

Koordinasi Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang J4 dan J5 di Gardu Induk Karang Joang Balikpapan

Ongran Nainggolan¹, Masing², Ikhwan Tantowi Ardiwinata³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

¹onainggolan029@gmail.com

Abstrak- Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sistem yang lebih besar sampai ke konsumen. Pada sistem ini digunakan tegangan menengah yang merupakan sistem yang paling banyak mengalami gangguan dibandingkan dengan sistem transmisi. Penggunaan peralatan proteksi dapat meminimalisir gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi. Banyak peralatan proteksi yang digunakan pada jaringan distribusi di antaranya adalah *over current relay* (rele arus lebih) dan *ground fault relay* (rele gangguan tanah). Pengkoordinasian antara rele arus lebih dan rele gangguan tanah dilakukan agar alat proteksi dapat bekerja dengan tingkat selektifitas dan sensitifitas yang baik sehingga menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik. Pada paper ini dibahas koordinasi *setting* rele arus lebih (OCR) dan *setting* rele gangguan tanah (GFR). Simulasi menggunakan software ETAP 12.6 dilakukan terhadap data yang diperoleh dari lapangan. Hasil perhitungan pada penyulang J4 diperoleh selisih waktu (*grading time*) OCR sebesar 0.4007 detik. Sedangkan untuk selisih waktu OCR pada penyulang J5 adalah 0.3983 detik. Untuk hasil perhitungan pada penyulang J4 diperoleh selisih waktu (*grading time*) GFR sebesar 0.3998 detik. Sedangkan untuk selisih waktu GFR pada penyulang J5 adalah 0.4 detik. Hal ini menunjukkan koordinasi dikatakan ideal.

Kata kunci: koordinasi proteksi, *over current relay*, *ground fault relay*, selisih waktu, ETAP 12.6.

I. PENDAHULUAN

Gangguan pada suatu sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari. Jika tidak terdapat sistem yang mengatasi dan mengisolasi masalah ini, maka hal tersebut dapat mengganggu dan merusak komponen-komponen yang berada pada sistem tersebut. Gangguan dapat menyebabkan kegagalan kerja pada sistem tenaga sehingga pelayanan listrik akan terputus dan diperlukan biaya yang lebih besar untuk memperbaikannya.

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sistem yang lebih besar sampai ke konsumen. Pada sistem ini digunakan tegangan menengah yang merupakan sistem yang paling banyak mengalami gangguan dibandingkan dengan sistem transmisi. Meningkatnya beban disyalir menjadi salah satu parameter yang dapat mengakibatkan gangguan. Pada dasarnya gangguan adalah suatu keadaan tidak normal yang terjadi pada sistem. Gangguan sendiri dibedakan menjadi dua yakni gangguan sementara serta gangguan

permanen. Gangguan-gangguan tersebut akan mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik.

Penggunaan peralatan proteksi dapat meminimalisir gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi. Banyak peralatan proteksi yang digunakan pada jaringan distribusi diantaranya adalah *over current relay* (rele arus lebih) dan *ground fault relay* (rele gangguan tanah).

Pengkoordinasian antara rele arus lebih dan rele gangguan tanah dilakukan agar alat proteksi dapat bekerja dengan tingkat selektifitas dan sensitifitas yang baik sehingga menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan. Gangguan hubung singkat dapat menimbulkan arus yang lebih besar daripada arus normal dan berpotensi untuk menyebabkan kerusakan pada peralatan sistem dan mengganggu kestabilan sistem [1]. Gangguan hubung singkat memiliki beberapa kemungkinan yang dapat terjadi dalam suatu sistem distribusi:

1. Gangguan hubung singkat tiga *phase*
2. Gangguan hubung singkat dua *phase*
3. Gangguan hubung singkat satu *phase* ketanah

Tujuan dari analisis gangguan hubung singkat adalah untuk mengetahui. Perhitungan arus hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan persamaan berikut [2] :

$$S_{SC} = \sqrt{3} \times I_{hs} \times V_{primer} \dots \dots \dots (1)$$

$$X_s = \frac{(V)^2 (sisi primer trafo)}{S_{sc}} \dots \dots \dots (2)$$

$$X_{t2} = \%X_{t1} \times \frac{V_{sekunder}^2}{S_{trafo}} \dots \dots \dots (3)$$

$$X_{t0} = 3 \times X_{t2} \dots \dots \dots (4)$$

$$Z_{eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1penyulang} \dots \dots \dots (5)$$

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3RN + Z_{0penyulang} \dots \dots \dots (6)$$

$$I_{f3\phi} = \frac{V_{L-N}}{Z_1} \dots \dots \dots (7)$$

$$I_{2\phi} = \frac{V_{L-L}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \dots \dots \dots (8)$$

$$I_{fL-G} = \frac{3 \times V_{L-N}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \dots \dots \dots (9)$$

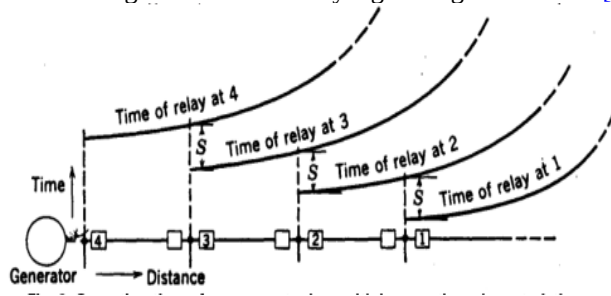
Keterangan:

- S_{SC} = Daya hubung singkat (MVA)
- I_{hs} = Arus hubung singkat maksimum penyulang (kA)
- X_s = Impedansi sumber
- X_{t0} = Reaktansi trafo urutan nol
- X_{t1} = Reaktansi trafo urutan positif
- X_{t2} = Reaktansi trafo urutan negatif
- Z_{0eq} = Impedansi equivalen penyulang urutan nol
- Z_{1eq} = Impedansi equivalen penyulang urutan positif
- Z_{2eq} = Impedansi equivalen penyulang urutan negatif
- $I_{f3\phi}$ = Arus hubung singkat 3 phase
- $I_{f2\phi}$ = Arus hubung singkat 2 phase
- I_{fL-G} = Arus hubung singkat 1 phase

B. Koordinasi OCR dan GFR

Koordinasi rele seringkali dilakukan secara grafis untuk menunjukkan perbedaan waktu operasi dan rentang arus pada setiap peralatan. Dalam melakukan pengkoordinasian antar rele biasanya dimulai dari ujung beban (biasanya disebut dengan hilir) pada saluran kemudian kearah sumber (hulu [1]).

Untuk OCR, gangguan *phase-ke-phase* akan diasumsikan karena menyebabkan lebih sedikit arus yang mengalir daripada gangguan-gangguan lain yang tidak melibatkan ground. Namun, relai fase tidak boleh terlalu sensitif sehingga bekerja pada saluran dengan keadaan beban puncak. Untuk GFR, gangguan *satu-Phase-ke-tanah* akan diasumsikan; arus beban bukan merupakan faktor dalam pemilihan pickup *ground-relay* kecuali dalam sistem distribusi di mana ada arus ground secara normal karena pembebanan yang tidak seimbang. Jika ada dua atau lebih bagian garis yang berdampingan, gangguan harus diasumsikan pada akhir bagian yang menyebabkan arus paling sedikit mengalir di lokasi relai yang sedang disesuaikan [3].



Gambar 1. Koordinasi rele dengan karakteristik *normal invers* [3]

C. Setting Arus OCR dan GFR

Penyetelan nilai *pick up* OCR dilakukan dengan pertimbangan bahwa rele seharusnya mengabaikan arus pada keadaan beban normal serta tingkatan beban lebih tertentu. Dengan demikian maka nilai *pick up* rele harus melebihi nilai arus beban lebih yang diperbolehkan. Pada waktu bersamaan rele juga harus cukup sensitive untuk bekerja pada gangguan sekecil apapun. Dengan demikian nilai *pick up* rele haruslah lebih kecil dari arus gangguan terkecil, sehingga dapat dituliskan:

$$I_{L,Max} < I_{pu} < I_{f,Min}$$

Nilai *pick up* rele biasanya disetel antara 105 – 130% dari nilai *plug setting* (arus masukan rele) tersebut [4]. dengan demikian Iset OCR dapat didapatkan menggunakan persamaan

$$I_{set} = 1.05 \times I_n \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan:

- I_{set} = Arus *setting* rele
- I_n = Arus nominal penyulang

Penyetelan *pick up* GFR dilakukan dengan pertimbangan bahwa nilai *pick up* haruslah lebih besar dari nilai arus urutan nol dari ketidakseimbangan yang telah diperkirakan pada penyulang. Karena pada umumnya beban pada sistem distribusi menggunakan tegangan 1 (satu) Phase, maka dimungkinkan untuk arus urutan nol mengalir pada penyulang. Bahkan ketika Phase beban seimbang pada kondisi normal, *transfer* beban dari penyulang lain sangatlah mempengaruhi keseimbangan penyulang. Karena itu, umumnya GFR disetel dengan nilai *pick up* antara 10-30% dari nilai *plug setting* rele tersebut [5].

Dengan mengacu pada pernyataan tersebut maka umumnya untuk melakukan penyetelan nilai *pick up* GFR dapat digunakan persamaan:

$$I_{set} = 0.2 \times I_n \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

- I_{set} = Arus *setting* rele
- I_n = Arus nominal penyulang

D. Setting waktu OCR dan GFR

Untuk melakukan penyetelan waktu OCR dan GFR diperlukan nilai arus hubung singkat pada penyulang yang bersangkutan. Persamaan yang digunakan untuk melakukan penyetelan waktu rele pun berdasarkan pada karakteristik rele yang digunakan. Penyetelan waktu tersebut dapat dilakukan sebagai berikut

1. Standard inverse

$$Time\ to\ trip = \frac{0.14(TMS)}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^{0.02} - 1} \dots \dots \dots (12)$$

2. Very inverse

$$Time\ to\ trip = \frac{13.5(TMS)}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right] - 1} \dots \dots \dots (13)$$

3. Extremely inverse

$$Time\ to\ trip = \frac{80(TMS)}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^2 - 1} \dots \dots \dots (14)$$

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi

Pengambilan serta pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2020 sampai dengan bulan Juni 2020 berlokasi di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Karang Joang dan Unit Pelaksana Pengatur Distribusi (UP2D) KALTIMRA.

B. Jenis dan Sumber Data

Data data yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi, data spesifikasi transformator pada *name plate*, data spesifikasi rele arus lebih, data spesifikasi rele gangguan tanah, data Arus Beban Penyulang, data panjang saluran, data penunjang lainnya.

C. Teknik Pengumpulan Data

Untuk memperoleh hasil yang baik dalam proses penulisan laporan skripsi, penulis menggunakan bebrapa metode pengumpulan data, di antaranya:

1. Observasi

Teknik observasi merupakan teknik yang dilakukan dengan cara mengamati secara langsung maupun tidak langsung suatu keadaan ataupun situasi dari sebuah objek penelitian.

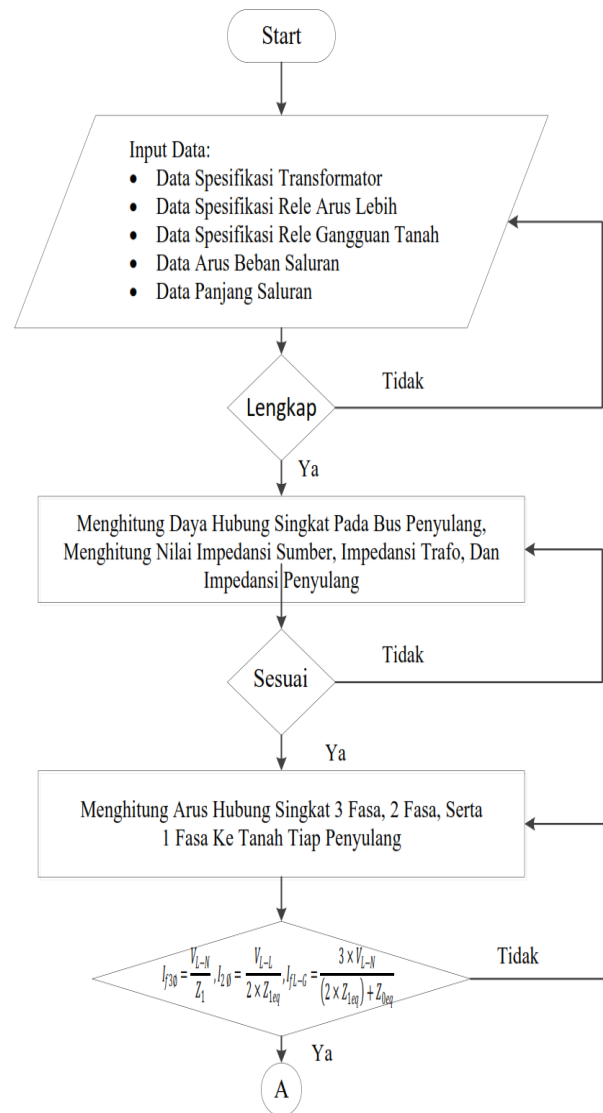
2. Wawancara

Teknik wawancara merupakan teknik yang dilakukan dengan cara mengajukan pertanyaan baik secara langsung maupun melalui media komunikasi kepada subjek penelitian itu sendiri.

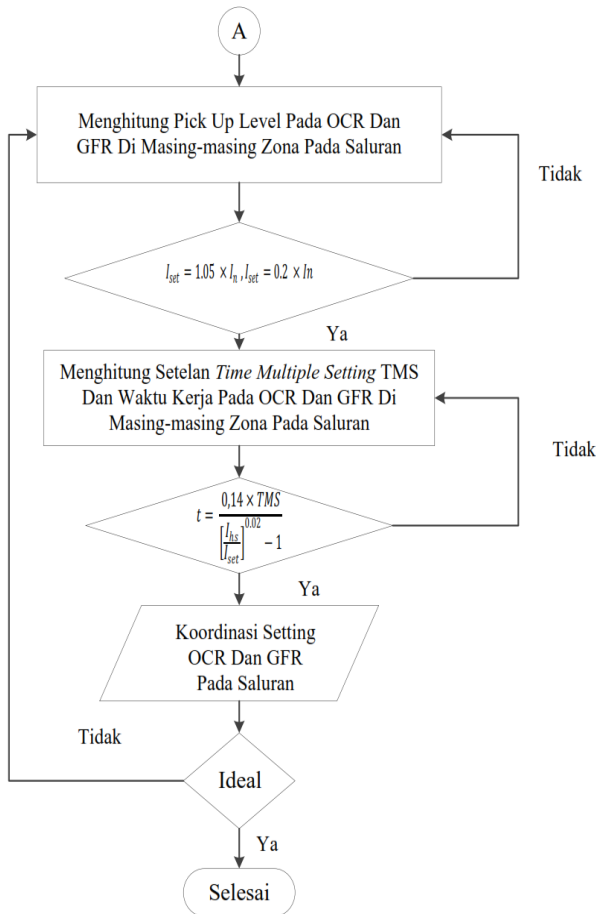
3. Studi Pustaka

Studi pustaka merupakan suatu teknik yang dilakukan dengan mencari sumber sumber referensi baik berupa karya tulis maupun catatan lainnya, agar peneliti dapat melakukan analisis pada topik permasalahan yang ingin diteliti oleh peneliti

D. Diagram Alur Penelitian



Gambar 2. Diagram alur penelitian



Gambar 2. Diagram alur penelitian (lanjutan)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Impedansi Sumber GI Karang Joang

Daya hubung singkat di bus sisi primer transformator (150 kV) di Gardu Induk Karang Joang adalah sebesar 3195,633 MVA. Maka impedansi sumber (X_s) yang dibangkitkan adalah $7,040 \Omega$, impedansi sumber pada sisi sekunder transformator yaitu pada sisi bus 20kV adalah 0.1251Ω .

B. Impedansi Trafo

Besarnya nilai impedansi pada transformator 1 di Gardu Induk Karang Joang adalah 12,10%, Maka nilai reaktansi transformator urutan positif dan negatif adalah $0,806 \Omega$, transformator yang digunakan untuk mensuplai penyulang J4 dan J5 mempunyai hubungan YNyn0+d yang mana memiliki belitan delta didalamnya, maka besarnya X_{t0} 3 kali dari X_{t1} , jadi nilai reaktansi transformator urutan nol 2,418 Ω .

C. Impedansi Jaringan Distribusi

Dari data yang di peroleh diketahui bahwa penyulang J4 dan J5 menggunakan penghantar jenis AAAC dengan ukuran 150mm^2 . Dengan panjang penyulang J4 = 21Km dan penyulang J5 = 50 Km. Dengan asumsi lokasi gangguan berada pada jarak 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, serta 100% panjang penyulang, maka nilai impedansi penyulang J4 dan J5 untuk lokasi gangguan pada jarak 0%, 20%, 40%, 60%, 80%,

serta 100% panjang penyulang ditunjukkan pada [Tabel 1](#) hingga [Tabel 4](#) berikut.

TABEL 1
IMPEDANSI PENYULANG J4 URUTAN POSITIF DAN NEGATIF

Panjang saluran (%)	Impedansi Saluran Z1 & Z2
0%	$0\% \times (4.5402+6.9405i) = 0$
20%	$20\% \times (4.5402+6.9405i) = 0.90804+1.3881i$
40%	$40\% \times (4.5402+6.9405i) = 1.81608+2.7762i$
60%	$60\% \times (4.5402+6.9405i) = 2.72412+4.1643i$
80%	$80\% \times (4.5402+6.9405i) = 3.63216+5.5524i$
100%	$100\% \times (4.5402+6.9405i) = 4.5402+6.9405i$

TABEL 2
IMPEDANSI PENYULANG J5 URUTAN POSITIF DAN NEGATIF

Panjang saluran (%)	Impedansi Saluran Z1 & Z2
0%	$0\% \times (4.5402+6.9405i) = 0$
20%	$20\% \times (4.5402+6.9405i) = 2.162+3.305i$
40%	$40\% \times (4.5402+6.9405i) = 4.324+6.61i$
60%	$60\% \times (4.5402+6.9405i) = 6.486+9.915i$
80%	$80\% \times (4.5402+6.9405i) = 8.648+13.22i$
100%	$100\% \times (4.5402+6.9405i) = 10.81+16.525i$

TABEL 3
IMPEDANSI PENYULANG J4 URUTAN NOL

Panjang saluran (%)	Impedansi Saluran Z0
0%	$0\% \times (7.6251+33.978i) = 0$
20%	$20\% \times (7.6251+33.978i) = 1.52502+6.7956i$
40%	$40\% \times (7.6251+33.978i) = 3.05004+13.5912i$
60%	$60\% \times (7.6251+33.978i) = 4.57506+20.3868i$
80%	$80\% \times (7.6251+33.978i) = 6.10008+27.1824i$
100%	$100\% \times (7.6251+33.978i) = 7.6251+33.978i$

TABEL 4
IMPEDANSI PENYULANG J5 URUTAN NOL

Panjang saluran (%)	Impedansi Saluran Z0
0%	$0\% \times (7.6251+33.978i) = 0$
20%	$20\% \times (7.6251+33.978i) = 3.631+16.18i$
40%	$40\% \times (7.6251+33.978i) = 7.262+32.36i$
60%	$60\% \times (7.6251+33.978i) = 10.893+48.54i$
80%	$80\% \times (7.6251+33.978i) = 14.524+64.72i$
100%	$100\% \times (7.6251+33.978i) = 18.155+80.9i$

D. Impedansi Equivalen Penyulang

Impedansi ekivalen yang akan digunakan dalam analisis ini adalah impedansi ekivalen urutan positif (Z_{1eq}), Impedansi urutan negatif (Z_{2eq}) dan impedansi urutan nol (Z_{0eq}). Masing-masing jenis impedansi ekivalen yang perlu dihitung adalah pada titik 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% panjang penyulang. Hal tersebut tertuang pada [Tabel 5](#) hingga [Tabel 8](#) berikut.

TABEL 5
IMPEDANSI EQUIVALEN Z_1 & Z_2 PENYULANG J4

Panjang saluran (%)	Impedansi Equivalen Z_{1eq} & Z_{2eq}
0%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 0 + 0.9311i$
20%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 0.90804 + 2.3192i$
40%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 1.81608 + 3.7073i$
60%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 2.72412 + 5.0954i$
80%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 3.63216 + 6.4835i$
100%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 4.5402 + 7.8716i$

TABEL 6
IMPEDANSI EQUIVALEN Z_1 & Z_2 PENYULANG J5

Panjang saluran (%)	Impedansi Equivalen Z_{1eq} & Z_{2eq}
0%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 0 + 0.9311i$
20%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 2.162 + 4.2361i$
40%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 4.324 + 7.5411i$
60%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 6.486 + 10.8461i$
80%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 8.648 + 14.1511i$
100%	$0.125i + 0.806i + \% Z_1 \text{ penyulang} = 10.81 + 17.4561i$

TABEL 7
IMPEDANSI EQUIVALEN Z_0 PENYULANG J4

Panjang saluran (%)	Impedansi equivalen Z_{0eq}
0%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 90 + 2.4181i$
20%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 91.52502 + 9.2137i$

40%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 93.05004 + 16.0093i$
60%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 94.57506 + 22.8049i$
80%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 96.10008 + 29.6005i$
100%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 97.6251 + 36.3961i$

TABEL 8
IMPEDANSI EQUIVALEN Z_0 PENYULANG J4

Panjang saluran	Impedansi equivalen Z_{0eq}
0%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 90 + 2.4181i$
20%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 93.631 + 18.5981i$
40%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 97.262 + 34.7781i$
60%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 100.893 + 50.9581i$
80%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 104.524 + 67.1381i$
100%	$2.418i + 3 \times 30 + \% Z_1 \text{ penyulang} = 108.155 + 83.3181i$

E. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus gangguan hubung singkat sendiri dapat dihitung menggunakan hukum ohm, hanya saja nilai impedansi equivalen mana yang muncul pada gangguan tersebut tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya. Jenis gangguan hubung singkat tersebut adalah gangguan hubung singkat 3 *Phase*, gangguan hubung singkat 2 *Phase*, serta gangguan hubung singkat 1 *Phase* ke tanah. Hasil perhitungan arus hubung singkat penyulang J4 dan J5 dapat dilihat pada [Tabel 9](#) dan [Tabel 10](#).

TABEL 9
HASIL PERHITUNGAN ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PENYULANG J4

Panjang penyulang (%)	Jarak (Km)	Arus Hubung Singkat (A)		
		3 phase	2 phase	1 phase
0	0	12401.466	6200.73321	384.4656
20	4.2	4636.183	2318.091614	367.1024
40	8.4	2797.089	1398.544504	348.2234
60	12.6	1998.484	999.2418989	328.8961
80	16.8	1553.776	776.8878062	309.8858
100	21	1270.702	635.3510614	291.6827

TABEL 10
HASIL PERHITUNGAN ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PENYULANG J4

Panjang penyulang (%)	Jarak (Km)	Arus Hubung Singkat (A)		
		3 phase	2 phase	1 phase
0	0	12401.466	6200.733	384.466
20	10	2427.922	1213.961	340.865
40	20	1328.338	664.169	295.926
60	30	913.711	456.855	256.471
0	40	696.258	348.129	223.845
100	50	562.385	281.193	197.322

F. Perhitungan Setting OCR dan GFR

Diketahui pada penyulang J4 dan J5 Gardu Induk Karang Joang transformator arus yang terpasang mempunyai rasio 300:5 ampere. Dengan demikian dapat dilakukan perhitungan *pick up level* serta *time multiple setting*. Pada [Tabel 11](#) dan [Tabel 12](#) ditunjukkan hasil *setting* dari OCR dan GFR pada penyulang J4 dan J5, terlihat bahwa penyulang J4 dengan total beban 5.1 MW dan panjang saluran sepanjang 21Km menghasilkan setelan arus OCR untuk sisi penyulang sebesar 181.865 A dan TMS 0.188 detik, pada sisi *incoming* setelan arusnya sebesar 1818.652 A dan TMS 0.195 detik. Sedangkan untuk penyulang J5 dengan total beban hampir 2 kali lebih banyak dari penyulang J4 yakni sebesar 9MW dengan panjang

saluran 50 Km menghasilkan setelan arus OCR pada sisi penyulang sebesar 320.938 A dan TMS sebesar 0.162 detik. Namun untuk setelan arus dan TMS penyulang J5 sisi *incoming* sama besar dengan penyulang J4 hal ini dikarenakan penyulang J4 dan J5 menggunakan transformator induk yang sama yakni transformator 1, sehingga arus nominal disisi *incoming* keduanya sama besar.

TABEL 11
HASIL PENYETELAN OCR DAN GFR PENYULANG J4

Jenis Rele	Lokasi Rele	Iset (primer) (A)	TMS	Waktu (detik)	Grading Time/ selisih waktu
Rele Arus lebih	<i>Incoming</i>	1818.652	0.195	0.6998	0.4007
	Penyulang	181.865	0.188	0.2991	
Rele Gangguan Tanah	<i>Incoming</i>	58.3365	0.1921	0.6997	0.3998
	Penyulang	29.1682	0.1134	0.2999	

TABEL 12
HASIL PENYETELAN OCR DAN GFR PENYULANG J5

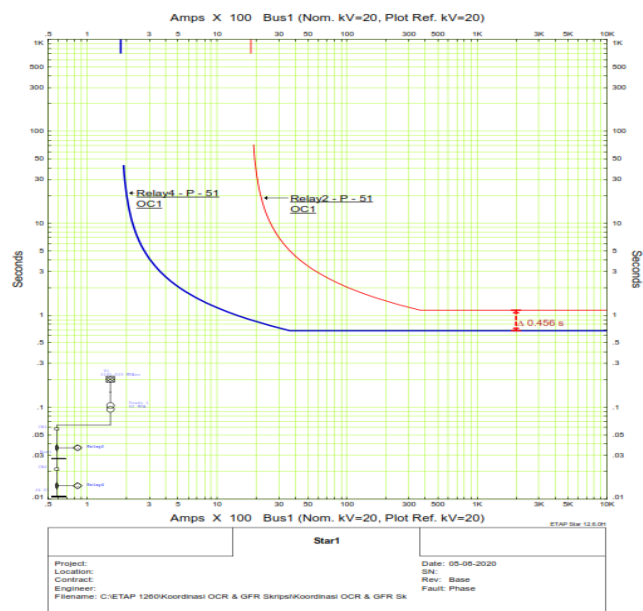
Jenis Rele	Lokasi Rele	Iset (primer) (A)	TMS	Waktu (detik)	Grading Time/ selisih waktu
Rele Arus lebih	<i>Incoming</i>	1818.652	0.195	0.6974	0.3983
	Penyulang	320.938	0.162	0.2991	
Rele Gangguan Tanah	<i>Incoming</i>	39.4644	0.2329	0.6999	0.4
	Penyulang	19.7322	0.1311	0.2999	

Untuk setelan GFR pada penyulang J4 sisi *incoming* memiliki setelan arus sebesar 58.336 A dan TMS sebesar 0.192 detik untuk sisi penyulang setelan arus sebesar 20.168 A dan TMS sebesar 0.113 detik, sedangkan untuk penyulang J5 setelan arus sisi *incoming* sebesar 39.364 A dan TMS sebesar 0.232 detik dan untuk sisi penyulang setelan arus sebesar 19.732 A dan TMS sebesar 0.131 detik.

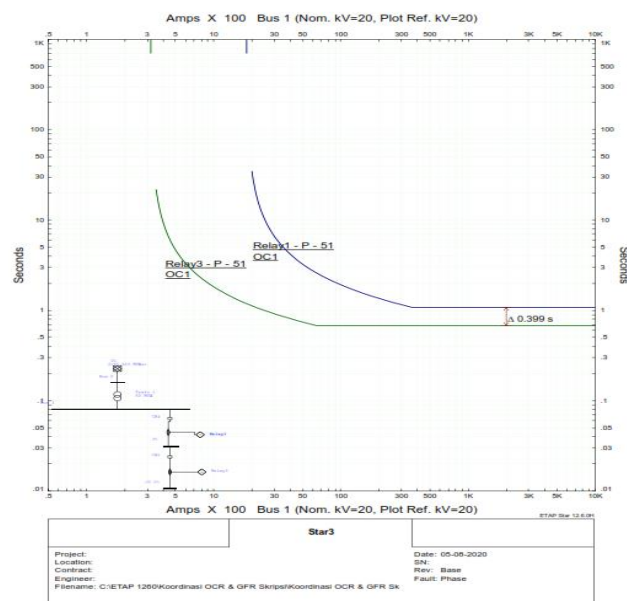
GFR pada penyulang J5 jika dilihat dari setelan arusnya maka dapat dikatakan bahwa GFR tersebut lebih sensitif daripada GFR pada penyulang J4, hal ini dikarenakan pada penyulang J5 memiliki arus hubung singkat minimum yang lebih kecil yakni sebesar 197.322 A dibandingkan dengan penyulang J4 yang lebih besar yakni sebesar 291.69 A, karena sesuai dengan fungsi GFR yakni rele gangguan tanah harus mampu merespon terhadap gangguan tanah terkecil.

G. Koordinasi OCR dan GFR

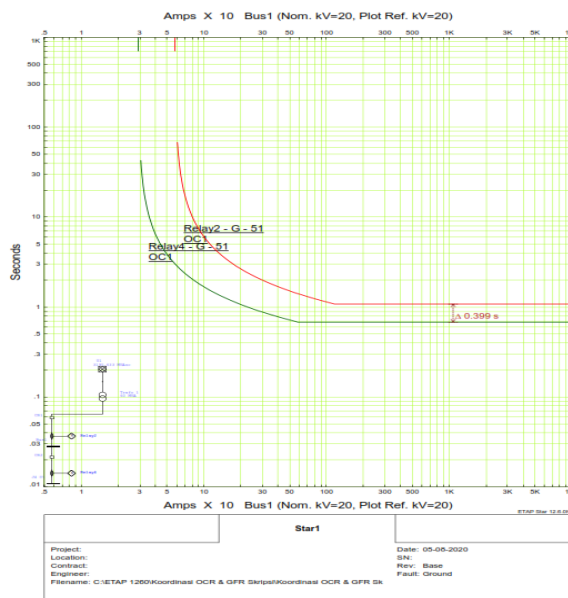
Setelah melakukan perhitungan setelan rele arus lebih dan rele gangguan tanah, tahap selanjutnya yakni menganalisis kinerja koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan tanah pada tiap penyulang. Koordinasi akan dilakukan menggunakan software ETAP 12.6.



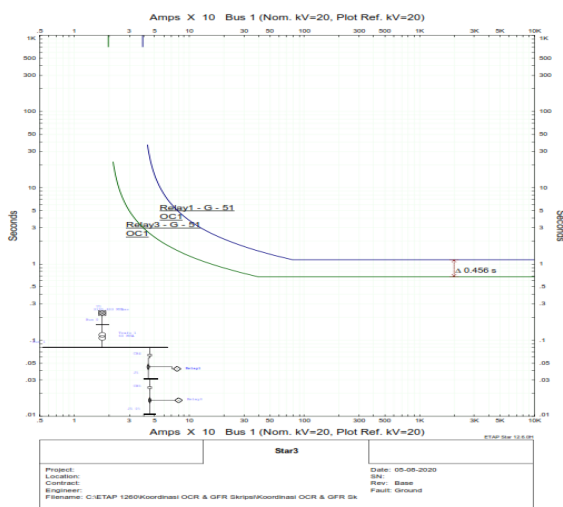
Gambar 3 Plot koordinasi OCR berdasar perhitungan di penyulang J4



Gambar 4 Plot koordinasi OCR berdasar perhitungan di penyulang J5



Gambar 5 Plot koordinasi GFR berdasar perhitungan di penyulang J4



Gambar 6 Plot koordinasi GFR berdasar perhitungan di penyulang J5

Pada [Gambar 5](#) terlihat kurva koordinasi rele arus lebih di penyulang J4 menunjukkan *grading time* atau selisih waktu kerja antara rele sisi *incoming* dan rele sisi penyulang sebesar 0.456 detik. Hasil ini sedikit berbeda dari hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya di mana didapatkan hasil *grading time* sebesar 0.4007 detik. Perbedaan ini diperoleh karena jumlah digit angka yang digunakan dalam penyetelan rele pada ETAP tidak sama dengan jumlah digit angka yang di hasilkan dari perhitungan. Namun hasil koordinasi rele arus lebih pada penyulang J4 dapat dikatakan sesuai dengan IEEE std 242-1986, di mana selisih waktu koordinasi dapat dicapai dengan ideal bila *grading time* kedua rele tidak kurang dari 0.3 – 0.4 detik. Sedangkan pada kurva koordinasi rele arus lebih di penyulang J5 yang ditampilkan oleh [Gambar 6](#), diperoleh *grading time* sebesar 0.399 detik. Hal ini dapat dikatakan sama dengan hasil perhitungan di mana *grading time* menunjukkan nilai sebesar 0.3983 detik. Koordinasi tersebut dapat dikatakan ideal karena *grading time* yang terbentuk tidak kurang dari 0.3 – 0.4 detik.

Selanjutnya, pada [Gambar 5](#) terlihat kurva koordinasi rele gangguan tanah pada penyulang J4 menunjukkan *grading time* atau selisih waktu kerja antara rele sisi *incoming* dan rele sisi penyulang sebesar 0.399 detik. Hasil ini sama dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan, di mana didapatkan *grading time* sebesar 0.3997 detik. Hasil koordinasi rele arus lebih pada penyulang J4 dapat dikatakan sesuai dengan IEEE std 242-1986 [6], di mana selisih waktu koordinasi dapat dicapai dengan ideal bila *grading time* kedua rele tidak kurang dari 0.3 – 0.4 detik. Sementara itu, pada kurva koordinasi rele arus lebih pada penyulang J5, yang ditunjukkan [Gambar 6](#), diperoleh *grading time* sebesar 0.456 detik. Hal ini sedikit berbeda dengan hasil perhitungan *grading time* yang menunjukkan nilai sebesar 0.4 detik. Namun koordinasi tersebut dapat dikatakan ideal karena *grading time* yang terbentuk tidak kurang dari 0.3 – 0.4 detik.

V. KESIMPULAN

Koordinasi OCR pada penyulang J4 antara rele sisi *incoming* dengan sisi penyulang pada perhitungan menghasilkan *grading time* sebesar 0.4007 detik, sedangkan untuk GFR menghasilkan *grading time* sebesar 0.3998. Kedua hasil *grading time* tersebut dapat dikatakan ideal karena berdasarkan IEEE std 242-1986 batas waktu operasi rele *inverse* adalah 0.3 – 0.4 detik.

Koordinasi OCR pada penyulang J5 antara rele sisi *incoming* dengan sisi penyulang pada perhitungan menghasilkan *grading time* sebesar 0.3983 detik, sedangkan untuk GFR menghasilkan *grading time* sebesar 0.4. Kedua hasil *grading time* tersebut dapat dikatakan ideal karena berdasarkan IEEE std 242-1986 batas waktu operasi rele *inverse* adalah 0.3 – 0.4 detik.

VI. REFERENSI

- [1] P. M. Anderson, *Power System Protection*. New Jersey: Wiley - IEEE Press, 1999.
- [2] T. Gönen, *Electric Power Distribution Engineering*, 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [3] C. R. Mason, *The Art & Science of Protective Relaying*, GE Grid Solutions LLC, 2024.
- [4] L. Hewitson, M. Brown, dan B. Ramesh, *Practical Power Systems Protection*, Burlington: Newnes-Elsevier, 2004.
- [5] *Protection Application Handbook*, 6th ed., Vasteras, Sweden: ABB BU Transmission Systems and Substations
- [6] IEEE 242-1986: *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*, IEEE Industry Application Society, vol., no., pp.1-592, 9 Sept. 1986. DOI: 10.1109/IEEESTD.1986.81071.