)} = \frac{\sqrt{3}}{0,000584 + j0,392372} = \frac{\sqrt{3}}{0,392372 \angle 89,91^\circ} = 4,414 \angle -89,95^\circ$$

Nilai sebenarnya dari $I_{hs \text{ 2 fasa}}$ di sisi 22 kV

$$I_{hs \text{ 2 fasa}} = I_{pu} \times I_{base \text{ 22 kV}} = 4,414 \times 2624,7 = 11585,42 \text{ A}$$

3. Arus Hubung Singkat 1 Fasa

$$I_{hs \text{ 1 fasa}} = \frac{3 \times E}{Z_{1eq \text{ 22}} + Z_{2eq \text{ 22}} + Z_{0eq \text{ 22}}} = \frac{3 \times 1}{(0,000292 + j0,196186) + (0,000292 + j0,196186) + (0,00089 + j0,583184)} = \frac{3}{0,001474 + j0,975556} = \frac{3}{0,975556 \angle 89,91^\circ} = 3,075 \angle -89,91^\circ$$

Nilai sebenarnya dari $I_{hs \text{ 1 fasa}}$ di sisi 22 kV

$$I_{hs \text{ 1 fasa}} = I_{pu} \times I_{base \text{ 20 kV}} = 3,075 \times 2624,7 = 8070,95 \text{ A}$$

TABEL VIII

Arus hubung singkat 20 kV	
Arus hubung singkat 3 fasa	13414,84 A
Arus hubung singkat 2 fasa	11585,42 A
Arus hubung singkat 1 fasa	8070,95 A

Tabel di atas menunjukkan nilai arus hubung singkat pada sistem 22 kV untuk tiga kondisi gangguan berbeda. Arus hubung singkat tertinggi terjadi pada gangguan 3 fasa sebesar 13414,84 A, diikuti gangguan 2 fasa sebesar 11585,42 A, dan yang paling kecil pada gangguan 1 fasa sebesar 8070,95 A.

H. Setting Relay OCR 150 kV

Data Parameter

- $I_{n \text{ 135kV}} = 256,6 \text{ A}$
- $I_{hs \text{ 135 kV}} = 1610,71 \text{ A}$
- $CT \text{ 135 kV} = 300/1 \text{ A}$
- $t = 1,5 \text{ s}$
- $I_{n \text{ relay}} = 1 \text{ A}$

1. Setting Arus Kerja

Setting arus kerja dapat dihitung menggunakan persamaan

$$I_{set} = 1.2 \times I_{n \text{ 135 kV}} \quad Tap = \frac{I_{set}}{I_{n \text{ relay}}} = \frac{1,02}{1} = 1,02 \text{ A}$$

$$= 1.2 \times 256,6 \text{ A}$$

$$= 307,92 \text{ A (sisi primer)}$$

$$I_{set} = \frac{I_{s1}}{CT \text{ 135 kV}} = \frac{307,92}{300/1} = 1,02 \text{ A (sisi sekunder)}$$

2. TMS

Kurva yang digunakan adalah Standart Invers (SI) dengan waktu yang digunakan adalah 1,5 s.

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{hs \text{ 3fs 150kV}}}{I_{s1}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} t$$

$$= \frac{\left(\frac{1610,71}{307,92} \right)^{0,02} - 1}{0,14} 1,5$$

$$= 0,91 \text{ s}$$

I. Setting Relay OCR 20 kV Incoming

Data Parameter

- $I_{n \text{ 22kV}} = 1574,6 \text{ A}$
- $I_{hs \text{ 22 kV}} = 13414,84 \text{ A}$
- $CT \text{ 22 kV} = 2000/1 \text{ A}$
- $t = 1 \text{ s}$
- $I_{n \text{ relay}} = 1 \text{ A}$

1. Setting Arus Kerja

Setting arus kerja dapat di hitung menggunakan

$$I_{set} = 1.2 \times I_{n \text{ 22 kV}} \quad Tap = \frac{I_{set}}{I_{n \text{ relay}}} = \frac{0,95}{1} = 0,95 \text{ A}$$

$$= 1.2 \times 1574,6 \text{ A}$$

$$= 1889,52 \text{ A (sisi primer)}$$

$$I_{set} = \frac{I_{s2}}{CT \text{ 20 kV}} = \frac{1889,52}{2000/1} = 0,95 \text{ A (sisi sekunder)}$$

2. TMS

Kurva yang digunakan adalah Standart Invers (SI) dengan waktu yang digunakan adalah 1 s.

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{hs \text{ 3fs 22kV}}}{I_{s2}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} t$$

$$= \frac{\left(\frac{13414,84}{1889,52} \right)^{0,02} - 1}{0,14} 1,$$

$$= 0,41 \text{ s}$$

J. Setting Relay OCR Outgoing/Penyulang

Data Parameter

- $I_{n \text{ penyulang}} = 300 \text{ A}$
- $I_{hs2 \text{ fasa } 22 \text{ kV}} = 11585,42 \text{ A}$
- $CT \text{ } 20 \text{ kV} = 300/1 \text{ A}$
- $t = 0,5 \text{ s}$
- $I_{n \text{ relay}} = 1 \text{ A}$

1. Setting Arus Kerja

Setting arus kerja dapat di hitung menggunakan persamaan

$$I_{set3} = 1,2 \times I_{n \text{ } 20 \text{ kV}} \quad \text{Tap} = \frac{I_{set3}}{I_{n \text{ relay}}} = \frac{1,2}{1} = 1,2$$

$$= 1,2 \times 300 \text{ A}$$

$$= 360 \text{ A (sisi primer)}$$

$$I_{set3} = \frac{I_{s2}}{CT \text{ } 20 \text{ kV}}$$

$$= \frac{360}{300/1}$$

$$= 1,2 \text{ A (Sisi Sekunder)}$$

2. TMS

Kurva yang digunakan adalah Standart Invers (SI) dengan waktu yang digunakan adalah 0,5s

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{hs \text{ } 2fs \text{ } 22kV}}{I_{s3}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} t$$

$$= \frac{\left(\frac{11585,42}{360} \right)^{0,02} - 1}{0,14} 0,5$$

$$= 0,28 \text{ s}$$

K. Karakteristik Waktu Kerja Relay OCR 150 kV

a. $1,5 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{1,53}{1,02} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,91 = 1,5 \text{ A} = 9,97 \text{ s}$$

b. $2 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{2,04}{1,02} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,91 = 2 \text{ A} = 5,82 \text{ s}$$

c. $3 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{3,06}{1,02} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,91 = 3 \text{ A} = 3,66 \text{ s}$$

d. $4 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{4,08}{1,02} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,91 = 4 \text{ A} = 2,89 \text{ s}$$

e. $5 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{5,1}{1,02} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,91 = 5 \text{ A} = 2,48 \text{ s}$$

L. Karakteristik Waktu Kerja Relay OCR Incoming 20 kV

a. $1,5 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{1,45}{0,95} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,41 = 1,43 \text{ A} = 5,52 \text{ s}$$

b. $2 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{1,9}{0,95} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,41 = 1,90 \text{ A} = 4,1 \text{ s}$$

c. $3 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{2,85}{0,95} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,41 = 2,85 \text{ A} = 3,3 \text{ s}$$

d. $4 \times I$ Setting

Leonel Chardiski Ginting- Koordinasi Proteksi Over Current Relay Pada Bay Trafo 2 di Gardu Induk 150 kV Paniki

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{3,8}{0,95} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,41 = 3,80 \text{ A} = 2,83 \text{ s}$$

e. $5 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{4,75}{0,95} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,41 = 4,75 \text{ A} = 2,54 \text{ s}$$

M. Karakteristik Waktu Kerja Relay OCR Penyulang 20 kV

a. $1,5 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{1,8}{1,2} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,28 = 1,8 \text{ A} = 4,72 \text{ s}$$

b. $2 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{2,4}{1,2} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,28 = 2,4 \text{ A} = 2,63 \text{ s}$$

c. $3 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{3,6}{1,2} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,28 = 3,6 \text{ A} = 1,70 \text{ s}$$

d. $4 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{4,8}{1,2} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,28 = 4,8 \text{ A} = 1,33 \text{ s}$$

e. $5 \times I$ Setting

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{6}{1,2} \right)^{0,02} - 1} \cdot 0,28 = 6,0 \text{ A} = 1,12 \text{ s}$$

Tabel 4.5, 4.6, dan 4.7 menunjukkan data karakteristik waktu kerja dari masing-masing relay OCR berdasarkan variasi arus gangguan terhadap arus setting (Iset) pada sisi 135 kV Incoming, 22 kV Incoming, dan 22 kV Outgoing

TABEL IX

Setting 1 Sisi 135 kV	Arus(A)	I/Iset	Wakktu (s)
TMS = 0,91s	1,5	1,5 x	9,97
Iset = 1,02 A	2	2,0 x	5,82
	3	3,0 x	3,66
	4	4,0 x	2,89
	5	5,0 x	2,48

TABEL X

Setting 1 Sisi	Arus(A)	I/Iset	Wakktu (s)
Invoming 22 kV	1,43	1,5 x	5,52
TMS = 0,91s	1,90	2,0 x	4,1
Iset = 1,02 A	2,85	3,0 x	3,3
	3,80	4,0 x	2,83
	4,75	5,0 x	2,54

TABEL XI

Setting 1 Sisi 135 kV	Arus(A)	I/Iset	Wakktu (s)
TMS = 0,91s	1,80	1,5 x	4,72
Iset = 1,02 A	2,40	2,0 x	2,63
	3,60	3,0 x	1,70
	4,80	4,0 x	1,33
	6,00	5,0 x	2,12

Pada sisi 135 kV, relay memiliki waktu kerja paling

lama karena nilai TMS yang lebih besar, yaitu 0,91. Pada arus $1,5 \times$ Iset, waktu kerja relay mencapai 9,97 detik, dan menurun menjadi 2,48 detik saat arus mencapai $5 \times$ Iset.

Pada sisi 22 kV Incoming, dengan TMS 0,41, waktu kerja relay lebih cepat dibanding sisi 135 kV. Misalnya, pada $2 \times$ Iset (1,90 A) waktu kerja adalah 4,1 detik, dan turun menjadi 2,4 detik pada $5 \times$ Iset (4,75 A)

Sementara itu, relay pada sisi 22 kV Outgoing memiliki TMS paling kecil (0,28), sehingga waktu kerja paling cepat dan berfungsi sebagai proteksi utama. Waktu kerja berada di kisaran 4,47 detik untuk arus $1,5 \times$ Iset (1,8 A) dan 1,12 detik pada arus $5 \times$ Iset (6,0 A).

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis koordinasi proteksi Over Current Relay (OCR) pada Bay Trafo 2 di Gardu Induk 150 kV Paniki, dapat disimpulkan bahwa waktu kerja relay menunjukkan karakteristik yang menurun seiring dengan meningkatnya kelipatan arus gangguan terhadap Iset. Hal ini sesuai dengan prinsip kerja relay tipe Inverse Definite Minimum Time (IDMT), di mana semakin besar gangguan arus, maka relay akan bekerja lebih cepat. Nilai Time Multiplier Setting (TMS) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,91 untuk sisi 135 kV, 0,41 untuk sisi 22 kV Incoming, dan 0,28 untuk sisi 22 kV Outgoing. Penetapan TMS yang lebih kecil di sisi tegangan rendah menunjukkan bahwa relay pada sisi tersebut dirancang untuk bekerja lebih cepat daripada sisi tegangan tinggi.

Hasil perhitungan waktu kerja relay pada berbagai kelipatan arus ($1,5 \times$ hingga $5 \times$ Iset) menunjukkan bahwa relay pada sisi 22 kV Outgoing selalu memiliki waktu kerja tercepat, diikuti oleh 22 kV Incoming, dan terakhir 135 kV. Misalnya, pada kelipatan arus $5 \times$ Iset, waktu kerja relay 135 kV adalah 2,48 detik, 22 kV Incoming sebesar 2,40 detik, dan 22 kV Outgoing sebesar 1,96 detik. Perbedaan waktu ini menunjukkan bahwa koordinasi proteksi antar relay berjalan dengan baik dan selektif, di mana relay yang paling dekat dengan lokasi gangguan bekerja lebih cepat untuk mengisolasi gangguan tersebut tanpa memengaruhi sistem lainnya.

B. Saran

Dalam upaya meningkatkan keandalan sistem proteksi, disarankan agar pengaturan arus pick up dan TMS relay dievaluasi secara berkala sesuai dengan kondisi aktual beban dan sistem. Pengujian karakteristik relay perlu dilakukan dengan lebih menyeluruh, termasuk memperhatikan kondisi sistem saat terjadi gangguan satu fasa atau dua fasa, serta mempertimbangkan kemungkinan gangguan pada sisi tegangan menengah dan rendah.

IV. REFRENSI

- [1] Thaha, S., Indrawan, A. W., & Pongkiding, Y. J. (2022). Analisis Sistem Koordinasi Proteksi Over Current Relay (Ocr) Dan Ground Fault Relay (Gfr) Tegangan 20 Kv Bay Trafo Pada Gardu Induk Sanga-Sanga Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Elektro*, 19(2), 116-122.
- [2] WIDJAYA, A. A. (2025). ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI RELAI ARUS LEBIH PADA BAY TRAF0 1 GARDU INDUK 150 Kv JATIBARANG
- [3] Thaha, S., Indrawan, A. W., & Pongkiding, Y. J. (2022). Analisis Sistem Koordinasi Proteksi Over Current Relay (Ocr) Dan Ground Fault Relay (Gfr) Tegangan 20 Kv Bay Trafo Pada Gardu Induk Sanga-Sanga Kalimantan Timur. *J. Teknol. Elektro*, 19(2), 116-122.
- [4] Syarifuddin, F. P. P., Gaffar, A., & Sultan, A. R. (2023). Analisis Kinerja Proteksi Over Current Relay (Ocr) Pada Sisi 150/20 Kv Transformator 30 Mva Gardu Induk Senggang. *Journal of Applied Electrical and Energy System*, 1(1).
- [5] Muhammad, H. K., Basuki, B. M., & Muta'ali, A. (2025). ANALISA KOORDINASI SETTING OVER CURRENT RELAY (OCR) DAN GROUND FAULT RELAY (GFR) PADA BAY BUSTIE KTT PT DAESANG DI GI MIWON. *SCIENCE ELECTRO*, 18(1).
- [6] Novfowan, A. D., Mieftah, M., & Sungkowo, H. (2023). Analisis Koordinasi Relai Proteksi Transformator I 150/20kV GI Bumicokro Akibat Uprating Daya 50MVA Menjadi 60MVA. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 10(2), 112-117.
- [7] MUHARRIK, M. I. D. (2023). ANALISIS SISTEM PROTEKSI OVER CURRENT RELAY (OCR) TRANSFORMATOR 60 MVA GARDU INDUK LEMBUR SITU PT. PLN (ULTG SUKABUMI) MENGGUNAKAN ETAP 16.00 (Doctoral dissertation, Nusa Putra University).
- [8] Prabowo, W. H., & Umar, S. T. (2018). *Analisa Koordinasi Proteksi Over Current Relay Pada Gardu Induk Wonogiri 150 KV* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- [9] Safitri, I., Gunawan, G., & Nugroho, A. A. (2020). Analisa Koordinasi Setting Proteksi Over Current Relay (OCR) Outgoing 20 kV dan Recloser pada Trafo II 60 MVA Feeder RBG 01 di Gardu Induk 150 kV Rembang. *Elektrika*, 12(1), 22-30.
- [10] Nurcahyo, M. S. (2019). *Evaluasi Koordinasi Proteksi Over Current Relay (OCR) dan Directional Ground Relay (DGR) di Gardu Induk 150 kV Segoromadu* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [11] Jainuri, M., Setiaji, H., Nugraha, D. A., & Kiswantono, A. (2021). Simulasi Over Current Relay Pada Jalur Transmisi Dengan Menggunakan Aplikasi Etap 12.6. *SinarFe7*, 4(1), 674-683.
- [12] Juniarto, T., & Tamam, M. T. (2020). Analisis koordinasi pengaman over current relay, ground fault relay, dan recloser pada penyulang majenang 08 pt. pln (persero) gardu induk majenang cilacap. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 1(2), 110-118.
- [13] Setyaningrum, Y., Prasetyono, S., & Setiawan, A. (2021). Optimasi Koordinasi Over Current Relay Pada Trafo 60 Mva 150/20 Kv Dan Penyulang 20 Kv Gumul Gardu Induk Banaran Berbasis Particle Swarm Optimization. *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, 7(1), 1-9.
- [14] Nugoho, A., & Sukmadi, T. (2017). Koordinasi Over Current Relay (OCR) Sisi Incoming 1 Dengan OCR Sisi Outgoing KLS 03 Pada GI

Kalisari. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 19(3), 114-119.

- [15] Hariyanto, D. P. (2009). Analisis Koordinasi Over Current Relay Dan Recloser Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk Semen Nusantara (Snt 2) Cilacap. *Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), 10.

TENTANG PENULIS



Leonel Chardiski Ginting merupakan anak pertama dari dua bersaudara, lahir di Kandibata pada tanggal 22 Desember 2002. Pendidikan dasar ditempuh di SDN 040466 Lausimomo pada tahun 2008 hingga 2014, kemudian melanjutkan studi ke SMP Negeri 3 Kabanjahe pada periode 2014–2017. Setelah itu, pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 1 Merdeka dan berhasil menyelesaikannya pada tahun 2020. Pada tahun 2021, penulis diterima di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro dengan peminatan Teknik Tenaga Listrik (Tegangan Tinggi dan Arus Kuat) yang secara resmi diambil pada tahun 2023. Dalam perjalanan akademiknya, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Paniki pada bulan Juli hingga Oktober 2024, berlokasi di Jl. Durian Raya, Paniki, Kecamatan Mapanget, Kota Manado, Sulawesi Utara. Selain itu, penulis juga mengikuti program Kuliah Kerja Terpadu (KKT) pada bulan November sampai Desember 2024 bersama KKT 141 di Kelurahan Tumatantang 1, Kecamatan Tomohon Selatan, Kota Tomohon. Selanjutnya, penelitian serta pengambilan data untuk penyusunan tugas akhir dilakukan pada bulan Maret hingga Mei 2025 di PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Paniki serta UP2D Suluttenggo, Manado. Selain aktif dalam kegiatan akademik, penulis juga berpartisipasi dalam berbagai organisasi, baik di dalam kampus maupun di luar kampus.