

Analisis Proteksi Arus Lebih (OCR) Pada Penyulang Nginden 20KV PT. PLN UP3 Surabaya Selatan

¹ Reza sarwo Widagdo, ² Aris Heri Andriawan, ³ Ilham Daffa Firdaus Al Bukhori
Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945, Surabaya
¹rezawidagdo@untag-sby.ac.id, ² aris po@untag-sby.ac.id, ³ ilham.daffa263@gmail.com

The electric power distribution system is vulnerable to short circuit faults that can cause equipment damage and disruption of service continuity. This study aims to analyze the performance of the overcurrent protection system (Overcurrent Relay/OCR) on the 20 kV Nginden Feeder at PT. PLN UP3 South Surabaya. The results show that the fault current decreases as the distance of the fault from the substation increases. The highest current occurs in three-phase faults of 17,021.27 A at 10% of the feeders to 5,137.42 A at 100% of the feeders, followed by two-phase of 8,510.63 A to 2,568.71 A and single-phase to ground of 5,655.67 A to 1,517.61 A. The OCR setting is determined based on a load current of 480A with a CT ratio of 1000/5 and a safety factor of 1.2, resulting in a setting current of 576A and a TMS of 0.150 seconds. The relay working time varies showing that 3-phase faults have the fastest detection time between 0.299–0.469 seconds, followed by 2-phase faults 0.379–0.691 seconds, and the longest 1-phase to ground faults 0.449–1.073 seconds depending on the type and location of the fault. This setting fulfills the principles of reliability, selectivity, sensitivity, and speed, and is relevant for optimizing the 20kV distribution protection system.

Keywords —Short Circuit Fault; Nginden Feeder; OCR Relay;

Sistem distribusi tenaga listrik rentan terhadap gangguan hubung singkat yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan dan gangguan kontinuitas pelayanan. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja sistem proteksi arus lebih (Overcurrent Relay/OCR) pada Penyulang Nginden 20 kV di PT. PLN UP3 Surabaya Selatan. Hasil menunjukkan bahwa arus gangguan menurun seiring bertambahnya jarak gangguan dari gardu. Arus tertinggi terjadi pada gangguan tiga fasa sebesar 17.021,27 A pada 10% penyulang hingga 5.137,42 A pada 100% penyulang, diikuti dua fasa sebesar 8.510,63 A hingga 2.568,71 A dan satu fasa ke tanah sebesar 5.655,67 A hingga 1.517,61 A. Setting OCR ditentukan berdasarkan arus beban 480 A dengan rasio CT 1000/5 dan faktor keamanan 1,2, menghasilkan arus setting 576 A dan TMS 0,150 detik. Waktu kerja relay bervariasi menunjukkan bahwa gangguan 3 fasa memiliki waktu deteksi tercepat antara 0,299–0,469 detik, diikuti gangguan 2 fasa 0,379–0,691 detik, dan gangguan 1 fasa ke tanah terlama 0,449–1,073 detik sesuai jenis dan lokasi gangguan. Setting ini memenuhi prinsip keandalan, selektifitas, sensitivitas, dan kecepatan, serta relevan untuk optimalisasi sistem proteksi distribusi 20 kV.

Kata Kunci—Gangguan Hubung Singkat; Penyulang Nginden; Relay OCR;

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan ekonomi, sehingga keandalan infrastruktur ketenagalistrikan menjadi sangat penting. Sistem distribusi listrik adalah komponen dari jaringan energi listrik. Jaringan ini dirancang untuk mendistribusikan energi listrik dari penyedia besar kepada pengguna. Bertambahnya beban akibat pertumbuhan populasi dapat mengakibatkan peningkatan jumlah gangguan. Gangguan pada sistem distribusi timbul dari berbagai sebab internal maupun eksternal, terutama akibat arus lebih seperti hubung singkat dan beban lebih. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan sistem proteksi Over Current Relay (OCR) sebagai perangkat proteksi pada jaringan distribusi. OCR berperan dalam mendeteksi arus lebih yang disebabkan oleh gangguan, lalu secara otomatis memutuskan aliran listrik guna mencegah kerusakan peralatan dan mempercepat pemulihan jaringan. Penelitian ini menganalisis proteksi antara Over Current Relay (OCR) pada penyulang Nginden 20 KV di UP3 Surabaya Selatan, guna menentukan pengaturan optimal yang meningkatkan keandalan dan stabilitas distribusi listrik serta meminimalkan potensi gangguan.

Pada umumnya, sistem tenaga listrik mencakup empat bagian utama: pembangkit, transmisi, distribusi, dan pemakaian atau beban. Pembangkit listrik dapat berupa PLTA, PLTU, PLTB, PLTN, maupun PLTD, yang menghasilkan tegangan antara 11–24 kV. Tegangan kemudian dinaikkan oleh gardu induk yang dilengkapi dengan trafo ke tingkat 154, 220 ataupun 500 kV, yang berfungsi untuk meminimalisir kehilangan daya selama proses transmisi melalui saluran transmisi. Setelah mencapai gardu induk di dekat area konsumsi, tegangan diturunkan menjadi tegangan menengah ataupun distribusi primer, umumnya 20 kV, sebelum pendistribusian ke seluruh jaringan. Tegangan tersebut kemudian direduksi ke level tegangan rendah, baik 380/220 V maupun 220/127 V, melalui transformator distribusi hingga sampai ke pengguna akhir.

Sesuai dengan kebutuhan daya serta tegangan, jaringan distribusi, sebuah komponen dari sistem tenaga, mendistribusikan energi listrik dari gardu induk ke pelanggan akhir. Komponennya berkisar dari alat pembatas dan pengukur (APP) di sisi pengguna hingga repeater di terminal sekunder gardu induk. Jaringan ini terdiri dari dua tingkatan: jaringan distribusi tegangan menengah (JTM) sebagai tingkat utama serta jaringan distribusi tegangan rendah (JTR) sebagai tingkat sekunder. JTM umumnya terdiri dari sistem tiga fase, empat kawat dengan tegangan fase-ke-fase 20 kV, sedangkan JTR menggunakan tegangan 380 V untuk pelanggan tiga fase dan 220 V untuk pelanggan satu fase. Antara JTM dan JTR dihubungkan oleh transformator distribusi, baik satu fasa maupun tiga fasa, sesuai kebutuhan. Sementara JTR menghubungkan trafo distribusi ke konsumen tegangan rendah, JTM menghubungkan gardu induk ke konsumen tegangan menengah ataupun trafo distribusi. Satu kabel netral sudah cukup apabila kedua jaringan mempergunakan tiang yang sama. Distribusi primer serta sekunder merupakan dua bagian dari sistem jaringan distribusi. Jaringan distribusi primer, juga disebut sebagai jaringan distribusi tegangan menengah (JDTM), menyalurkan listrik dari gardu induk ke gardu distribusi pada tegangan 6, 10, hingga 20 kV sesuai dengan peraturan PLN. Jaringan distribusi sekunder, juga dikenal sebagai jaringan distribusi tegangan rendah (LVDN), berperan dalam mendistribusikan listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Pada sistem terdahulu, tegangan yang biasa diterapkan pada LVDN ialah 127/220 V; pada sistem hunian modern, tegangannya ialah 220/380 V; serta pada aplikasi industri, tegangannya ialah 440/550 V.

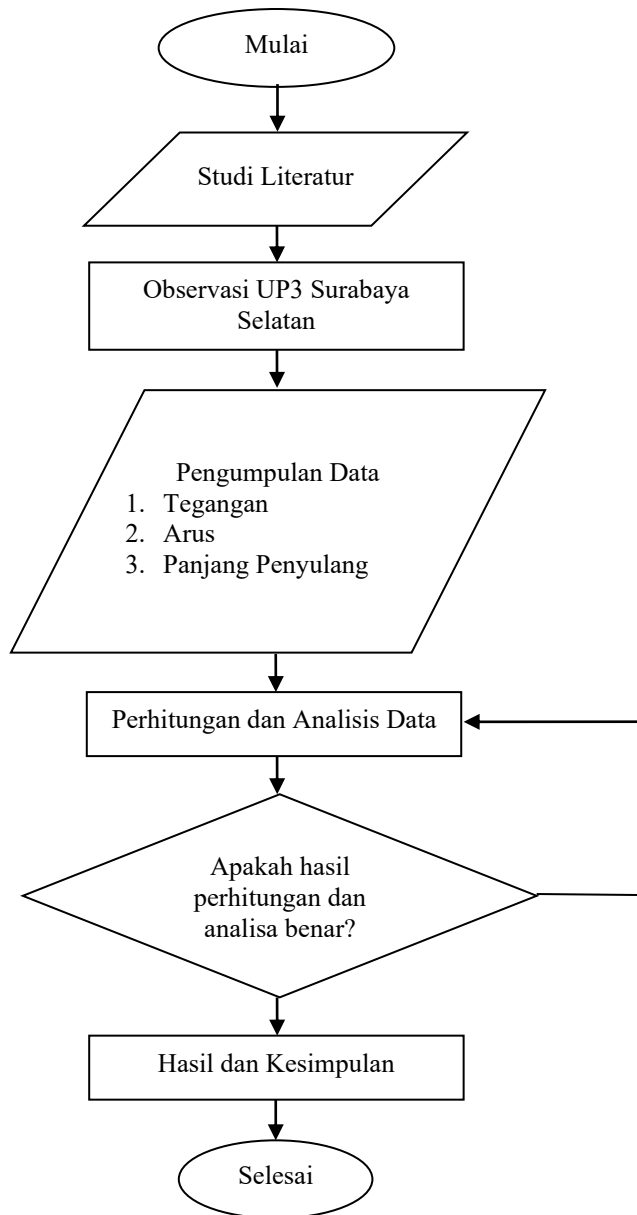
Secara umum, sistem proteksi dalam kelistrikan berfungsi untuk mencegah dan mengatasi gangguan yang dapat merusak jaringan atau peralatan listrik dengan cara mengisolasi gangguan secara cepat dan akurat. Pada instalasi trafo daya 150/20 kV, sistem proteksi terdiri dari berbagai komponen seperti relai proteksi, trafo arus (CT), perkabelan, catu daya DC (baterai), dan pemutus arus (PMT), yang bekerja secara terpadu sesuai fungsinya. Proteksi sistem tenaga listrik dikategorikan ke dalam dua kelompok utama, yaitu proteksi primer yang langsung bekerja saat terdeteksi gangguan, dan proteksi cadangan yang berfungsi bila proteksi utama gagal, dengan jeda waktu untuk memastikan prioritas kerja proteksi utama. Proteksi cadangan ini dapat berupa local backup (berada di lokasi yang sama dengan proteksi utama) dan remote backup (berada di lokasi berbeda).

II. METODE PENELITIAN

A. Metode

Penelitian ini menerapkan pendekatan metodologi deskriptif kuantitatif guna mengkaji koordinasi proteksi arus lebih (OCR) pada penyulang Nginden 20 kV di PT. PLN UP3 Surabaya Selatan. Pengumpulan data dilakukan melalui sumber resmi dan survei lapangan, mencakup panjang penyulang, tegangan, dan arus nominal. Selanjutnya, dilakukan studi literatur untuk memberikan landasan teori dan pendekatan ilmiah dalam memecahkan permasalahan yang dihadapi selama proses penelitian. Langkah ini membantu memperoleh pemahaman yang baik tentang masalah yang sedang diteliti, mencari tahu apa yang telah diketahui dari penelitian sebelumnya, dan mengetahui metode yang digunakan dalam penelitian serupa. Tinjauan literatur ini akan membantu mengidentifikasi kekurangan pengetahuan dan menjelaskan kontribusi penelitian ini.

B. Gambar



Gambar 1. Flowchart

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tabel di bawah ini akan menunjukkan data Trafo Gardu Induk 150 KV Sukolilodan data penyulang Nginden. Data ini yang nantinya akan di gunakan untuk melakukan suatu perhitungan.

Tabel 1. Data Trafo GI Sukolilo

No	Parameter	Value
1	Merek	Pasti
2	Tegangan Primer	60 MVA
3	Tegangan Sekunder	150 kV
4	Impedansi	12,66 %
5	Vector Group	YN yn0 (d)

Tabel 2. Data Parameter (*Font II*)

No	Parameter	Value
1	Tegangan	20 kV
2	Panjang Penyulang	7,7 Km
3	Jenis Penghantar	AAAC
4	Luas penghantar	150 mm ²

A. Menghitung Impedansi Sumber

$$\begin{aligned}
 MVA_{SC} &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I & (1) \\
 &= \sqrt{3} \cdot 150 \cdot 60 \\
 &= 1.558,84 \text{ MVA}
 \end{aligned}$$

Didapat nilai hubung singkatnya sebesar 1.558,84 MVA, maka dapat dihitung impedansi sumber sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 ZS_{primer} &= \frac{kV(sisi primer)^2}{MVA \text{ hubung singkat}} & (2) \\
 &= \frac{150^2}{1.558,84} = 14,4 \Omega
 \end{aligned}$$

Karena analisis ini berfokus pada gangguan hubung singkat di sisi 20 kV, impedansi sumber perlu ditranslasikan ke sisi 20 kV guna menjamin tegangan sumber yang dipergunakan dalam perhitungan hubung singkat ialah 20 kV. Guna mengubah impedansi dari sisi 150 kV ke sisi 20 kV, gunakan rumus di bawah ini:

$$\begin{aligned}
 ZS_{sekunder} &= \frac{kV(sisi sekunder)^2}{kV(sisi primer)^2} \times ZS_{primer} & (3) \\
 ZS_{sekunder} &= \frac{20^2}{150^2} \times 14,4 \\
 &= 0,256 \Omega
 \end{aligned}$$

B. Menghitung Reaktansi Transformator

Transformator pada Gardu Induk memiliki nilai Z impedansi 12,66%. Dalam perhitungan impedansi trafo harus diperhatikan nilai perbandingan reaktansi dan resistansinya. Nilai impedansi transformator masih dalam bentuk sistem per unit, karena itu harus diubah dengan sisi sekunder 20 kV. Sebelum itu harus diketahui dulu nilai ohm pada 100 %, yaitu :

$$\begin{aligned}
 X_{t(pada 100\%)} &= \frac{kV(sekunder)^2}{MVA \text{ Transformator}} & (4) \\
 &= \frac{20^2}{60} = 6,66 \Omega
 \end{aligned}$$

Maka, nilai reaktansinya adalah :

- a. Reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$)

$$X_t = 12,66 \% \times 6,66 \Omega \tag{5}$$

$$X_t = 0,843 \Omega$$

- b. Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Berdasarkan spesifikasi trafo memiliki *vector group* YN yn0 (d), maka :

$$X_{t0} = 3 \times X_t \tag{6}$$

$$X_{t0} = 3 \times 0,843$$

$$X_{t0} = 2,529 \Omega$$

C. Perhitungan Impedansi Penyulang

Menentukan impedansi dari sebuah penyulang, yang dipengaruhi oleh jenis konduktor, luas penampang, serta panjang jaringan SUTM. Penyulang Nginden mempergunakan konduktor AAAC dengan luas penampang 150 mm² serta panjang 7,7 km. Nilai impedansi penyulang dideskripsikan dalam SPLN 64:1985, dengan impedansi urutan positif/negatif 0,2162 + j 0,3305 serta impedansi urutan nol 0,3631 + j 1,6180.

- a. Impedansi Penyulang Nginden urutan positif/negative

$$Z_1 = Z_2(\text{PENGHANTAR AAAC } 150\text{mm}) \times L \tag{7}$$

$$Z_1 = (0,2162 + j 0,3305) \times 7,7\text{km}$$

$$Z_1 = 1,664 + j 2,544 \Omega$$

- b. Impedansi Penyulang Nginden urutan nol

$$Z_0 = Z(\text{PENGHANTAR AAAC } 150\text{mm}) \times L \tag{8}$$

$$Z_0 = (0,3631 + j 1,6180) \times 7,7\text{km}$$

$$Z_0 = 2,795 + j 12,458 \Omega$$

Berdasarkan perhitungan seperti diatas, didapat hasil impedansi penyulang positif/negatif serta nol seperti pada tabel di bawah ini

Tabel 3. Impedansi Penyulang Urutan Positif/Negatif dan Impedansi Nol

No	(% Panjang)	Jarak (Km)	Impedansi Penyulang Z_1 & Z_2 (Ω)	Impedansi Penyulang Z_0 (Ω)
1	10	0,77	0,166 + j 0,254	0,279 + j 1,245
2	20	1,54	0,332 + j 0,508	0,559 + j 2,491
3	30	2,31	0,499 + j 0,763	0,838 + j 3,737
4	40	3,08	0,665 + j 1,017	1,118 + j 4,983
5	50	3,85	0,832 + j 1,272	1,397 + j 6,229
6	60	4,62	0,998 + j 1,526	1,677 + j 7,475
7	70	5,39	1,165 + j 1,781	1,957 + j 8,721
8	80	6,16	1,331 + j 2,035	2,236 + j 9,966
9	90	6,93	1,498 + j 2,290	2,516 + j 11,212
10	100	7,7	1,664 + j 2,544	2,795 + j 12,458

D. Menghitung Impedansi Ekuivalen Penyulang

- a. Perhitungan impedansi ekuivalen urutan positif dan negatif

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_s + X_t + Z_{1p} \tag{9}$$

$$Z_{1eq} = 0,256 + j0,843 + (1,664 + j2,544)$$

$$Z_{1eq} = 1,920 + j3,387$$

- b. Perhitungan Impedansi ekuivalen urutan nol

$$Z_0 = Z_s + X_0 + Z_{0p} \tag{10}$$

$$Z_0 = 0,256 + j2,529 + (2,795 + j12,458)$$

$$Z_0 = 3,051 + j14,987$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapat hasil impedansi ekuivalen urutan positif/negatif serta nol sebagai berikut :

Tabel 4. Impedansi Penyulang Urutan Positif/Negatif dan Nol

No	(% Panjang)	Jarak (Km)	Impedansi Ekuivalen Penyulang Z_1 & Z_2 (Ω)	Impedansi Ekuivalen Penyulang Z_0 (Ω)
1	10	0,77	0,422 + j 1,097	0,535 + j 3,774
2	20	1,54	0,588 + j 1,351	0,815 + j 5,020
3	30	2,31	0,755 + j 1,606	1,094 + j 6,266
4	40	3,08	0,921 + j 1,860	1,374 + j 7,512
5	50	3,85	1,088 + j 2,115	1,653 + j 8,758
6	60	4,62	1,254 + j 2,369	1,933 + j 10,004
7	70	5,39	1,421 + j 2,624	2,213 + j 11,250
8	80	6,16	1,587 + j 2,878	2,492 + j 12,495
9	90	6,93	1,754 + j 3,133	2,772 + j 13,741
10	100	7,7	1,920 + j 3,133	3,051 + j 14,987

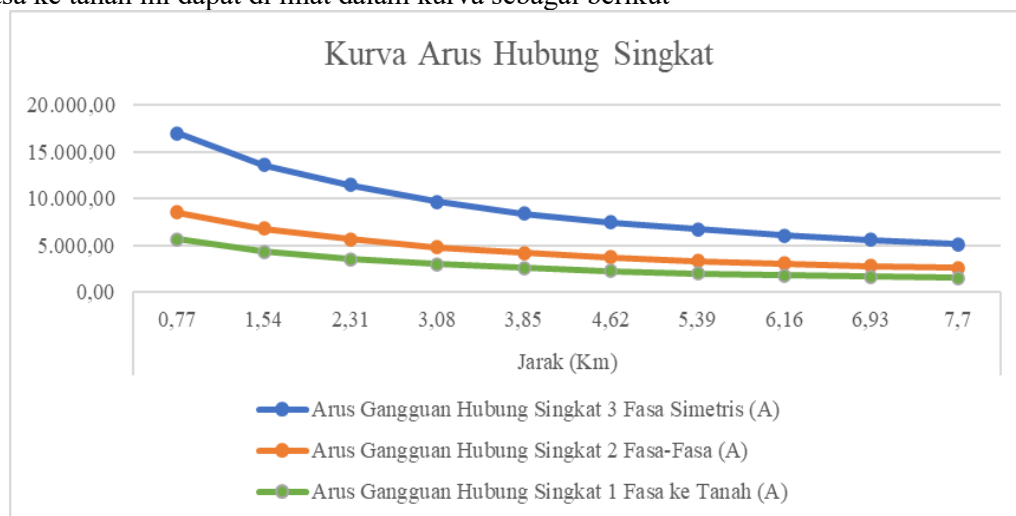
E. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat pada Penyulang

Setelah memperoleh nilai impedansi ekuivalen, perhitungan arus hubung singkat dapat dilakukan. Perhitungan arus gangguan hubung singkat selanjutnya untuk sistem tiga fasa simetris, termasuk dua fasa serta satu fasa ke tanah, untuk lokasi gangguan pada 10-100% dari panjang penyulang disajikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 5. Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

No	(% Panjang)	Jarak (Km)	Arus Hubung Singkat (A)		
			3 Fasa Simetris	2 Fasa-Fasa	1 Fasa ke Tanah
1	10	0,77	17.021,27	8.510,63	5.655,67
2	20	1,54	13.577,73	6.788,86	4.344,24
3	30	2,31	11.467,88	5.635,39	3.525,80
4	40	3,08	9.638,55	4.818,11	2.964,57
5	50	3,85	8.410,42	4.205,21	2.558,79
6	60	4,62	7.462,68	3.731,34	2.250,87
7	70	5,39	6.704,65	3.351,20	2.007,24
8	80	6,16	6.086,42	3.042,75	1.812,71
9	90	6,93	5.571,03	2.785,12	1.652,16
10	100	7,7	5.137,42	2.568,71	1.517,61

Untuk memahami dan menganalisis hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa Simetris, 2 fasa-fasa serta 1 fasa ke tanah ini dapat di lihat dalam kurva sebagai berikut



Gambar 2. Kurva Arus Gangguan Hubung Singkat

Grafik mengindikasikan amplitudo arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh panjang jaringan (km). Panjang penyulang 100 % dengan jarak titik gangguan 7,7 km mempunyai arus gangguan hubung singkat terkecil yaitu sebesar 1.517,61 A. Dengan bertambahnya panjang jaringan ataupun bertambahnya jarak ke lokasi gangguan, arus gangguan hubung singkat akan berkurang; sebaliknya, berkurangnya jarak ke titik gangguan akan meningkatkan arus hubung singkat. Arus gangguan hubung singkat maksimum sebesar 17.021,27 A terlihat selama hubung singkat tiga fase, relatif terhadap fase.

F. Perhitungan Setting Relay OCR

a. Setting arus di Penyulang Nginden 20 kV

Pada penyulang Nginden menggunakan relay arus lebih dengan kurva standard invers dengan ketentuan arus setting sebesar 1,05 sampai 1,2 dan memiliki beban 480 A dengan rasio CT 1000/5. Guna memperoleh nilai arus setting relay arus lebih dihitung mempergunakan rumus :

$$I_{set(primer)} = 1,2 \times I_{nominal} \tag{11}$$

$$I_{set(primer)} = 1,2 \times 480$$

$$I_{set(primer)} = 576 \text{ A}$$

Nilai di atas merupakan nilai setelan arus pada sisi primer, dan bagi nilai setelan arus pada sisi sekunder dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio \ CT} \tag{12}$$

$$I_{set(sekunder)} = 576 \times \frac{1}{1000/5}$$

$$I_{set(sekunder)} = 2,88 \text{ A}$$

Sehingga didapat nilai setelan arus pada sisi sekunder sebesar 2,88 Ampere

b. Setting TMS

Pada perhitungan setting TMS ini menggunakan nilai perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada penyulang Nginden pada titik Lokasi gangguan 10 %. Diketahui nilai ketetapan waktu kerja relay adalah 0,3 detik, maka dapat di hitung dengan mempergunakan rumus sebagai berikut :

$$TMS = \frac{t \left[\left\{ \frac{Ifault}{Iset(primer)} \right\}^a - 1 \right]}{\beta} \tag{13}$$

$$TMS = \frac{0,3 \left[\left\{ \frac{17.021,27}{576} \right\}^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = \frac{0,3[1,07006 - 1]}{0,14}$$

$$TMS = 0,150 \text{ s}$$

G. Pemeriksaan Waktu Kerja Relay

Pada penyulang Nginden, menggunakan relay dengan karakteristik standard inverse. Dengan mengasumsikan gangguan dengan titik lokasi gangguan pada 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100% maka dapat dihitung waktu kerja relay dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset} \right)^{0,02} - 1} \tag{14}$$

$$t = \frac{0,14 \times 0,150}{\left(\frac{17.021,27}{576} \right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,021}{1,07006 - 1}$$

$$t = 0,299 s$$

Temuan Perhitungan waktu kerja rele arus lebih pada gangguan 3 Fasa, 2 Fasa, 1 Fasa ke tanah dapat diamati pada tabel berikut

Tabel 6. Hasil Perhitungan Waktu Kerja Relay Arus lebih

No	Lokasi Gangguan dari Penyulang (%)	Mulai Waktu OCR Penyulang Mendeteksi Gangguan (Detik)		
		3 Fasa Simetris	2 Fasa-Fasa	1 Fasa ke Tanah
1	10	0,299	0,379	0,449
2	20	0,321	0,415	0,509
3	30	0,340	0,449	0,569
4	40	0,362	0,483	0,630
5	50	0,381	0,517	0,693
6	60	0,399	0,551	0,760
7	70	0,417	0,585	0,830
8	80	0,434	0,629	0,905
9	90	0,452	0,655	0,986
10	100	0,469	0,691	1,073

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 6, dapat diamati bahwa waktu kerja relay Over Current Relay (OCR) memiliki pola yang konsisten terhadap lokasi gangguan pada penyulang Nginden. Semakin jauh lokasi gangguan dari gardu induk, semakin lama waktu yang dibutuhkan relay untuk mendeteksi dan merespons gangguan tersebut. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya impedansi total rangkaian seiring dengan bertambahnya panjang konduktor penyulang, yang mengakibatkan penurunan arus gangguan hubung singkat.

Dari data yang diperoleh, gangguan yang terjadi pada lokasi 10% penyulang (0,77 km dari gardu induk) memiliki waktu deteksi tercepat, yaitu 0,299 detik untuk gangguan 3 fasa simetris. Sebaliknya, gangguan pada ujung penyulang (100% atau 7,7 km) memiliki waktu deteksi terlama, mencapai 1,073 detik untuk gangguan 1 fasa ke tanah. Perbedaan waktu deteksi yang signifikan ini menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara jarak gangguan dan waktu respons relay.

Analisis terhadap jenis gangguan menunjukkan bahwa gangguan 3 fasa simetris memiliki waktu deteksi paling cepat pada setiap lokasi gangguan, diikuti oleh gangguan 2 fasa, serta gangguan 1 fasa ke tanah memiliki waktu deteksi terlama. Untuk gangguan 3 fasa, waktu deteksi berkisar antara 0,299 detik hingga 0,469 detik. Gangguan 2 fasa memiliki rentang waktu deteksi 0,379 detik hingga 0,691 detik, sedangkan gangguan 1 fasa ke tanah memiliki rentang waktu deteksi 0,449 detik hingga 1,073 detik.

IV. KESIMPULAN

Mengacu pada temuan analisis, penelitian ini menyimpulkan arus gangguan mengindikasikan arus gangguan hubung singkat pada penyulang Nginden bervariasi dari 1.517,61 A hingga 17.021,27 A tergantung pada jenis gangguan dan lokasi. Gangguan 3 fasa menghasilkan arus terbesar, sedangkan gangguan 1 fasa ke tanah menghasilkan arus terkecil. Temuan perhitungan TMS 0,150 detik dan arus setting 576 A, waktu kerja relay bervariasi dari 0,299 detik (gangguan 3 fasa di 10% penyulang) hingga 1,073 detik (gangguan 1 fasa ke tanah di 100% penyulang), memberikan waktu deteksi berkisar antara 0,299-1,073 detik.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Immanuel, Y. Ambabunga, and M. Lumembang, "Analisis Fuse Cut Out Sebagai Pengaman Transformator Distribusi Tegangan 20 Kv Menggunakan Software Etap," *J. Dyn. Saint*, vol. 7, no. 2, pp. 15–20, 2023, doi: 10.47178/dynamicsaint.v7i2.1880.
- [2] T.Elektro, F.Teknik, and U.M. Yogyakarta, "KOORDINASI PENEMPATAN PERALATAN PROTEKSI

JENIS ARUS LEBIH (OCR) DAN PELEBUR (FCO) DI PENYULANG DI GARDU INDUK 150/20 KV GEJAYAN YOGYAKARTA”.

- [3] N. Arif, Aksan, and Hamdani, “Analisis Koordinasi Recloser Dan Fco (Fuse Cut Out) Pada Feeder Express Mangkutana Out Kalaena PT . PLN (Persero) ULP Tomoni,” *Tek. Elektro*, no. September, pp. 51–56, 2021.
- [4] W. F. Galla, A. S. Sampeallo, and J. I. Daris, “Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Udara 20 Kv Di Penyulang Naioni Pt. Pln (Persero) Ulp Kupang Untuk Menentukan Kapasitas Pemutusan Fuse Cut Out Menggunakan Etap 12.6,” *J. Media Elektro*, vol. IX, no. 2, pp. 101–112, 2020, doi: 10.35508/jme.v0i0.3208.
- [5] S. P. Parmonangan, J. Windarta, and M. Facta, “Evaluasi Koordinasi Proteksi Relay Arus Lebih Trafo 2 Dan Trafo 3 Gis Kandang Sapi Ke Penyulang Luluk, Dekat, Lahan, Makan, Sarapan, Budidharma 7-8, Dan Sruput Menggunakan Etap 12.6.0,” *J. Ilm. Tek. Elektro TRANSIENT*, vol. 6, 2017.
- [6] R. S. W. Candra Novia, Hadi Tasmono, “ANALISA SETTING RELAY PADA PENYULANG SIMO KWAGEAN,” *Pros. Senakama*, vol. 2, pp. 641–651, 2023.