

**STUDI KOORDINASI SETTING OCR DAN DGR  
TRANSFORMATOR 2 DI PLN UP3 SURABAYA UTARA**

**Bagas Hernanda Jatmiko, Hadi Tasmono, Reza Sarwo Widagdo**

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Email : [bagashj08@gmail.com](mailto:bagashj08@gmail.com), [haditasmono@untag-sby.ac.id](mailto:haditasmono@untag-sby.ac.id),  
[rezaswidagdo@untag-sby.ac.id](mailto:rezaswidagdo@untag-sby.ac.id)

**Abstract**

*The protection system aims to safeguard electrical equipment from technical disturbances, natural events, operational errors, and other factors. In this research, an analysis and simulation of protection coordination were conducted at the 150 kV Kenjeran Substation of PT PLN (Persero), using data from PLN UP3 North Surabaya. A common issue that arises is a short-circuit disturbance due to improper settings on the Overcurrent Relay (OCR) or Directional Ground Relay (DGR). Parameter values such as OCR Time Multiplier Setting (TMS OCR) and DGR instantaneous current undergo changes in both existing and resetting conditions. Several values differ between the existing and resetting conditions. One such value is the TMS OCR, which originally had a value of 0.15 but becomes 0.18 - 0.24, with varying values for each feeder. The instantaneous current value, previously at 2800 A, becomes 2886.75 A. The existing condition of TMS DGR is 0.2, while the calculated value is 0.0498553. In the existing condition, the instant current of DGR is 4 A, whereas the calculated value is 11.475 A. Subsequently, the creation of an electrical system model using ETAP 19 software was carried out for simulation purposes. The simulation results indicate that when a short-circuit disturbance occurs in a feeder, the relevant relay located in that feeder functions properly, while relays in other feeders do not detect the pickup current as observed in the affected relay. Therefore, it can be concluded that the simulation runs normally.*

*Keywords: Directional Ground Relay, Over Current Relay, Protection Relay*

**Abstrak**

Sistem proteksi bertujuan melindungi peralatan listrik dari gangguan teknis, alam, kesalahan operasi, dan faktor lainnya. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis dan simulasi terhadap koordinasi proteksi di GI 150 kV Kenjeran PT PLN (Persero) menggunakan data dari PLN UP3 Surabaya Utara. Permasalahan umum yang muncul adalah gangguan hubung singkat akibat penyetelan yang kurang tepat pada Overcurrent Relay (OCR) atau Directional Ground Relay (DGR). Nilai-nilai parameter seperti TMS OCR dan arus instantaneous DGR mengalami perubahan pada kondisi existing dan resetting. Terdapat beberapa nilai yang berbeda pada kondisi existing dan resetting. Nilai yang berubah antara lain adalah nilai TMS OCR yang pada semula bernilai 0,15, menjadi 0,18 - 0,24 yang nilainya berbeda-beda setiap penyulang. Nilai arus instantaneous yang sebelumnya bernilai 2800 A, menjadi 2886,75 A. Nilai TMS DGR pada kondisi existing sebesar 0,2 dengan hasil perhitungan diperoleh 0,0498553. Pada kondisi existing arus instan DGR senilai 4 A, sedangkan setelah melakukan perhitungan diperoleh arus instan senilai 11,475 A. Selanjutnya, pembuatan model sistem kelistrikan menggunakan software ETAP 19 dilakukan untuk melakukan simulasi. Hasil dari simulasi dapat dilihat bahwa saat terjadi gangguan hubung singkat pada penyulang, rele yang berfungsi adalah rele yang terletak di penyulang tersebut, sementara rele di penyulang lainnya tidak mendeteksi arus pickup seperti yang terjadi pada rele yang mengalami gangguan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa simulasi berjalan dengan normal.

Kata kunci : Directional Ground Relay, Over Current Relay, Rele Proteksi

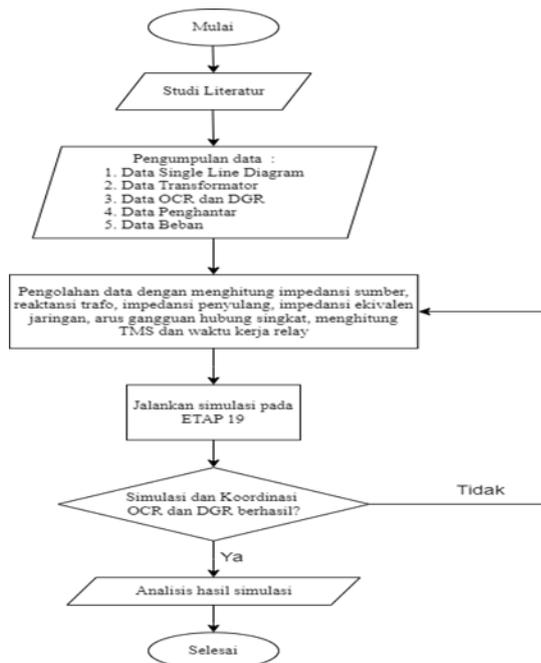
## **Pendahuluan**

Sistem proteksi adalah suatu sistem yang dirancang untuk melindungi peralatan listrik dari berbagai jenis gangguan. Tujuan dari sistem proteksi adalah untuk mengenali gangguan yang terjadi, memisahkan bagian yang terkena gangguan dari bagian yang masih sehat, dan menjaga agar bagian yang masih sehat tidak mengalami kerusakan atau kerugian. Salah satu peralatan listrik adalah Penyulang, dimana Penyulang atau Feeder merupakan bagian dari jaringan PLN yang berperan dalam mengalirkan atau mendistribusikan energi listrik dengan tegangan 20 kV dari Gardu Induk (GI) ke Gardu Distribusi, hingga akhirnya mencapai konsumen dengan tegangan 380 V atau 220 V. Seringkali, gangguan yang muncul pada penyulang adalah terjadi gangguan akibat pengaturan yang kurang optimal pada *Overcurrent Relay* (OCR) atau *Dirctional Ground Relay* (DGR) di penyulang tersebut. Gangguan ini kadang-kadang dapat menyebabkan penyulang lainnya terputus secara tiba-tiba, hingga dapat mengakibatkan pemadaman yang meluas.

PT. PLN Area Surabaya Utara merupakan divisi yang bertanggung jawab dalam menyediakan layanan listrik di wilayah Utara Kota Surabaya, dengan tujuan mengalirkan listrik dari gardu induk ke pelanggan. PT. PLN Area Surabaya Utara memiliki beberapa gardu induk, dan dalam penelitian ini, penulis akan memfokuskan pengambilan data dari Gardu Induk Kenjeran yang tergabung dalam PT. PLN UP3 Surabaya Utara untuk mempermudah analisis. Penyulang pada Transformator 2 berada di kawasan padat penduduk dan merupakan wilayah industri serta wisata, sehingga diperlukan setting yang baik pada rele OCR untuk mendeteksi adanya arus gangguan lebih serta rele DGR untuk mendeteksi arus gangguan tanah. Dalam perencanaan sistem proteksi pada sistem tenaga listrik, perlu mempertimbangkan kemungkinan terjadinya gangguan pada sistem melalui analisis gangguan. Setelah mendapatkan hasil analisis gangguan, dapat ditentukan sistem proteksi yang sesuai, termasuk jenis *relay* yang digunakan dan pengaturan yang memengaruhi kinerja *relay* tersebut.

## **Metode**

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode penelitian kuantitatif, yaitu suatu cara pengumpulan data berupa angka-angka melalui pengukuran dan analisis matematis. Dengan menggunakan pendekatan ini, peneliti dapat menganalisis data secara statistik untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang fenomena yang diteliti.



**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

Pengambilan data untuk penelitian ini dilakukan di PLN UP3 Surabaya Utara pada penyulang di Transformator 2. Pada Gambar 1 diagram alir penelitian di mulai dengan studi literatur yang dilakukan melalui buku dan jurnal-jurnal ilmiah yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan.

Sesudah melakukan studi literatur, maka tahap selanjutnya adalah pengumpulan data berupa Data Single Line Diagram GI Kenjeran, Data Transformator, Data OCR dan DGR, Data Penghantar serta Data Beban. Selanjutnya setelah pengumpulan data adalah perhitungan yang dimulai dari menghitung impedansi sumber, menghitung reaktansi trafo, menghitung impedansi penyulang, menghitung impedansi ekivalen jaringan, menghitung arus gangguan hubung singkat, menghitung TMS serta waktu kerja rele.

Tahap setelah perhitungan setting relay OCR dan DGR adalah simulasi dan analisa data. Simulasi dilakukan menggunakan setting relay OCR dan DGR perhitungan teori dan setting OCR dan DGR pada trafo distribusi pada penyulang berdasarkan data yang dikumpulkan dari PLN UP3 Surabaya Utara dengan menggunakan software ETAP 19.0.1. Simulasi yang dilakukan adalah simulasi gangguan hubung singkat 3 fasa dan satu fasa ketanah. Setelah simulasi dilakukan tahap selanjutnya adalah tahap analisa. Analisa dilakukan terhadap simulasi dan perhitungan yang di dapatkan lalu dibandingkan dengan data yang telah dikumpulkan dari PLN UP3 Surabaya Utara.

Terakhir adalah tahap menganalisis dan menginterpretasikan hasil penelitian ini serta menyusun laporan yang menjelaskan penelitian ini secara rinci. Laporan ini akan mencakup deskripsi metode penelitian, hasil analisis, kesimpulan, dan saran untuk meningkatkan koordinasi Over

Current Relay (OCR) dan Directional Ground Relay (DGR) pada Transformator 2 di PLN UP3 Surabaya Utara.

### Proses Pengambilan Data

Dalam menganalisis pengaturan rele pada penyulang di Transformator 2, diperlukan variabel-variabel berupa data sebagai acuan utama dalam analisis pengaturan rele tersebut. Berikut ini adalah jenis data yang menjadi acuan penting dalam penelitian tersebut. Data spesifikasi dari transformator ditunjukkan pada tabel berikut ini.

**Tabel 1. Spesifikasi Transformator**

Merek	XIAN
Tipe	SFZ A950181
Tegangan	150/20 kV
Daya	50 MVA
Belitan	YNynO(d)
Ratio CT	2000/5
Arus Primer	192,5 A
Arus Sekunder	1433,4 A
Tegangan Operasi	150 kV
Impedansi	12,20 %

Penyulang yang akan dianalisa rele nya adalah Penyulang Tuwowo dengan panjang jaringan 10,5 km dan menggunakan jenis penghantar A3CS berukuran 150mm, Penyulang Wiratno dengan panjang jaringan 11,5 km dan menggunakan jenis penghantar A3CS berukuran 150mm, Penyulang Sidoyoso dengan panjang jaringan 9,3 km dan menggunakan jenis penghantar A3C berukuran 120mm, serta Penyulang Rangkah dengan panjang jaringan 9,4 km.

### Analisa Pengaturan Rele

Pada penelitian yang berjudul “STUDI KOORDINASI OCR DAN DGR TRANSFORMATOR 2 DI PLN UP3 SURABAYA UTARA”. Proses analisa dilakukan dalam beberapa tahapan seperti menghitung impedansi sumber, reaktansi trafo, impedansi penyulang, impedansi ekivalen jaringan, gangguan arus hubung singkat (3 fasa, fasa ke fasa, 1 fasa ke tanah), *Time Multipler Setting* (TMS), serta membuat simulasi menggunakan *software* ETAP 19.0.1.

### Hasil dan Pembahasan

#### A. Perhitungan Impedansi Sumber

Perhitungan yang dilakukan adalah berdasarkan data arus hubung singkat pada bus sisi primer 150 kV GI Kenjeran, yang memiliki nilai sebesar 17,17 kA :

- a. Hubung Singkat sisi Primer 150 kV

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \times kV \times I_{sc} \quad (1)$$

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \times 150 \times 17,17 \text{ kA}$$

$$MVA_{sc} = 4460,897 \text{ MVA}$$

b. Impedansi pada sisi primer

$$Z_s = \frac{kV(\text{primer})^2}{MVA_{sc}} \quad (2)$$

$$Z_s = \frac{150^2}{4460,896}$$

$$Z_s = 5,04 \Omega$$

c. Impedansi pada sisi sekunder

$$Z_s = \frac{kV(\text{sekunder})^2}{kV(\text{primer})^2} \times X_s(\text{primer}) \quad (3)$$

$$Z_s = \frac{20^2}{150^2} \times 5,04$$

$$Z_s = 0,0896 \Omega$$

### B. Perhitungan Reaktansi Trafo

Untuk memperoleh nilai reaktansi urutan positif, reaktansi urutan negatif, dan reaktansi urutan nol dalam satuan ohm ( $\Omega$ ), langkah awal yang perlu dilakukan adalah menghitung nilai reaktansi pada kondisi 100% berdasarkan besaran reaktansi trafo, yaitu 12,20%.

Besaran nilai ohm ( $\Omega$ ) pada kondisi 100% yaitu :

$$X_{t(100\%)} = \frac{kV \text{ sekunder}}{VA \text{ trafo}} = \frac{20^2}{50} = 8 \Omega \quad (4)$$

Nilai reaktansi dari trafo distribusi sebagai berikut :

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

$$X_{t1} = X_{t2} = \text{Reaktansi Trafo (\%)} \times X_{t(100\%)}$$

$$X_{t1} = X_{t2} = 12,20 \% \times 8 \Omega = 0,98 \Omega \quad (5)$$

2. Reaktansi urutan nol ( $X_{t0}$ )

Dikarenakan trafo distribusi yang menyuplai penyulang tidak memiliki belitan delta di rangkaiannya, besaran dari  $X_{t0}$  berkisar antara 9 hingga 14 x  $X_{t1}$ . Oleh karena itu, dalam perhitungan ini, nilai  $X_{t0}$  dapat dinyatakan sebagai sekitar 10 x  $X_{t1}$ .

Maka nilai  $X_{t0}$  adalah :

$$X_{t0} = 10 \times X_{t1} \quad (6)$$

$$X_{t0} = 10 \times 0,98$$

$$X_{t0} = 9,8 \Omega$$

### C. Perhitungan Impedansi Penyulang

Perhitungan pada impedansi jaringan distribusi sesuai dengan panjang jaringan distribusi. Pada penyulang Simo Kwagean setiap titik gangguannya dapat dihitung dengan :

$$\text{Impedansi penyulang} = \text{panjang penyulang} \times Z/\text{km} \quad (7)$$

$$\text{Wiratno} = (0,225 + j0,323) \Omega / \text{km} \times 10,5 = 2,3625 + j3,3915$$

Tuwowo =  $(0,225 + j0,323) \Omega / \text{km} \times 11,5 = 2,5875 + j3,7145$   
 Sidoyoso =  $(0,2688 + j0,3376) \Omega / \text{km} \times 9,3 = 2,4998 + j3,1396$   
 Rangkah =  $(0,2688 + j0,3376) \Omega / \text{km} \times 9,4 = 2,5268 + j3,1735$

Hasil perhitungan impedansi penyulang penyulang urutan positif ( $Z_1$ ), impedansi urutan negatif ( $Z_2$ ) dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

**Tabel 2. Impedansi Penyulang Urutan Positif, Negatif & Nol**

Penyulang	% Panjang	Impedansi ( $Z_1$ & $Z_2$ )	Impedansi ( $Z_0$ )
Tuwowo	0	0	0
	25	$0,5906 + j0,8478 \Omega$	$0,9033 + j4,2473 \Omega$
	50	$1,1812 + j1,6957 \Omega$	$1,8065 + j8,4945 \Omega$
	75	$1,7718 + j2,5436 \Omega$	$2,7098 + j12,7418 \Omega$
	100	$2,3625 + j3,3915 \Omega$	$3,6131 + j16,989 \Omega$
Wiratno	0	0	0
	25	$0,6468 + j0,9286 \Omega$	$0,9893 + j4,6518 \Omega$
	50	$1,2937 + j1,8572 \Omega$	$1,9786 + j9,3035 \Omega$
	75	$1,9406 + j2,7858 \Omega$	$2,9679 + j13,9553 \Omega$
	100	$2,5875 + j3,7145 \Omega$	$3,9572 + j18,607 \Omega$
Sidoyoso	0	0	0
	25	$0,6429 + j0,7849 \Omega$	$0,9691 + j3,7784 \Omega$
	50	$1,2499 + j1,5698 \Omega$	$1,9382 + j7,5568 \Omega$
	75	$1,8748 + j2,3547 \Omega$	$2,9072 + j11,3351 \Omega$
	100	$2,4998 + j3,1396 \Omega$	$3,8763 + j15,1135 \Omega$
Rangkah	0	0	0
	25	$0,6317 + j0,7934 \Omega$	$0,9795 + j3,8189 \Omega$
	50	$1,2634 + j1,5868 \Omega$	$1,9589 + j7,6379 \Omega$
	75	$1,8951 + j2,3801 \Omega$	$2,9385 + j11,4569 \Omega$
	100	$2,5268 + j3,2735 \Omega$	$3,9179 + j15,2759 \Omega$

#### D. Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan

Persamaan berikut adalah persamaan untuk menghitung besarnya nilai impedansi ekuivalen dari titik gangguan sampai ke titik sumber, karena  $Z_{1eki} = Z_{2eki}$  maka digunakanlah persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 Z_{1eki} = Z_{2eki} &= Z_s(\text{sisi } 20 \text{ kV}) + X_{t1} + Z_{1(\text{penyulang})} \\
 &= j0,0896 + j0,98 + Z_{1(\text{penyulang})} \\
 &= j1,0696 + Z_{1(\text{penyulang})}
 \end{aligned} \tag{8}$$

Sedangkan untuk menghitung  $Z_{0eki}$  berdasarkan pada sistem netral pentanahan pasokan dari gardu induk. Tahanan pentanahan yang digunakan adalah  $500 \Omega$ , perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Z_{0eq} &= X_{t0} + 3RN + Z_{0(\text{penyulang})} \\
 &= j9,8 + 1500 + Z_{0(\text{penyulang})}
 \end{aligned} \tag{9}$$

Karena asumsi lokasi gangguan terjadi pada posisi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari total panjang penyulang, maka untuk ( $Z_{1eki}$ ,  $Z_{2eki}$  &  $Z_{0eki}$ ) yang didapat adalah :

**Tabel 3. Impedansi Ekvivalen Jaringan Positif, Negatif & Nol**

Penyulang	% Panjang	Impedansi ( $Z_{1eki}$ & $Z_{2eki}$ )	Impedansi ( $Z_{0eki}$ )
Tuwowo	0	$0 + j1,0696 \Omega$	$1500 + j9,8 \Omega$
	25	$0,5906 + j1,9174 \Omega$	$1500,9033 + j14,0473 \Omega$
	50	$1,1812 + j2,7653 \Omega$	$1501,8065 + j18,2945 \Omega$
	75	$1,7718 + j3,6132 \Omega$	$1502,7078 + j22,5418 \Omega$
	100	$2,3625 + j4,4611 \Omega$	$1503,6131 + j26,789 \Omega$
Wiratno	0	$0 + j1,0696 \Omega$	$1500 + j9,8 \Omega$
	25	$0,6468 + j1,9982 \Omega$	$1500,9893 + j14,4518 \Omega$
	50	$1,2937 + j2,9268 \Omega$	$1501,9786 + j19,1035 \Omega$
	75	$1,9406 + j3,8554 \Omega$	$1502,9679 + j23,7553 \Omega$
	100	$2,5875 + j4,7841 \Omega$	$1503,9572 + j28,407 \Omega$
Sidoyoso	0	$0 + j1,0696 \Omega$	$1500 + j9,8 \Omega$
	25	$0,6249 + j1,8545 \Omega$	$1500,9691 + j13,5784 \Omega$
	50	$1,2499 + j2,6394 \Omega$	$1501,9382 + j17,3568 \Omega$
	75	$1,8748 + j3,4243 \Omega$	$1502,9072 + j21,1351 \Omega$
	100	$2,4998 + j4,2092 \Omega$	$1503,8763 + j24,9135 \Omega$
Rangkah	0	$0 + j1,0696 \Omega$	$1500 + j9,8 \Omega$
	25	$0,6317 + j1,863 \Omega$	$1500,9795 + j13,6189 \Omega$
	50	$1,2634 + j2,6564 \Omega$	$1501,9589 + j17,4379 \Omega$
	75	$1,8951 + j3,4497 \Omega$	$1502,9385 + j21,2569 \Omega$
	100	$2,5268 + j4,3431 \Omega$	$1503,9179 + j25,0759 \Omega$

#### E. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat 3 fasa, fasa ke fasa, dan 1 fasa ke tanah dapat dihitung dengan :

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{V}{Z_{1(eq)}} = \frac{20000}{Z_{1(eq)}} \quad (10)$$

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{\sqrt{3} x V}{Z_1 + Z_2} = \frac{\sqrt{3} x 20000}{2 x Z_1} = \frac{34641,01615}{2 x Z_1} \quad (11)$$

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{3 x V}{(Z_{total})} = \frac{3 x \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq})} = \frac{34641,01615}{2 x (Z_{1eq}) + (Z_{0eq})} \quad (12)$$

Dimana  $V$  adalah tegangan sumber,  $Z_1$  adalah impedansi urutan positif,  $Z_2$  adalah impedansi urutan negatif,  $Z_0$  adalah impedansi urutan nol,  $Z_{1eq}$  adalah impedansi ekvivalen jaringan urutan positif,  $Z_{2eq}$  adalah impedansi ekvivalen jaringan urutan negatif, dan  $Z_{0eq}$  adalah impedansi ekvivalen jaringan urutan nol.

**Tabel 4. Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat**

Penyulang	% Panjang	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
Tuwowo	0	18698,579 A	16193,45 A	23,09 A
	25	9968,61 A	8633,07 A	23,05 A
	50	6651,12 A	5760,04 A	23,02 A
	75	4969,88 A	4304,04 A	22,98 A
	100	3961,925 A	3431,127 A	22,95 A
Wiratno	0	18698,579 A	16193,45 A	23,09 A
	25	9522,56 A	8246,78 A	23,05 A
	50	6250,05 A	5412,71 A	23,02 A
	75	4633,65 A	4012,85 A	22,98 A
	100	3677,14 A	3184,5 A	22,95 A
Sidoyoso	0	18698,579 A	16193,45 A	23,09 A
	25	10219,96 A	8850,75 A	23,05 A
	50	6848,4 A	5930,88 A	23,02 A
	75	5123,03 A	4436,68 A	22,98 A
	100	4085,35 A	3538,01 A	22,95 A
Rangkah	0	18698,579 A	16193,45 A	23,09 A
	25	10166,81 A	8804,72 A	23,05 A
	50	6799,16 A	5888,25 A	23,02 A
	75	5081,35 A	4400,57 A	22,98 A
	100	3980,36 A	3447,09 A	22,95 A

**F. Penyetelan Arus Lebih Pada Sisi *Incomming* (OCR)**

Mengetahui nilai arus nominal transformator daya sangat penting untuk menentukan setelan rele arus lebih pada sisi *Incoming* 20 kV transformator. Hal ini tidak terlalu berbeda dengan setelan rele arus yang digunakan di penyulang. Dengan memakai rumus berikut :

1. Arus Nominal Trafo pada sisi 20 KV : 50 MVA = 50.000 kVA

$$I_{n(sisi\ 20kv)} = \frac{kVa}{kV \cdot \sqrt{3}} \quad (13)$$

$$I_{n(sisi\ 20kv)} = \frac{50000}{20 \cdot \sqrt{3}} = 1443,3764\ A$$

2. Nilai setelan arus pada sisi primer :

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{beban} \quad (14)$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times 1443,3764 = 1515,55\ A$$

3. Nilai setelan arus pada sisi sekunder :

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \text{ratio ct} \quad (15)$$

$$I_{set(sekunder)} = 1515,55 \times \frac{5}{2000} = 3,78 \text{ A}$$

- Setelan TMS (Time Multipler Setting)

Arus gangguan yang dipilih adalah arus yang digunakan untuk mengatur pengatur TMS rele arus lebih pada sisi masukan transformator daya 20 kV. Arus gangguan tersebut merupakan arus hubung singkat tiga fasa pada panjang penyulang 0%. Waktu kerja *incomming* diperoleh dengan menambahkan waktu kerja standar relai sebesar 0,4 detik.

$$t_{incomming} : 0,3 + 0,4 = 0,7$$

$$tms = \frac{\left[\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right]^{k2} - 1}{k1} \times t \quad (16)$$

$$tms = \frac{\left[\frac{18698,579}{1515,55}\right]^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,7$$

$$tms = 0,2577$$

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left[\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right]^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,14 \times 0,2577}{\left[\frac{18698,579}{1515,55}\right]^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,7 \text{ s}$$

### G. Penyetelan Arus Lebih Pada Sisi Penyulang (OCR)

Diketahui pada penyulang Tuwowo, penyulang Wiratno, penyulang Sidoyoso dan penyulang Rangkah. Trafo arus yang dipasang mempunyai Rasio 400/5A, dan arus beban maksimum pada pada setiap penyulang adalah sebagai berikut :

**Tabel 5. Data Arus Puncak Pada Setiap Penyulang**

Penyulang	Imaks
Tuwowo	141 A
Wiratno	92 A
Sidoyoso	172 A
Rangkah	93 A

Untuk setelan relai yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum. Dimana rele inverse dengan setelan sebesar 1,05 sampai 1,1 x Imaks. Untuk nilai setelan arus setting primer dan sekunder dapat menggunakan rumus dibawah ini :

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{maks}$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times CT \left( \frac{5}{400} \right)$$

**Tabel 6. Hasil Perhitungan Arus Setting Primer & Sekunder**

Penyulang	$I_{set primer}$	$I_{set sekunder}$
Tuwowo	148,05	1,850625
Wiratno	96,6	1,2075
Sidoyoso	180,6	2,2575
Rangkah	97,65	1,220625

Jika terjadi arus gangguan hubung singkat dengan nilai yang sama atau lebih tinggi dari 96 A, rele arus pada sisi penyulang akan mendeteksi dan memerintahkan PMT untuk bekerja. Namun, jika arus gangguan hubung singkat berada di bawah 96 A, rele tersebut tidak akan mendeteksi adanya gangguan.

Penyetelan arus instant pada sisi penyulang bergantung pada kapasitas dan arus nominal transformator daya. Untuk mencari arus nominal transformator daya dapat menggunakan perhitungan berikut :

$$I_n \text{ trafo} = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV}$$

$$I_n \text{ trafo} = \frac{50000}{\sqrt{3} \times 20}$$

$$I_n \text{ trafo} = 1443,375673$$

Karena transformator daya berkapasitas 50 MVA, maka untuk rumus menghitung arus instan dengan menggunakan arus nominal transformator daya adalah sebagai berikut :

$$I_{instan} = 2 \times I_n \text{ trafo}$$

$$I_{instan} = 2 \times 1443,375673$$

$$I_{instan} = 2886,751346 \text{ A}$$

Selanjutnya menghitung arus instan sekunder dan primer pada sisi penyulang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$I_{instan sekunder} = \frac{I_{instan}}{I_{set primer}}$$

$$I_{instan primer} = I_{instan sekunder} \times I_{set primer}$$

**Tabel 7. Tabel Hasil Perhitungan Arus Instant sekunder & primer**

Penyulang	$I_{instan sekunder}$	$I_{instan primer}$
Tuwowo	19,49848933	2886,751346
Wiratno	29,88355431	2886,751346
Sidoyoso	15,98422672	2886,751346
Rangkah	29,56222576	2886,751346

Hasil dari perhitungan arus setting dan arus instant diatas digunakan untuk menghitung TMS (*Time Multipler Setting*) dan waktu kerja rele

terhadap gangguan hubung singkat 3 fasa dan antar fasa.

- Setelan TMS (Time Multiplier Setting)

Arus gangguan yang digunakan untuk menentukan setting OCR (*Overcurrent Relay*) TMS pada sisi penyulang 20 kV transformator distribusi adalah arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada panjang penyulang 0%. Waktu kerja yang ditetapkan adalah  $t = 0,3$  detik, keputusan ini diambil agar rele tidak terpicu kembali. TMS (*Time Multiplier Setting*) dan waktu kerja rele dapat dihitung menggunakan persamaan berikut. :

$$tms = \frac{\left[\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right]^{k2} - 1}{k1} \times t$$

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left[\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right]^{0,02} - 1}$$

**Tabel 1. Hasil Perhitungan TMS dan Waktu Kerja Rele**

Penyulang	TMS	t (s)
Tuwowo	0,217736444	0,3
Wiratno	0,237980874	0,3
Sidoyoso	0,208372434	0,3
Rangkah	0,237466148	0,3

Dapat dilihat pada tabel diatas hasil perhitungan TMS dan waktu kerja rele, dimana TMS memiliki hasil yang berbeda pada setiap penyulang tergantung dari besarnya arus setting primer sisi penyulang, sedangkan untuk waktu kerja memiliki nilai hasil yang sama yaitu 0,3 s.

#### H. Penyetelan Arus Gangguan Tanah Sisi Penyulang (DGR)

Setting arus gangguan tanah harus sangat sensitif, karena berfungsi untuk cadangan proteksi dari pada penyulang, jadi untuk menghitung setelan arus instant pada relay gangguan tanah di sisi penyulang, settingan diatur sebesar (50% × nilai arus gangguan tanah yang paling kecil), karena rele harus sangat sensitif, sehingga semakin kecil nilai arusnya, maka akan semakin baik kerja rele tersebut. Berikut adalah perhitungannya.

Nilai setelan arus primer pada sisi *incoming* :

$$I_{set(primer)} = 50\% \times I_f$$

$$I_{set(primer)} = 50\% \times 22,95 = 11,475 \text{ A}$$

Nilai setelan arus pada sisi sekunder :

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \text{ratio } ct$$

$$I_{set(sekunder)} = 11,475 \times \frac{5}{400} = 0,1434375 \text{ A}$$

**Tabel 2. Hasil Perhitungan Arus Instant dan Arus Setting Sisi Incoming**

Penyulang	$I_{set primer}$	$I_{set sekunder}$
-----------	------------------	--------------------

Tuwowo	11,475 A	0,1434375 A
Wiratno	11,475 A	0,1434375 A
Sidoyoso	11,475 A	0,1434375 A
Rangkah	11,475 A	0,1434375 A

Dapat dilihat pada tabel diatas hasil perhitungan *Iset primer* dan *Iset sekunder*, dimana memiliki hasil yang sama karena perhitungan arus gangguan tanah terkecil pada setiap penyulang pun sama hasilnya. Hasil perhitungan diatas akan digunakan untuk menghitung TMS (*Time Multipler Setting*) dan waktu kerja rele sisi penyulang. Untuk menghitung *Time Multipler Setting* (TMS) dan waktu kerja rele gangguan tanah pada sisi penyulang 20kV adalah sebagai berikut :

$$tms = \frac{\left[\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right]^{k2} - 1}{k1} \times t$$

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left[\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right]^{0,02} - 1}$$

**Tabel 3. Hasil Perhitungan TMS dan Waktu Kerja Rele DGR**

Penyulang	TMS	t (s)
Tuwowo	0,0498553	0,5
Wiratno	0,0498553	0,5
Sidoyoso	0,0498553	0,5
Rangkah	0,0498553	0,5

Dapat dilihat pada tabel diatas hasil perhitungan TMS dan waktu kerja rele, dimana memiliki hasil yang sama karena perhitungan arus *setting* pada setiap penyulang pun sama hasilnya.

#### I. Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Data Di Lapangan

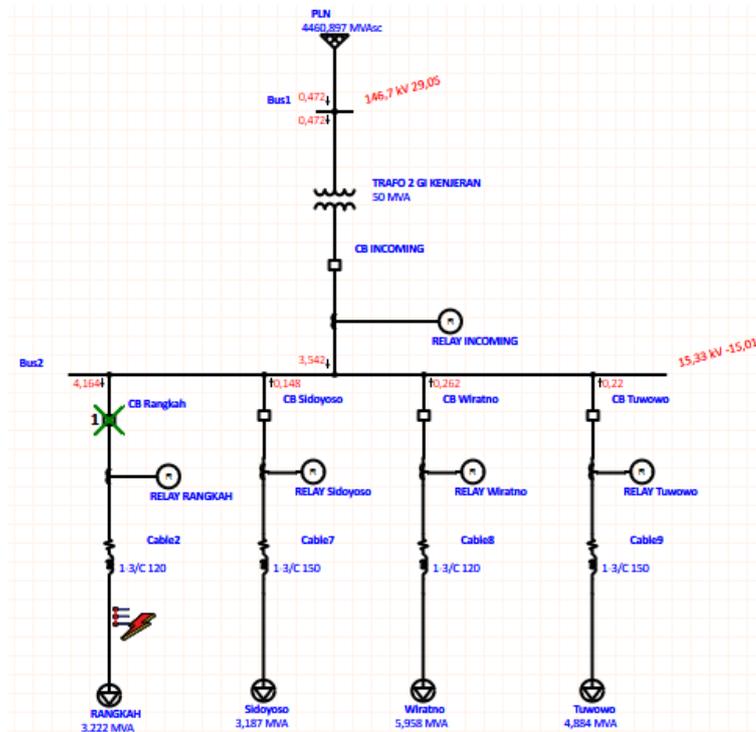
Setelah pengolahan data dengan melakukan perhitungan selesai dilakukan, maka selanjutnya adalah melakukan perbandingan hasil perhitungan dengan data yang ada di lapangan. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4. Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Data Lapangan**

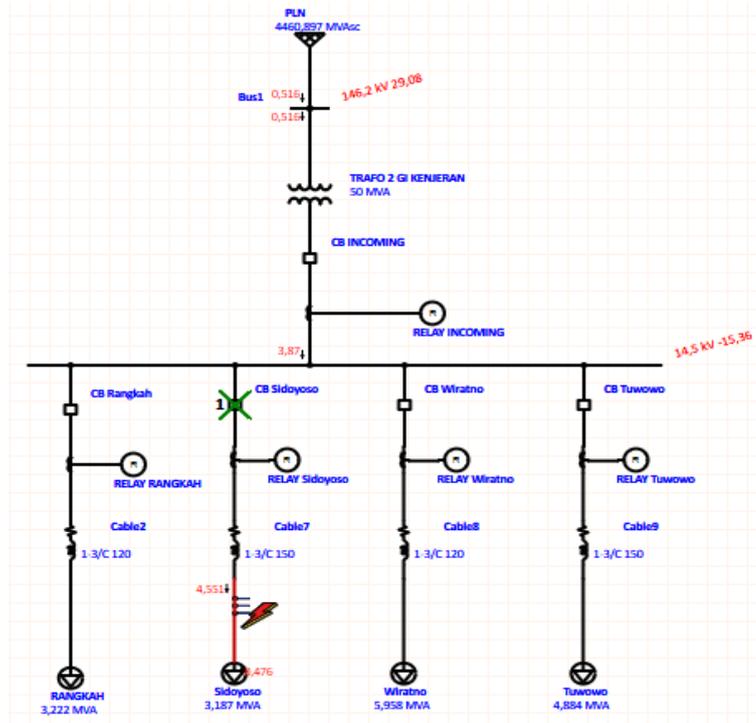
Rela y	Penyulan g	TMS		<i>instantaneous</i>			
				Arus (A)		Waktu (t)	
		<i>Existin g</i>	<i>Resetting</i>	<i>Existin g</i>	<i>Resetting</i>	<i>Existin g</i>	<i>Resettin g</i>
OCR	Tuwowo	0,15	0,21773644 4	2800	2886,75134 6	0,3	0,3
	Wiratno	0,15	0,23798087 4	2800	2886,75134 6	0,3	0,3
	Sidoyoso	0,15	0,20837243 4	2800	2886,75134 6	0,3	0,3

	Rangkah	0,15	0,23746614 8	2800	2886,75134 6	0,3	0,3
DGR	Tuwowo	0,2	0,0498553	4	11,475	0,5	0,5
	Wiratno	0,2	0,0498553	4	11,475	0,5	0,5
	Sidoyoso	0,2	0,0498553	4	11,475	0,5	0,5
	Rangkah	0,2	0,0498553	4	11,475	0,5	0,5

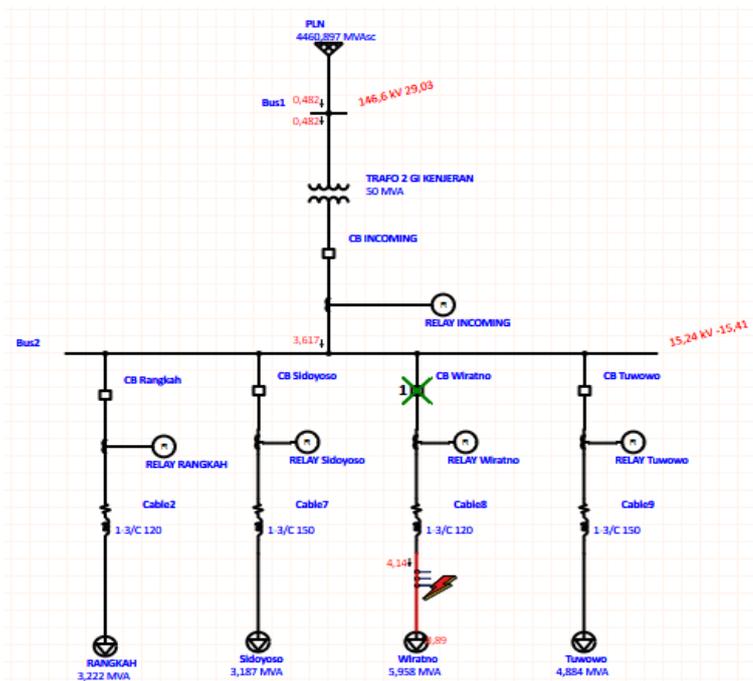
### J. Simulasi Gangguan Dengan Software ETAP 19.0.1



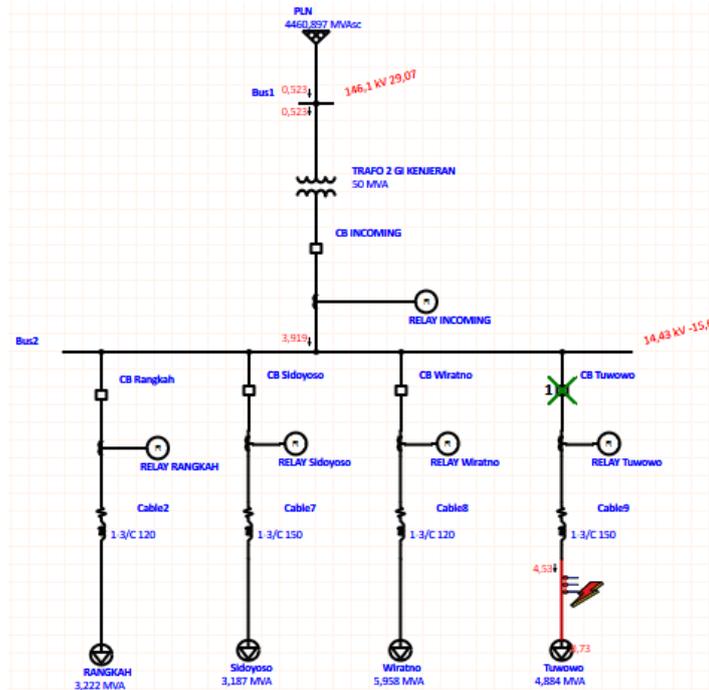
Gambar 2. Simulasi Gangguan Penyulang Rangkah



Gambar 3. Simulasi Gangguan Penyulang Sidoyoso



Gambar 4. Simulasi Gangguan Penyulang Wiratno



**Gambar 5. Simulasi Gangguan Penyulang Tuwowo**

Hasil simulasi menunjukkan pada gambar 2,3,4, dan 5, ketika terjadi arus gangguan hubung singkat pada bus 2, rele pada sisi penyulang merespon dan memberikan instruksi kepada CB/PMT (pemutus tenaga) untuk melaksanakan tindakan penanggulangan terhadap arus gangguan yang terjadi. Ketika terjadi gangguan pada penyulang yang terkena trip, rele penyulang lainnya tidak terpengaruh, hal ini menunjukkan bahwa rele beroperasi dalam wilayah proteksinya dan tidak mengganggu kinerja rele yang lain.

Dengan pemanfaatan perangkat lunak ETAP, simulasi dapat memberikan data mengenai intensitas arus gangguan yang timbul akibat hubung singkat dalam sistem. Setelah gangguan teratasi, rele akan segera mengembalikan dirinya ke keadaan semula, bertujuan untuk memungkinkan rele beroperasi dengan normal.

### **Kesimpulan**

Hasil dari perhitungan terhadap arus gangguan hubung singkat tiga fasa didapat bahwa pada setiap penyulang arus gangguan yang paling tinggi dengan jarak 0% dari panjang penyulang adalah sebesar 18698,579 A, sedangkan arus gangguan hubung singkat antar fasa dengan jarak yang sama yaitu 16193,45 A, dan pada perhitungan arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah didapat sebesar 22,95 A pada setiap penyulang dengan perhitungan 100% pada panjang penyulang. Terdapat beberapa nilai yang berbeda pada kondisi *existing* dan *resetting*. Nilai yang berubah antara lain adalah nilai TMS OCR yang pada semula bernilai 0,15, menjadi 0,18-0,24 yang nilainya berbeda-beda setiap penyulang. Nilai arus *instantaneous* yang sebelumnya bernilai 2800 A, menjadi 2886,75 A. Nilai TMS DGR pada kondisi *existing* sebesar 0,2 dengan hasil perhitungan

diperoleh 0,0498553. perbedaannya hanya selisih 0,16 pada settingan awal. Pada kondisi *existing* arus *instant* DGR senilai 4 A, sedangkan setelah melakukan perhitungan diperoleh arus *instant* senilai 11,475 A. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa ketika terjadi gangguan hubung singkat pada suatu penyulang maka rele yang bekerja adalah rele yang berada pada penyulang itu sendiri dan rele pada penyulang lainnya tidak merasakan arus gangguan seperti yang dirasakan oleh rele yang sedang terjadi gangguan sehingga bisa dikatakan bahwa simulasi berjalan dengan normal dan rele bekerja dengan baik.

## Referensi

- M. Andikapati and A. Faharuddin, "Studi Koordinasi Proteksi Transformator dan Penyulang di Gardu Induk Bolangi."
- M. F. Tsani, "ANALISA SETING RELAY OCR DAN DGR PADA SISTEM PROTEKSI TRANFOMATOR DISTRIBUSI 20KV PLN UP3 SURABAYA UTARA."
- G. Ardha Ibrahimusa, T. Joko, A. Wrahatnolo, and A. Imam, "Analisis Koordinasi Setting Relay Proteksi Pada Jaringan Distribusi 20KV Penyulang Brenggolo Di PT.PLN UP3 Kediri Gardu Induk Pare." Departemen Pertambangan Dan Energi "SPLN 64: 1985".
- N. R. Br, "Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Trafo Distribusi 20 KV (Studi Kasus PT. PLN PERSERO Unit Lamongan)."
- F. Haz and I. Aditya, "Analisis Setting Proteksi Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah (Fauzia Haz, Ichsan Aditya M N : 66-73) Analisis Setting Proteksi Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah Pada Trafo Daya 60 MVA di Gardu Induk 150 kV Cibatuh."
- A. W. Hidayat, H. Gusmedi, L. Hakim, and D. Despa, "Analisa Setting Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Penyulang Topan Gardu Induk Teluk Betung," 2013.
- H. Program, S. Teknik, E. Jurusan, and T. Elektro, "PERHITUNGAN ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA JARINGAN DISTRIBUSI DI KOTA PONTIANAK."
- F. Kadarisman and H. Tasmono, "Analisa Kegagalan Trip Penyulang Lakarsantri Trafo 2 50 MVA GIS Karangpilang."
- C. Novia, H. Tasmono, and R. S. Widagdo, "ANALISA SETTING RELAY PADA PENYULANG SIMO KWAGEAN."