

KAJIAN RELE JARAK DAN ARUS LEBIH PADA SADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI GARDU INDUK 150kV SRONDOL

Zalmahdi Syamsudin¹, Isworo Pujotomo², Fahmi Dinar Ramadhan³

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik - PLN

¹zalmahdi.syamsudin@sttpln.ac.id

²isworop@yahoo.com

³fahmidinar.ramadhan@gmail.com

Abstract : Power transmission lines play an important role in the distribution of electricity from power to consumers, therefore required effective and reliable protection equipment to maintain the continuity of the provision of electric power. The relays used on the transmission line are Release Relay, Over Current Relay (OCR) and Ground Fault Relay (GFR). Bay 150 kV Spondol - Krpyak is the conductor that will be calculated proteksinya settings The analysis results show that in the high-voltage air channel GI 150 kV Spondol Rele distance as the main safeguard that protects high-voltage air channel Spondol - krpyak with setting (zones and time) with $Z1 = 1.764853120 \Omega$ with $T1 = 0$ s (instant), $Z2 = 2.578424893 \Omega$ with $T2 = 0.4$ s and $Z3 = 4,905991928 \Omega$ with $T3 = 1.6$ s. Overcurrent relay and ground disturbance as reserve safeguard protecting high-voltage air duct Spondol - Krpyak with setting Over current Rele = TMS 0.48 with working time of 1 s, ground noise Rele = TMS 0.63 with 1 s working time. Coordinate the time between the releases of distance as the main safeguard and overcurrent relay, the soil disturbance release as a backup safeguard is appropriate.

Keywords: Distance Relay, Over Current Relay (OCR), Ground Fault Relay (GFR), Coordinate Releases

Abstrak : Saluran transmisi tenaga listrik sangat berperan penting dalam penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen, oleh karena itu diperlukan peralatan proteksi yang efektif dan handal untuk menjaga keberlangsungan penyediaan daya listrik. Rele yang dipakai pada saluran transmisi adalah rele jarak (Distance Relay), rele arus lebih (Over Current Relay/OCR) dan rele gangguan tanah (Ground Fault Relay/GFR). Bay 150 kV Spondol – Krpyak adalah penghantar yang akan dihitung setelan proteksinya Hasil analisis menunjukkan bahwa pada saluran udara tegangan tinggi GI 150 kV Spondol Rele jarak sebagai pengaman utama yang memproteksi saluran udara tegangan tinggi Spondol – krpyak dengan setting (zona dan waktu) dengan $Z1 = 1,764853120 \Omega$ dengan $T1 = 0$ s (instant), $Z2 = 2,578424893 \Omega$ dengan $T2 = 0,4$ s dan $Z3 = 4,905991928 \Omega$ dengan $T3 = 1,6$ s. Rele arus lebih dan gangguan tanah sebagai pengaman cadangan yang memproteksi saluran udara tegangan tinggi Spondol – Krpyak dengan setting Rele arus lebih=TMS 0,48 dengan waktu kerja 1 s, Rele gangguan tanah=TMS 0,63 dengan waktu kerja 1 s. Koordinasi waktu antara rele jarak sebagai pengaman utama dan rele arus lebih, rele gangguan tanah sebagai pengaman cadangan sudah tepat

Kata Kunci : Rele jarak , Rele arus lebih (Over Current Relay/OCR), Rele gangguan tanah (Ground Fault Relay/GFR), Koordinasi rele

1. PENDAHULUAN

Dalam kelangsungan pemenuhan kebutuhan tenaga listrik saluran transmisi tenaga listrik berperan penting dalam penyaluran daya listrik dari suatu pembangkit tenaga listrik sampai ke

konsumen, namun dalam penyaluran daya listrik tersebut masih banyak muncul kendala / gangguan yang terjadi. Banyak faktor yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan sistem tenaga listrik diantaranya pada saluran transmisi baik itu pada Saluran Udara Tegangan Tinggi

(SUTT) maupun Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), baik gangguan tiga fasa, antar fasa maupun gangguan fasa ke tanah. Penyebabnya bermacam-macam antara lain kelebihan beban, jaringan yang terganggu, dan lain-lain, untuk meminimalisir area gangguan dan mengamankan peralatan listrik maka perlu dipasang peralatan proteksi yang cocok untuk mengatasi gangguan yang muncul. Sistem proteksi bertujuan untuk mengurangi terjadinya gangguan serta mengurangi akibat dari gangguan tersebut. Sistem proteksi yang digunakan haruslah mampu melindungi sistem transmisi baik SUTET maupun SUTT secara optimal, handal serta memiliki sensitifitas tinggi.

Gardu Induk (GI) 150 kV Spondol dimana pada gardu induk tersebut menerima aliran listrik dari GI Pandean Lamper kemudian mengalirkannya kembali ke GI Kranyak Lamper melalui SUTT. Peralatan proteksi, dalam hal ini rele pengaman yang digunakan adalah rele jarak sebagai pengaman utama, sedangkan rele arus lebih (OCR/*Over Current Relay*) dan rele gangguan tanah (GFR/*Ground Fault Relay*) berfungsi sebagai rele cadangan. Prinsip kerja rele jarak adalah mendeteksi impedansi saluran yang terjadi gangguan di sepanjang jalur transmisi, sehingga diketahui zona titik gangguan. Sedangkan OCR dan GFR adalah mendeteksi kelebihan arus akibat beban lebih atau terjadi hubung singkat tiga fasa maupun satu fasa, jika salah satu rele tersebut bekerja maka akan memerintahkan PMT untuk membuka sehingga gangguan dapat dilokalisasi. Maka dari itu untuk menjamin saluran transmisi benar-benar terproteksi oleh rele maka diperlukan *setting* dan koordinasi yang tepat dan akurat pada masing-masing rele yang digunakan sehingga dapat mengatasi gangguan yang terjadi pada daerah yang diamankan oleh rele. Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi koordinasi rele jarak, rele arus lebih dan rele gangguan tanah pada sistem proteksi SUTT GI 150kV Spondol.

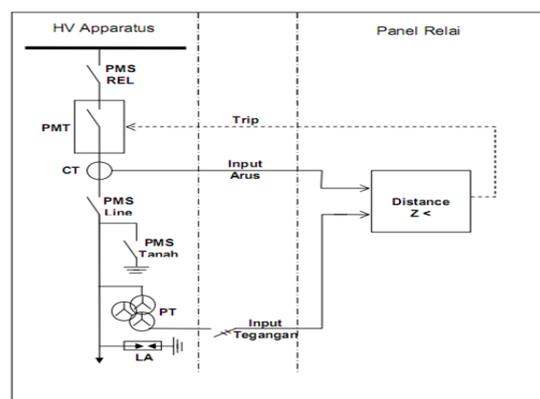
2. LANDASAN TEORI

2.1 Rele Jarak

Pada proteksi saluran udara tegangan tinggi, rele jarak digunakan sebagai pengaman utama sekaligus sebagai pengaman cadangan untuk saluran transmisi yang berdekatan. Hal ini didasarkan bahwa impedansi saluran transmisi berbanding lurus dengan jaraknya sehingga memungkinkan dilakukan pengukuran impedansi berdasarkan panjang salurannya.

Rele jarak mengukur tegangan pada titik rele dan arus gangguan yang terlihat dari rele, dengan membagi besaran dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan. Perhitungan impedansi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1 berikut :

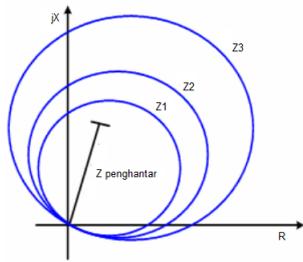
$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \quad (2.1)$$



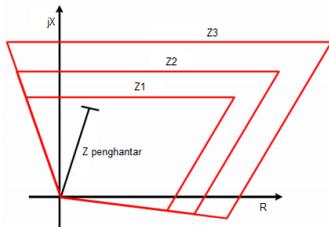
Gambar 2.1. Blok diagram rele jarak

Gambar 2.1 merupakan blok diagram rele jarak, dimana rele jarak bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan impedansi *setting*, dengan ketentuan Bila harga impedansi gangguan lebih kecil dari impedansi *setting* rele maka rele akan bekerja. Bila harga impedansi gangguan lebih besar daripada impedansi *setting* rele maka rele tidak akan bekerja.

Rele jarak memiliki beberapa karakteristik kerja, diantaranya adalah *mho* seperti yang ditunjukkan gambar 2.2 dan *quadriateral* seperti yang ditunjukkan gambar 2.3.



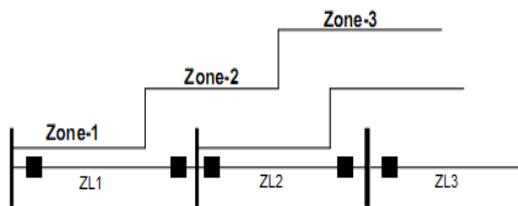
Gambar 2.2. Karakteristik kerja mho



Gambar 2.3. Karakteristik kerja quadrilateral

2.2 Zona Proteksi Rele Jarak

Rele jarak dapat digunakan sebagai proteksi utama maupun sebagai proteksi cadangan jauh (*remote backup protection*) untuk saluran transmisi yang berdekatan. Daerah kerja rele jarak pada umumnya dibagi menjadi tiga zona yang dikoordinasikan dengan zona proteksi saluran transmisi seksi berikutnya agar tidak terjadi kondisi *overlapping*. Dasar pemilihan zona pengamanan rele jarak yang diaplikasikan seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.4 berikut ini :



Gambar 2.4. Daerah pengamanan rele jarak

Dari gambar 2.4 diatas, maka persamaan zon-1 dan 2 ditentukan melalui persamaan 2.2, 2.3 dan 2.4 berikut :

$$Zone - 1 = 0.8 \times Z_{L1} \quad (2.2)$$

maka didapat penyetelan minimum dan maksimum untuk *zone-2* adalah :

$$Zone-2_{min} = 1.2 \times Z_{L1} \quad (2.3)$$

$$Zone-2_{max} = 0,8 \times (Z_{L1} + 0,8 \times Z_{L2} \times k) \quad (2.4)$$

$$Z_{TR} = 0.8 \times (Z_{L1} + K \times Z_{TR}) \quad (2.5)$$

Penyetelan zona tiga adalah :

$$Zone - 3_{min} = 1.2 \times (Z_{L1} + Z_{L3}) \quad (2.6)$$

$$Zone - 3_{max} = 0,8 \times (Z_{L1} + k \times Z_{L3}) \quad (2.7)$$

Untuk pemilihan *zone-3* dipilih nilai terbesar antara *Zone-3min* dan *Zone-3max*. jika pada gardu induk didepannya terdapat trafo daya, maka jangkauan *zone-3* sebaiknya tidak melebihi impedansi trafo. Jika terjadi kondisi *overlapping* dengan zona tiga seksi berikutnya maka waktu tunda zona tiga dapat dikoordinasikan waktunya dengan waktu tunda zone tiga seksi berikutnya.

$$Z_{TR} = 0.8 \times (Z_{L1} + K \times Z_{TR}) \quad (2.8)$$

Penggunaan *zone-3 reverse* sebenarnya sudah mulai ditinggalkan pada penerapan *setting* rele-rele baru. Hal ini karena pola *blocking* yang menggunakan *zone-3 reverse* sebagai pengirim *carrier* amat tergantung dengan keandalan teleproteksi.

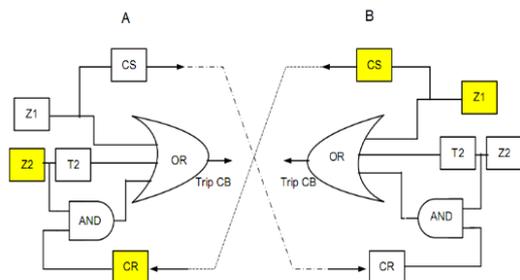
Untuk *setting zone-3 reverse* adalah :

$$Z_{3rev} = 0.1 \times Z_{L1} \quad (2.9)$$

Rele jarak yang tidak mempunyai range sampai 10% Z_{L1} maka digunakan *setting* minimum. Waktu kerja *zone-3 reverse* adalah 1.8 detik.

2.3 Rele Arus Lebih (OCR) dan Rele Gangguan Tanah (GFR)

Pada saluran tegangan tinggi maupun selain menggunakan rele jarak sebagai pengamanan utama juga menggunakan rele arus lebih (OCR/*Over Current Relay*) dan rele gangguan tanah (GFR/*Ground Fault Relay*) sebagai pengamanan cadangan. Kedua jenis rele tersebut adalah rele yang peka terhadap arus lebih, ia akan bekerja apabila arus yang mengalir (I_f) melebihi arus settingnya (I_{sett}).



Gambar 2.5 Pengawatan OCR dan GFR pada saluran transmisi

Karakteristik rele arus lebih waktu terbalik (*inverse definite minimum time* (IDMT)) dan rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*) berdasarkan BS 142 / IEC 255-3 :

$$t = TMS \times \left[\frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^a - 1} \right] + c \quad (2.10)$$

Tabel 2.1 Karakteristik waktu rele arus lebih BS 142 dan IEC 255-3

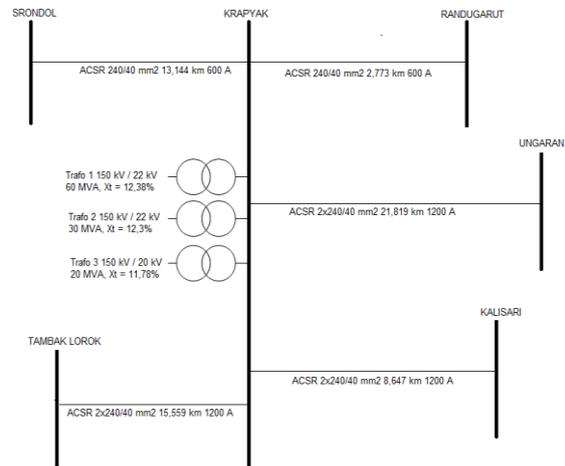
Deskripsi	k	c	a
Definite time	0	0-100	1
Standar Inverse	0.14	0	0.02
Very inverse	13.5	0	1
Extremely inverse	80	0	2
Long time inverse	120	0	1
Moderately inverse	0.103	0.228	0.02

3. METODE PENELITIAN

Bay 150 kV Srdondol-Krappyak adalah penghantar yang akan dihitung setelah proteksinya berikut ini adalah data-data yang diperlukan untuk menghitung setelah rele proteksi baik sebagai pengaman utama maupun pengaman cadangan pada saluran tegangan tinggi.

- Data peralatan
 - Spesifikasi teknis rele proteksi
 - Rasio trafo arus (CT) dan trafo tegangan (PT)
 - Impedansi, rasio dan kapasitas trafo daya
 - Impedansi penghantar atau saluran transmisi
- Konfigurasi Sistem Tenaga Listrik
Konfigurasi sistem tenaga listrik yang digunakan untuk koordinasi setelah rele proteksi pada saluran udara tegangan tinggi adalah berdasarkan konfigurasi sistem 150 kV PLN P3B JB wilayah Semarang.
- Arus hubung singkat
Perhitungan arus hubung singkat koordinasi setelah rele arus lebih (OCR) dan rele gangguan tanah pada saluran transmisi berdasarkan data perhitungan arus hubung singkat GI/GITET P3B Jawa Bali semester-1 wilayah Semarang. Pada perhitungan setelah rele proteksi dipilih *max short-circuit current*. Arus hubung singkat maksimum adalah kondisi pada saat komposisi unit pembangkit yang masuk/sinkron ke sistem Jawa – Bali terbanyak. Asumsi yang digunakan dalam perhitungan ini adalah :

- Short circuit duration* :
 - Breaker time* : 0.1 detik
 - Fault clearing time* : 1 detik
- Gangguan hubung singkat disimulasikan pada saluran udara tegangan tinggi yang menghubungkan GI Srdondol dengan GI Krappyak.



Gambar 3.1. Konfigurasi jaringan Srdondol – Krappyak

Untuk menunjang penelitian ini, maka data impedansi saluran udara tegangan tinggi dan panjang salurannya yang digunakan untuk perhitungan setelah proteksi rele jarak adalah berdasarkan data yang didapat dari PLN P3B JB wilayah Semarang. Data saluran udara tegangan tinggi yang digunakan untuk setelah rele proteksi pada GI Srdondol – GI Krappyak adalah sebagai berikut :

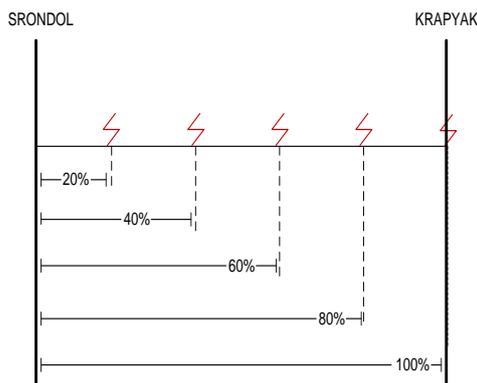
Tabel 3.1 Data Impedansi SUTT 150 kV

SUTT 150 KV	Tipe Konduktor	Kapasitas Arus (CCC)	Panjang Saluran (L)	Impedansi Saluran (Z) per km
Srdondol – Krappyak 1,2	ACSR 240/40 mm ²	600 A	13,144 km	0.1370 +j0.3966
Krappyak – Randugarut	ACSR 240/40 mm ²	600 A	2,773 km	0.1370 +j0.3966
Krappyak – Ungaran	ACSR 2 x 240/40 mm ²	1200 A	21,819 km	0.0685 + j0,2045
Krappyak – Kalisari	ACSR 2 x 240/40 mm ²	1200 A	8,281 km	0.0685 + j0,2045
Krappyak – Tambak Lorok	ACSR 2 x 240/40 mm ²	1200 A	15,599 km	0.0685 + j0,2045

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4.1 berikut menunjukkan perhitungan arus hubung singkat transmisi Spondol-Krapyak berdasarkan letak gangguannya (% panjang saluran). Dimana perhitungan impedansi berasal dari perkalian antara panjang saluran dengan impedansi penghantar (penghantar Spondol-Krapyak ACSR 240/40 mm² dengan :

$Z1 = Z2 = 0,1370 + j0,3966 \Omega/\text{km}$ dan $Z0 = 0,2870 + j1,1898 \Omega/\text{km}$.



Gambar 4.1 Letak gangguan pada saluran transmisi Spondol - Krapyak

Adapun hasil perhitungan impedansi saluran transmisi Spondol-Krapyak disajikan dalam tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Impedansi Saluran Transmisi Spondol – Krapyak

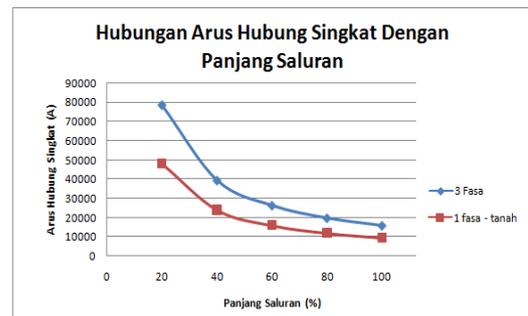
Panjang Saluran	Impedansi Urutan Positif $Z1 (\Omega)$	Impedansi Urutan Negatif $Z2 (\Omega)$	Impedansi Urutan Nol $Z0 (\Omega)$
20% (2,6288 km)	$0,3601456 + j1,04258208$	$0,3601456 + j1,04258208$	$0,7544656 + j3,12774624$
40% (5,2576 km)	$0,7202912 + j2,08516416$	$0,7202912 + j2,08516416$	$1,5089312 + j6,25549248$
60% (7,8864 km)	$1,0804368 + j3,12774624$	$1,0804368 + j3,12774624$	$2,2633968 + j9,38323872$
80% (10,5153 km)	$1,4405961 + j4,17036798$	$1,4405961 + j4,17036798$	$3,0178911 + j12,51110394$
100% (13,144 km)	$1,800728 + j5,2129104$	$1,800728 + j5,2129104$	$3,772328 + j15,6387312$

Arus gangguan hubung singkat 3 Fasa dan 1 Fasa ke tanah Spondol-Krapyak dengan letak gangguan dalam % panjang saluran disajikan dalam tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah Spondol – Krapyak

Letak gangguan (% Panjang Saluran)	Arus Hubung Singkat (A)	
	3 Fasa	1 Fasa - Tanah
20% (2,6288 km)	78513,08569	47957,0763
40% (5,2576 km)	39256,54284	23978,53815
60% (7,8864 km)	26171,0283	15985,6921
80% (10,5153 km)	19628,08476	11989,15506
100% (13,144 km)	15702,61714	9591,357425

Hubungan Gangguan Hubung Singkat dengan Panjang Saluran



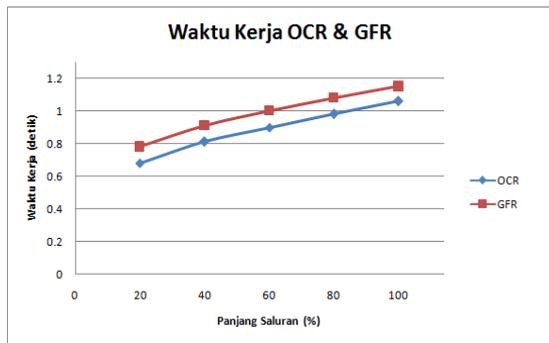
Gambar 4.2. Hubungan Arus Hubung Singkat Dengan Panjang Saluran

Dari gambar 4.2 dapat disimpulkan semakin jauh letak gangguan (berdasarkan % panjang saluran) maka arus hubung singkat semakin kecil karena impedansinya semakin besar. Kemudian nilai arus hubung singkat satu fasa - tanah lebih kecil daripada nilai arus hubung singkat tiga fasa karena untuk arus hubung singkat satu fasa – tanah melalui tahanan gangguan yang cukup tinggi.

Berdasarkan nilai arus hubung singkat yang telah diketahui untuk setiap letak gangguannya (% panjang saluran) maka waktu kerja OCR dan GFR dapat diketahui pula untuk setiap letak gangguannya dan dengan TMS yang telah dihitung sebelumnya, seperti terlihat pada tabel 4.4 berikut :

Tabel 4.4. Waktu Kerja OCR dan GFR

Lokasi Gangguan (% Panjang Saluran)	Waktu Kerja OCR (detik)	Waktu Kerja GFR (detik)
20	0,68	0,78
40	0,81	0,91
60	0,90	1
80	0,98	1,08
100	1,06	1,15



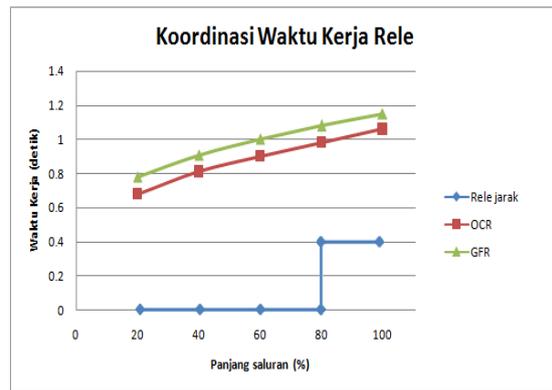
Gambar 4.3. Hubungan waktu kerja OCR & GFR dengan letak gangguan

Berdasarkan gambar 4.3 dapat dilihat bahwa semakin jauh letak lokasi gangguan maka waktu kerja rele semakin besar karena nilai arus hubung singkat yang terjadi semakin kecil. Kemudian koordinasi antara OCR dan GFR terlihat dari jenis gangguan hubung singkat yang terjadi. Pada gangguan hubung singkat tiga fasa yang bekerja sebagai pengaman cadangan adalah rele OCR, sedangkan GFR tidak bekerja karena pada gangguan tersebut pada kawat netral tidak dialiri arus gangguan. Sedangkan pada gangguan hubung singkat satu fasa - tanah dimana arus gangguan mengalir pada kawat fasa maupun kawat netral sehingga kedua rele (OCR dan GFR) bisa mendeteksi adanya gangguan, namun yang bekerja lebih dahulu adalah GFR karena mempunyai nilai arus setting yang lebih kecil daripada arus *setting* OCR.

Koordinasi waktu rele dengan membandingkan waktu kerja rele jarak sebagai pengaman utama dan waktu kerja OCR dan GFR sebagai pengaman cadangan pada GI 150 kV Spondol yang memproteksi saluran transmisi Spondol – Krapyak adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5. Waktu Kerja Rele Jarak OCR dan GFR

Lokasi Gangguan (% Panjang Saluran)	Waktu Kerja Rele Jarak (detik)	Waktu Kerja OCR (detik)	Waktu Kerja GFR (detik)
20	0	0,68	0,78
40	0	0,81	0,91
60	0	0,90	1
80	0,4	0,98	1,08
100	0,4	1,06	1,15



Gambar 4.4 Grafik Koordinasi waktu rele jarak OCR dan GFR

Dari gambar 4.4. diatas disimpulkan bahwa koordinasi rele jarak sebagai proteksi utama dan OCR atau GFR sebagai proteksi cadangan sudah tepat karena grafik waktu kerja rele pengaman utama dan waktu kerja rele pengaman cadangan tidak berpotongan. Rele jarak sebagai pengaman utama memiliki waktu kerja lebih cepat atau lebih kecil daripada waktu kerja OCR dan GFR. Jika rele jarak sebagai pengaman utama gagal bekerja ketika terjadi gangguan (tiga fasa atau satu fasa-tanah) maka rele pengaman cadangan akan bekerja untuk mengatasi gangguan yang terjadi, OCR untuk mengatasi gangguan tiga fasa dan GFR untuk mengatasi gangguan satu-fasa tanah.

Berdasarkan analisis diatas dan koordinasi rele jarak, rele arus lebih dan rele gangguan tanah pada saluran udara tegangan tinggi GI 150 kV Spondol Rele jarak sebagai pengaman utama yang memproteksi saluran udara tegangan tinggi Spondol – krapyak dengan setting (zona dan waktu) dengan $Z1 = 1,764853120 \Omega$ dengan $T1 = 0$ s (instant), $Z2 = 2,578424893 \Omega$ dengan $T2 = 0,4$ s dan $Z3 = 4,905991928 \Omega$ dengan $T3 = 1,6$ s.

Rele arus lebih dan gangguan tanah sebagai pengaman cadangan yang memproteksi saluran udara tegangan tinggi Spondol – Krapyak dengan setting Rele arus lebih= TMS 0,48 dengan waktu kerja 1 s, Rele gangguan tanah = TMS 0,63 dengan waktu kerja 1 s. Koordinasi waktu antara rele jarak sebagai pengaman utama dan rele arus lebih, rele gangguan

tanah sebagai pengaman cadangan sudah tepat karena grafik waktu kerja masing-masing rele tidak saling berpotongan, dan ketika terjadi gangguan pengaman utama dahulu yang bekerja kemudian pengaman cadangan akan bekerja jika pengaman utama mengalami gagal kerja.

5. KESIMPULAN

1. Rele jarak sebagai pengaman utama yang memproteksi saluran udara tegangan tinggi Sronдол – krapyak dengan *setting* (zona dan waktu) sebagai berikut :
 $Z1=1,764853120 \Omega$, $T1= 0s$ (instant)
 $Z2=2,578424893 \Omega$, $T2 = 0,4 s$
 $Z3=4,905991928 \Omega$, $T3 = 1,6 s$
2. Rele arus lebih dan gangguan tanah sebagai pengaman cadangan yang memproteksi saluran udara tegangan tinggi Sronдол – Krapyak dengan setting sebagai berikut :
Rele arus lebih = TMS 0,48 dengan waktu kerja 1 s
Rele gangguan tanah = TMS 0,63 dengan waktu kerja 1 s
3. Koordinasi waktu antara rele jarak sebagai pengaman utama dan rele arus lebih, rele gangguan tanah sebagai pengaman cadangan sudah tepat

6. REFERENSI

1. Alexander, G.E and Andrichak, J.G. Distance Relay Fundamental GE P rotections and controls. General Electric Company
2. Hasan Basri,Ir. (2003) Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Penerbit ISTN, 2003, Jakarta
3. Komari (1996) Sistem Proteksi. PLN jasa pendidikan dan pelatihan, Jakarta
4. Mardensyah, Adrial, (2008) Studi Perencanaan Koordinasi Rele Proteksi Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi gardu Induk Gambir Lama – Pulomas, FTUI,
5. Marsudi, Djiteng.(1990) Operasi Sistem Tenaga Listrik, Jakarta,
6. Sarimun, Wahyudi (2002) Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Garamond, Jakarta