

EVALUASI *SETTING RELAY OCR, GFR DAN RECLOSER* PASCA REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PADA TRAFO 2 GARDU INDUK SRONDOL SEMARANG MENGGUNAKAN ETAP 12.6.0

Isa Abdullah ^{*)}, Juningtyastuti, and Susatyo Handoko

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}*Email : isa.abdullah09@gmail.com*

Abstrak

Sistem tenaga listrik yang terdiri dari komponen utama generator, transformator, dan saluran transmisi-distribusi tidak dapat dihindari bahwa cepat atau lambat sistem tersebut akan mengalami gangguan. Meningkatnya jumlah beban dalam suatu sistem tenaga listrik tentu akan menyebabkan naiknya presentasi terjadinya gangguan. Salah satu bentuk gangguan yang dapat terjadi pada sistem tenaga listrik adalah hubung singkat (*short circuit*), yang menyebabkan lonjakan arus yang disebut arus hubung singkat. Bentuk gangguan arus hubung singkat tersebut yaitu gangguan tiga fase, dua fase, dua fase ke tanah maupun gangguan fase ke tanah. Hasil evaluasi dengan menggunakan program ETAP 12.6.0 didapatkan arus gangguan hubung singkat tertinggi adalah 4190 ampere dan arus gangguan hubung singkat terendah adalah 650 ampere. Waktu kerja peralatan proteksi terendah adalah pada recloser 2 yaitu 0,200 detik, sedangkan waktu kerja maksimum yaitu 6,259 detik pada relay GFR di sisi incoming. Pada simulasi koordinasi, relay proteksi yang bekerja dimulai dari recloser 2, lalu recloser 1 selanjutnya relay outgoing dan relay incoming sebagai back up protection. Koordinasi setting proteksi hasil perbaikan telah sesuai dengan standart IEEE242-1986 dengan grading time 0,2-0,5 detik dan tidak ada kurva koordinasi yang saling memotong dan mendahului.

Kata Kunci : OCR, GFR, Recloser, Evaluasi setting proteksi, grading time , Koordinasi

Abstract

Electric power system consists of main components such as generators, transformers, and transmission-distribution lines is inevitable that sooner or later the system will be impaired. Increasing the amount of load in an electric power system will certainly lead to increased presentation of a faults. Faults that can occur in the power system is a short circuit, which causes the led the surge, called the short-circuit fault current. The short circuit current faults is a three-phase fault, two-phase fault, two-phase to ground fault and single phase to ground fault. The evaluation results using ETAP program 12.6.0 earned the highest short-circuit fault current is 4190 amperes and lowest short circuit fault current is 650 ampere. Lowest operating time of protective equipment is the recloser 2 at 0.200 seconds, while the maximum operation time at 6.259 seconds on GFR in the incoming relay. In the coordination simulation, protection relay work begins on recloser 2, then recloser 1, outgoing relay and incoming relay as a back-up protection. Protection coordination setting has been adjusted based on the IEC 60255 standard by the grading time 0.3-0.5 seconds and there is no coordination curves precede and overlap.

Keywords : OCR, GFR, Recloser, Evaluation of protection setting, grading time, Coordination

1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik yang terdiri dari komponen utama seperti generator, transformator, dan saluran transmisi tidak dapat dihindari bahwa cepat atau lambat sistem tersebut akan mengalami gangguan. Meningkatnya jumlah beban tentu akan menyebabkan

naiknya presentasi terjadinya gangguan. Gangguan yang berbahaya dan umum terjadi pada suatu sistem tenaga listrik adalah hubung singkat (*short circuit*), jenis gangguan ini menyebabkan lonjakan arus yang disebut arus hubung singkat yang melalui suatu sistem dan peralatannya. Bentuk gangguan arus hubung singkat tersebut mencakup gangguan 3 fase, 2 fase, fase-tanah dan 2 fase-tanah.

Sistem distribusi listrik di Rayon Semarang Selatan, Area Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah pada GI (Gardu Induk) Spondol memiliki dua buah Transformator 150/20 kV. Pada tahun 2015 telah dilakukan rekonfigurasi jaringan berupa penambahan penyulang baru pada Trafo 2 Gardu Induk Spondol yaitu penyulang SRL 07 yang bertujuan untuk mengurangi beban yang ditanggung penyulang SRL 06 di Trafo 1 Gardu Induk Spondol [1]. Berdasarkan data pada bulan April 2016 PT.PLN (Persero) penyulang SRL 03, SRL 04, SRL 05 dan SRL 07 yang memiliki jaringan radial dengan jarak distribusi mencapai 3,69 km, 13,615 km, 1,139 km, dan 4,257 km telah menyuplai beban masing-masing sebesar 26%, 79%, 32%, dan 25% dari kapasitas maksimal yang dapat disuplai [2].

Penelitian yang dilakukan oleh Divya S. Nair dan Reshma S. [3] mengemukakan bahwa terdapat dua alasan utama mengapa suatu gangguan pada sistem tenaga listrik perlu dideteksi dengan cepat oleh sistem proteksi. Penelitian yang dilakukan oleh Rize [4] mengemukakan bahwa terdapat beberapa hal penyebab terjadinya gangguan yang menyebabkan kasus *trip* PMT pada suatu sistem jaringan 20 kV yaitu perubahan impedansi saluran, perubahan karakteristik beban, atau kurang tepatnya analisis arus hubung singkat ketika melakukan *setting* proteksi. Penyebab tersebut dapat mempengaruhi keandalan sistem proteksi dalam suatu sistem tenaga listrik.

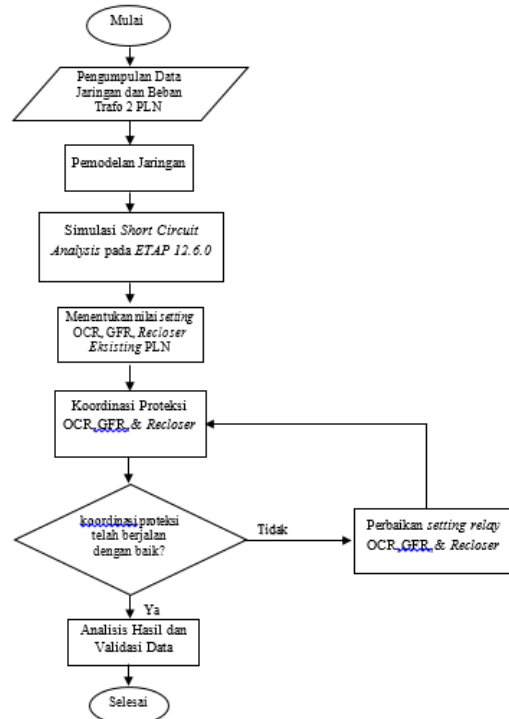
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Thariq [5] menganalisis target indeks keandalan pada penyulang baru SRL 07 dengan memperhatikan SAIDI dan SAIFI sehingga nilai SAIDI dan SAIFI dapat digunakan sebagai acuan kinerja PLN Semarang Selatan untuk mencapai mutu pelayanan yang ditetapkan oleh PT.PLN (Persero). Sejak dilakukannya penambahan penyulang baru PT.PLN (Persero) belum melakukan evaluasi terkait *resetting* yang dilakukan pada tahun 2015.

Pada penelitian ini akan dibahas evaluasi koordinasi *relay* arus lebih (OCR), *relay* hubung tanah (GFR) dan *recloser* pada *relay incoming* dan *relay outgoing* penyulang Trafo 2 berkapasitas 31,5 MVA Gardu Induk Spondol dengan program ETAP 12.6.0. Evaluasi berdasarkan pada analisis gangguan arus hubung singkat yang terdapat pada masing-masing penyulang SRL 03, SRL 04, SRL 05, dan SRL 07 di Gardu Induk Spondol.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

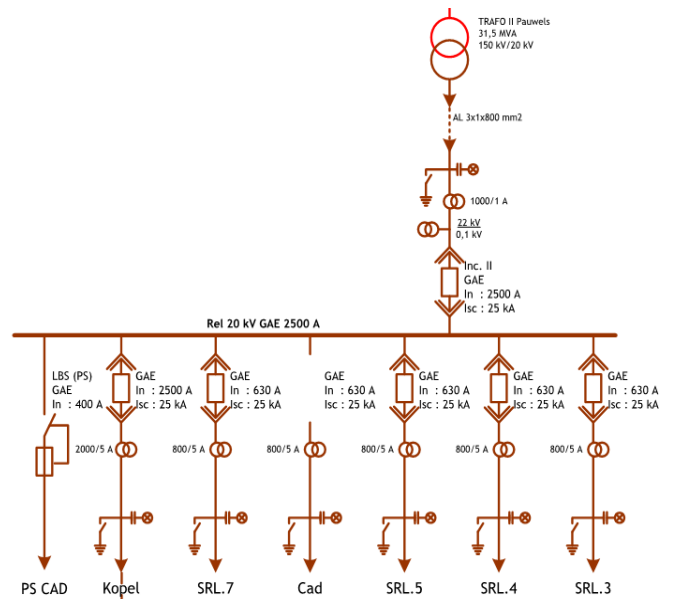
Tugas akhir ini bertujuan untuk mengevaluasi sistem proteksi pada penyulang trafo 2 31,5 MVA Gardu Induk Spondol, penentuan *setting* proteksi berdasarkan besar arus hubung singkat pada tiap penyulang. Penelitian menggunakan program ETAP 12.6.0. Secara umum langkah penelitian yang dilakukan sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah penelitian evaluasi *setting relay*

2.2. Data Sistem

Pada Trafo 31,5 MVA Gardu Induk Spondol Semarang terdapat 4 penyulang yang menyalurkan energi listrik menuju beban di Spondol seperti pada Gambar 2



Gambar 2. Diagram Satu Garis Jaringan Distribusi 20 kV Trafo 31,5 MVA GI Spondol Semarang

Adapun data yang digunakan untuk analisis ini adalah seperti pada Tabel berikut:

Tabel 1. Data Trafo Daya

Data Trafo Tenaga	
Merk	PAUWELS
Daya	31,5 MVA
Arus HS sisi 150	7,99 kA
Tegangan	150 / 22 kV
Impedansi (Z %)	18,21 %
Inominal	826,66 A
Vektor Grup	YNyn0

Tabel 2. Data Relay Arus Lebih Incoming

Data Setting OCR dan GFR Incoming	
merk	AREVA
type	MICOM P122
karakteristik	Standart invers
Rasio CT	1000/1
TMS OCR	0,16
TMS GFR	0,42

Tabel 3. Data Relay Arus Lebih Ongoing feeder

Data Setting OCR dan GFR Feeder				
Penyulang	SRL03	SRL04	SRL05	SRL07
Jarak	3,691	13,615	1,139	4,275
type	GE	GE	GE	GE
	SR350	SR350	SR350	SR350
karakteristik	Standart invers	Standart invers	Standart invers	Standart invers
TMS OCR	0,18	0,18	0,18	0,18
TMS GFR	0,25	0,25	0,25	0,25

Tabel 4. Data Recloser

Data Input Recloser OCR SRL 04		
Recloser	REC 1	REC 2
Jarak Recloser	6,107 km	7,470 km
Karakteristik	IEC –	IEC –
I Setting (A)	Standart 380	Standart 350
TMS	0,08	0,10

Tabel 5. Data Recloser

Data Input Recloser GFR SRL 04		
Recloser	REC 1	REC 2
Jarak Recloser	6,107 km	7,470 km
Karakteristik	IEC –	IEC –
I Setting	120	100
TMS	0,15	0,15

Tabel 6. Data Teknis Kabel AAAC mm²

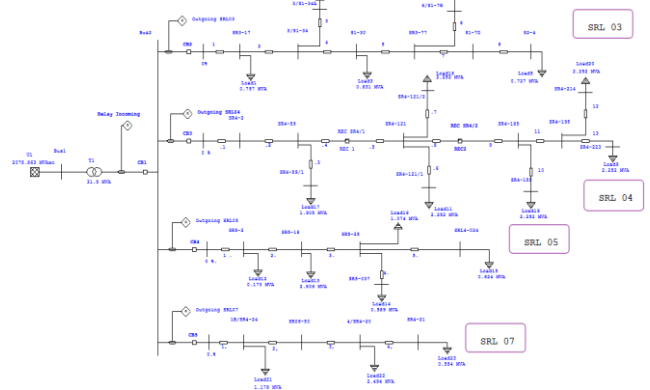
Kabel AAAC	Data per Km (ohm)	
	R	jX
Z1=Z1/Km (240 mm ²)	0,1344	0,3158
Z0/Km (150mm ²)	0,3441	1,618

Tabel 7. Data Beban Puncak Tertinggi Maret 2015^[5]

Feeder	Data beban	
	I (A)	S (MVA)
SRL 03	123	4,26
SRL 04	380	13,16
SRL 05	152	5,26
SRL 07	122	4,22

2.3. Pemodelan

Berdasarkan pada data eksisting jaringan yang diperoleh maka dapat dibuat pemodelan diagram satu garis menggunakan program ETAP 12.6.0 seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemodelan Diagram Satu Garis Jaringan Distribusi dengan ETAP 12.6.0

3. Hasil dan Analisa

3.1. Analisis Hubung Singkat

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis hubung singkat dengan 2 metode yaitu melalui simulasi menggunakan program bantu ETAP 12.6.0 dan juga dengan perhitungan secara manual. Perhitungan arus hubung singkat mencakup arus gangguan hubung singkat 3 fase, 2 fase, fase ke tanah, dan 2 fase ke tanah. Hasil perhitungan akan divalidasi dengan hasil simulasi *short circuit analysis* pada program ETAP 12.6.0.

3.1.1 Perhitungan Hubung Singkat

Diperoleh besar rekapitulasi hasil arus gangguan hubung singkat trafo pada titik-titik bus di tiap penyulang seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8 hingga Tabel 11.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat SRL 03

Jarak (Km)	3 fase	2 fase	2 fase -ah	Fase -
	kA	kA	kA	kA
0	4,190	3,629	4,190	4,190
0,818	3,859	3,342	3,171	3,481
1,462	3,631	3,144	2,657	3,068
1,494	3,620	3,135	2,636	3,050
1,629	3,575	3,097	2,550	2,976
3,016	3,172	2,747	1,908	2,382
3,213	3,122	2,704	1,842	2,316
3,219	3,120	2,702	1,840	2,314
3,691	3,006	2,603	1,699	2,171

Tabel 9. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat SRL 04

Jarak (Km)	3 fase	2 fase	2 fase -ah	Fase -
	kA	kA	kA	kA
0,000	4,190	3,629	4,190	4,190
0,075	4,158	3,601	4,071	4,114
3,147	3,138	2,718	1,863	2,338
3,241	3,115	2,697	1,833	2,307
6,107	2,527	2,188	1,220	1,646
6,310	2,493	2,159	1,192	1,613
7,780	2,273	1,969	1,021	1,409
7,757	2,277	1,972	1,023	1,412
7,470	2,317	2,006	1,053	1,447
11,375	1,869	1,618	0,755	1,076
12,923	1,735	1,502	0,679	0,976
13,152	1,717	1,487	0,669	0,963
13,202	1,713	1,483	0,667	0,960
13,615	1,681	1,456	0,650	0,937

Tabel 10. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat SRL 05

Jarak (Km)	3 fase	2 fase	2 fase -ah	Fase -
	kA	kA	kA	kA
0,000	4,190	3,629	4,190	4,190
0,075	4,158	3,601	4,093	4,114
0,638	3,928	3,402	3,350	3,616
0,731	3,892	3,371	3,255	3,545
1,018	3,785	3,278	2,991	3,341
1,139	3,742	3,241	2,892	3,262

Pada Tabel 8 hingga 11, semakin jauh jarak gangguan hubung singkat, maka semakin besar impedansinya dan berpengaruh pada besar arus gangguan. Selain itu, dapat dilihat bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar adalah arus gangguan hubung singkat 3 fase [6]. Hasil perhitungan arus hubung singkat ini akan digunakan pada penentuan setting proteksi

OCR, GFR, dan Recloser di sisi incoming maupun outgoing penyulang.

Tabel 11. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat SRL 07

Jarak (Km)	3 fase	2 fase	2 fase -ah	Fase -
	kA	kA	kA	kA
0,000	4,190	3,629	4,190	4,190
1,930	3,480	3,014	2,376	2,824
2,810	3,226	2,794	1,982	2,455
3,740	2,994	2,593	1,685	2,157
4,275	2,874	2,489	1,552	2,015

3.2. Evaluasi Setting relay OCR, GFR dan Recloser

Pada perhitungan setting relay OCR, GFR dan Recloser menggunakan karakteristik standard inverse, perhitungan setting peralatan proteksi dimulai dari recloser 2, recloser 1, relay outgoing dan relay incoming. Penentuan setting waktu kerja (Top) berdasarkan grading time antar peralatan proteksi sesuai IEC 60255 sebesar 0,4-0,5 detik [7]. Sedangkan nilai minimum waktu kerja pada recloser adalah pada interval 0,2-0,4 detik. Berikut merupakan contoh perhitungan setting relay OCR, GFR, dan Recloser pada penyulang SRL 4 Trafo 31,5 MVA Gardu Induk Srdondol.

• Recloser 2

Setting TMS (Time Multiple Setting) OCR

Kurva : Standard Inverse
 Isc 3 Φ : 2317 A
 I_{FLA} : 180 A
 Top : 0,2 s
 Iset : 1,2 × I_{FLA}

$$TMS_{OCR} = \frac{\left[\frac{\text{Ihubung singkat } 3\Phi}{I_{set}} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{op}$$

$$TMS_{OCR} = \frac{\left[\frac{2316}{216} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,2$$

$$TMS_{OCR} = 0,069$$

Setting TMS (Time Multiple Setting) GFR

Kurva : Standard Inverse
 Isc 3 Φ : 1447 A
 I_{FLA} : 180 A
 Top : 0,2 s
 Iset : 0,5 × I_{FLA}

$$TMS_{GFR} = \frac{\left[\frac{\text{Ihubung singkat } 1\Phi\text{-tnh}}{I_{set}} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{op}$$

$$TMS_{GFR} = \frac{\left[\frac{1447}{90} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,2$$

$$TMS_{GFR} = 0,081$$

• Relay Outgoing

Setting TMS (Time Multiple Setting) OCR

Kurva : Standard Inverse
 Isc 3 Φ : 4190 A

I nom : 480 A
 Top : 0,7 s (0,3+0,4)
 Iset : $1,2 \times I_{FLA}$

$$TMS_{OCR} = \frac{\left[\frac{I_{hubung\ singkat\ 3\Phi}}{I_{set}} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{op}$$

$$TMS_{OCR} = \frac{\left[\frac{4190}{480} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,7$$

$$TMS_{OCR} = 0,221$$

Setting TMS (Time Multiple Setting) GFR

Kurva : Standard Inverse
 Isc 3 Φ : 4190 A
 I nom : 480 A
 Top : 0,7 s (0,3+0,4)
 Iset : $0,5 \times I_{FLA}$

$$TMS_{GFR} = \frac{\left[\frac{I_{hubung\ singkat\ 1\Phi-tnh}}{I_{set}} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{op}$$

$$TMS_{GFR} = \frac{\left[\frac{4190}{240} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,7$$

$$TMS_{GFR} = 0,294$$

• **Relay Incoming**

Setting TMS (Time Multiple Setting) OCR

Kurva : Standard Inverse
 Isc 3 Φ : 4190 A
 I_{FLA} : 992 A
 Top : 1,2 s (0,7+0,5)
 Iset : $1,2 \times I_{FLA}$

$$TMS_{OCR} = \frac{\left[\frac{I_{hubung\ singkat\ 3\Phi}}{I_{set}} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{op}$$

$$TMS_{OCR} = \frac{\left[\frac{4190}{992} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times 1,2$$

$$TMS_{OCR} = 0,251$$

Setting TMS (Time Multiple Setting) GFR

Kurva : Standard Inverse
 Isc 3 Φ : 4190 A
 I_{FLA} : 992 A
 Top : 1,2 s (0,7+0,5)
 Iset : $0,5 \times I_{FLA}$

$$TMS_{GFR} = \frac{\left[\frac{I_{hubung\ singkat\ 1\Phi-tnh}}{I_{set}} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{op}$$

$$TMS_{GFR} = \frac{\left[\frac{4190}{413,33} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times 1,2$$

$$TMS_{GFR} = 0,406$$

Pada hasil analisis evaluasi perhitungan *setting relay* OCR, GFR, dan *Recloser*, didapatkan perbandingan *setting* kondisi eksisting dan perhitungan pada sisi *incoming* dan *outgoing* sebagai berikut.

Tabel 12. Perbandingan *setting relay* OCR, GFR *Incoming* kondisi eksisting dan perhitungan

Setting Relay Incoming				
Setting	OCR Eksisting	OCR Hitung	GFR Eksisting	GFR Hitung
TMS	0,16	0,251	0,42	0,406
Top (s)	0,77	1,2	1,12	1,2
I set (A)	992	992	331	413,33

Tabel 13. Perbandingan *setting relay* OCR, GFR *Outgoing* kondisi eksisting dan perhitungan

Setting	Eksisting	Perhitungan
	Outgoing	Outgoing
TMS	0,180	0,221
OCR rasio CT	5/800	5/800
OCR Top (s)	0,6	0,7
OCR Isetprimer	480	480
TMS	0,250	0,294
GFR rasio CT	5/800	5/800
GFR Top (s)	0,6	0,7
GFR Isetprimer	240	240

Tabel 14. Perbandingan *setting Recloser* kondisi eksisting dan perhitungan

Setting		OCR		GFR	
		Eksisting	Hitung	Eksisting	Hitung
Recloser 1	Tms	0,08	0,114	0,15	0,140
	t(s)	0,3	0,4	0,3	0,4
	Is	380	360	120	150
Recloser 2	Tms	0,10	0,069	0,15	0,081
	t(s)	0,4	0,2	0,4	0,2
	Iset	350	216	100	90

Setting relay yang dipasangkan pada penyulang (*Outgoing*) dihitung berdasar arus nominal yang di *setting* oleh PT. PLN (persero) yaitu sebesar 480 A. Persyaratan yang harus dipenuhi yaitu untuk penyetelan waktu *grading time relay* di penyulang tidak boleh kurang dari 0,4 s. Keputusan ini diambil agar memberi kesempatan *relay outgoing* bekerja terlebih dahulu sedangkan *relay incoming* sebagai *back up protection* jika *relay outgoing* gagal bekerja.

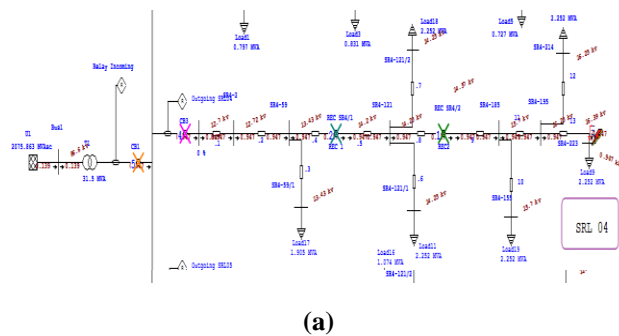
Waktu tunda setiap peralatan dimulai dari *recloser* yang diset untuk trip dengan delay yang sangat kecil yaitu pada interval 0,2-0,4 detik. Pada *relay Outgoing* penyulang memiliki Top 0,7 detik dan *relay incoming* memiliki Top 1,2 detik. Top tiap peralatan proteksi diset dengan selisih 0,4-0,5 detik sesuai dengan Standart IEEE 242-1986.

Perbedaan nilai TMS pada *setting relay* kondisi eksisting dan perhitungan dikarenakan pada penentuan nilai Iset dan waktu kerja (Top) yang berbeda, pada kondisi eksisting terdapat kesalahan dalam menentukan nilai waktu kerja (Top) sehingga pada sisi *recloser*, waktu kerja *recloser* 1 mendahului waktu kerja *recloser* 2.

3.3. Evaluasi Koordinasi *Setting Relay* OCR, GFR, dan *Reclose*

Berikut ini merupakan hasil koordinasi *relay* yang menghasilkan kurva karakteristik arus terhadap waktu (TCC Cruve) dari simulasi menggunakan ETAP 12.6.0.

Koordinasi *Setting Relay* Penyulang SRL 04



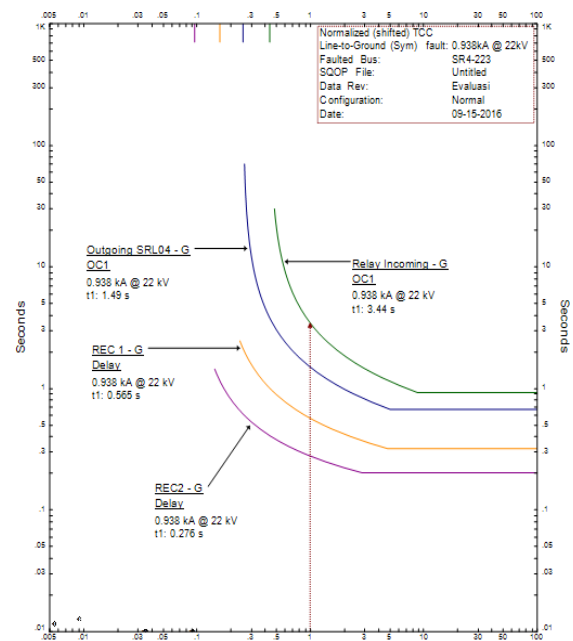
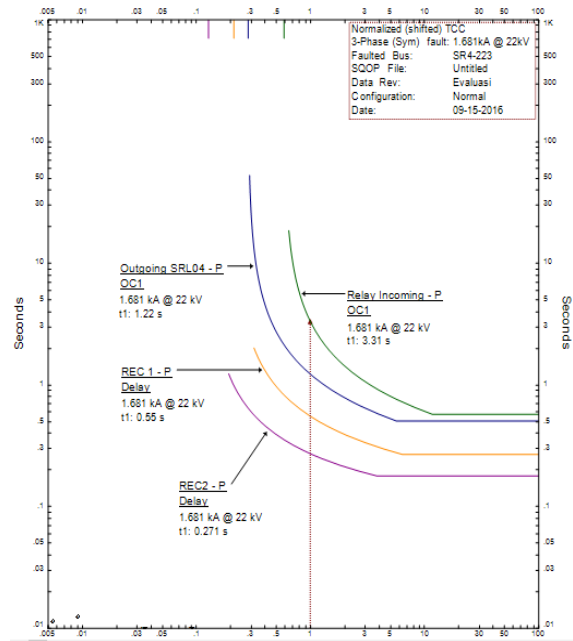
Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

Line-to-Ground (Symmetrical) fault on bus: SR4-223

Data Rev: Evaluasi Config: Normal Date: 09-15-2016

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
276	REC2	0.938	236	276	1st Operation - Ground - Delay - TOC
565	REC 1	0.938	525	565	1st Operation - Ground - Delay - TOC
1490	Outgoing S...	0.938	1490		Ground - DC1 - 51
1500	CB3		10.0		Tripped by Outgoing SRL04 Ground - DC1 - 51
2295	Outgoing S...	0.938	2295		Phase - DC1 - 51
2305	CB3		10.0		Tripped by Outgoing SRL04 Phase - DC1 - 51
3438	Relay Incom...	0.938	3438		Ground - DC1 - 51
3448	CB1		10.0		Tripped by Relay Incoming Ground - DC1 - 51
10276	REC2		10000		1st Recloser
10563	REC2	0.938	236	276	2nd Operation - Ground - Delay - TOC
10565	REC 1		10000		1st Recloser
11130	REC 1	0.938	525	565	2nd Operation - Ground - Delay - TOC
20553	REC2		10000		2nd Recloser
20829	REC2	0.938	236	276	3rd Operation - Lockout - Ground - Delay - TOC
21130	REC 1		10000		2nd Recloser
21695	REC 1	0.938	525	565	3rd Operation - Lockout - Ground - Delay - TOC

(b)



Gambar 4. Tampilan Output Koordinasi *Relay* pada ETAP 12.6.0 SRL 04
 (a) *Fault Insertion*, (b) *Sequence Viewer*, (c) Kurva TCC OCR, (d) Kurva TCC GFR

Pada Gambar 4 merupakan koordinasi *relay* dari penyulang SRL 04 menggunakan “*star-protective device coordination*” pada simulasi ETAP 12.6.0. Gambar 4 (a) menunjukkan urutan koordinasi saat diberikan gangguan 1 fase ketanah. Gambar 4 (b) menunjukkan hasil waktu kerja dari koordinasi *relay*. Gambar 4 (c) dan Gambar 4 (d) menunjukkan kurva TCC (*Time Curve Current*) antara arus gangguan dan waktu kerja beroperasinya *relay* untuk OCR dan GFR.

Pada *setting Recloser SRL 4*, terlihat pada *Sequence Viewer* gambar 4 (b) *Recloser* diatur dengan tiga kali operasi buka tutup, pada operasi ketiga *recloser* akan melakukan *operation to lockout* yang merupakan aksi terakhir dari *recloser* untuk membuka secara permanen akibat dari adanya gangguan permanen. Untuk kembali ke pengaturan semula, gangguan terlebih dahulu harus dihilangkan dan selanjutnya *recloser* akan kembali ditutup secara manual. *Reclosing duration* diatur selama 10 detik setiap operasi bukaan *Recloser*.

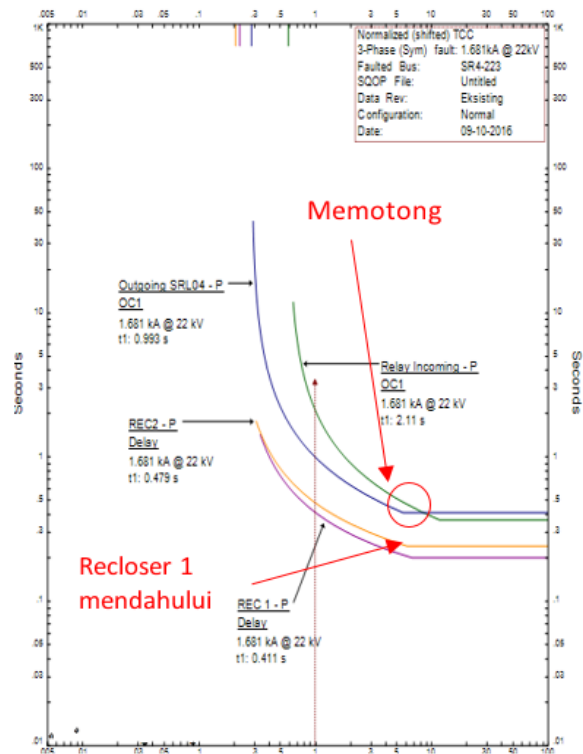
Gambar 4 menunjukkan koordinasi *relay* antara *relay incoming*, *relay outgoing* dan *recloser* pada penyulang SRL 04. Ketika ada gangguan paling ujung dari sumber maka yang akan mendeteksi adanya gangguan terlebih dahulu yaitu *recloser 2* yang di *setting* dengan waktu kerja minimum 0,2, jika *recloser 2* tidak bekerja maka gangguan akan dideteksi oleh *recloser 1* sebagai *backup recloser 2* yang di *setting* dengan waktu kerja minimum 0,4 detik, lalu dilanjutkan *relay outgoing* dan *relay incoming* sebagai *back up*. Pada Gambar 4 (b) saat terjadi gangguan satu fase ke tanah waktu kerja *recloser 2* 0,236 detik, dilanjutkan *recloser 1* 0,394 detik, *relay outgoing* 1,490 detik dan *relay incoming* 3,438 detik sebagai *back up protection*. Koordinasi *relay* pada penyulang SRL 04 dapat dikatakan telah sesuai dengan standar kepekaan, kecepatan, dan selektivitas.

Recloser di *setting* dengan durasi pemutusan selama 10 detik pada setiap operasi bukaan, *recloser* beroperasi sebanyak tiga kali sampai dengan operasi pemutusan secara permanen (*operation to lockout*). Hal ini memberikan kesempatan *recloser* untuk menutup kembali saat terdapat gangguan temporer yang dapat hilang sendirinya sehingga sistem dapat segera pulih.

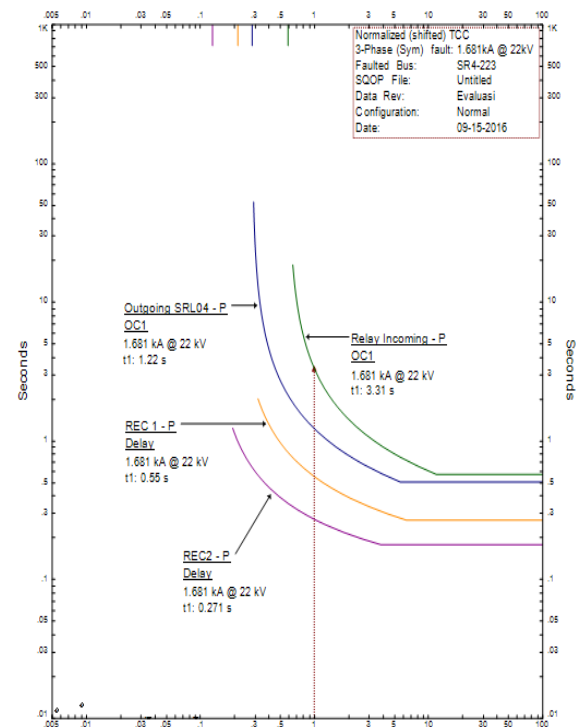
3.4. Perbandingan Kurva Karakteristik Arus terhadap Waktu (*Time Curve Current*)

Berdasarkan data pada Tabel 12 sampai Tabel 14 *setting* proteksi *relay incoming*, *outgoing*, dan *recloser* kondisi eksisting dan perhitungan dapat diketahui perbedaan bentuk koordinasi kurva karakteristik waktu terhadap arus (*Time Curve Current*). Dengan menggunakan ETAP 12.6.0 dapat dihasilkan kurva TCC sebagai berikut.

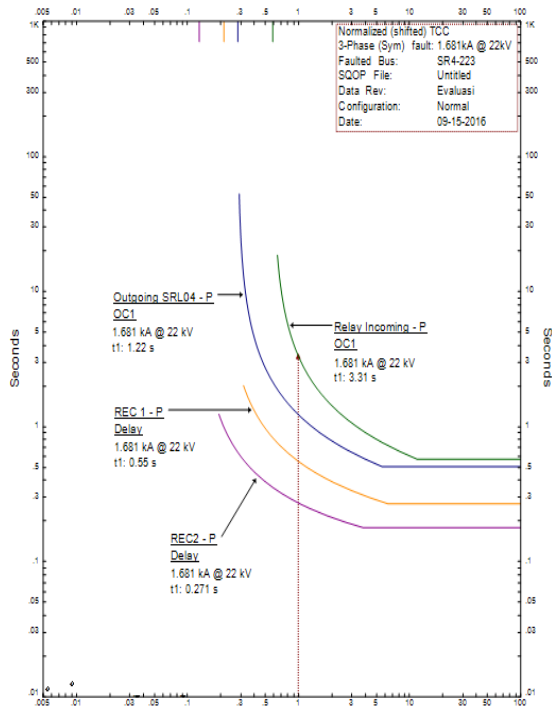
Berikut ini merupakan perbandingan bentuk kurva TCC penyulang SRL 04 hasil koordinasi *relay* OCR, GFR dan *Recloser* kondisi eksisting dan perhitungan.



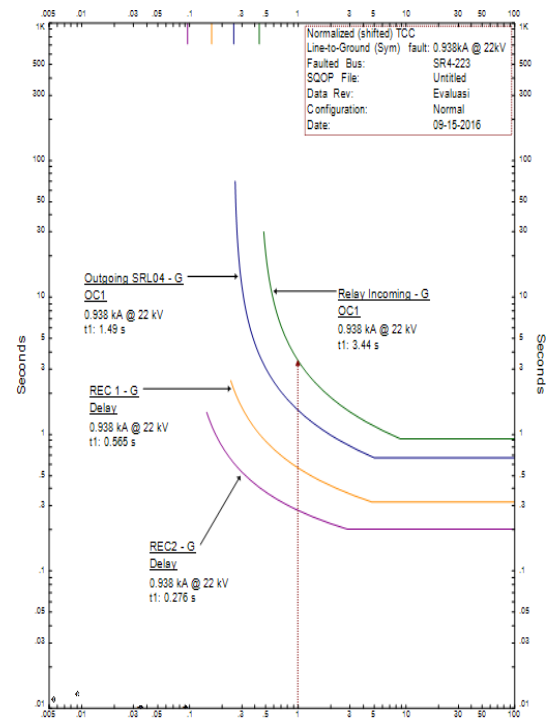
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 5. Kurva karakteristik arus terhadap waktu (TCC) Penyulang SRL 04

(a) Kurva relay OCR kondisi eksisting, (b) Kurva relay GFR kondisi ekisting, (c) Kurva relay OCR hasil perhitungan, (d) Kuva relay GFR hasil perhitungan

Pada gambar 5 merupakan perbandingan kurva TCC *setting relay* kondisi eksisting dan perhitungan. Pada kondisi eksisting, terlihat pada gambar 5 (a) terdapat kesalahan dalam koordinasi proteksi pada bagian *recloser*. *Recloser 1* memiliki waktu kerja yang lebih cepat dibandingkan *recloser 2* yang terletak lebih dekat dengan gangguan. Sehingga terlihat pada kurva terjadi *overlap*. Hal ini berbeda dengan *setting relay* hasil perhitungan.

Pada gambar 5 (b) Kurva koordinasi waktu kerja *relay* terhadap arus hasil perhitungan sudah sesuai dengan syarat selektivitas peralatan proteksi dengan waktu kerja tercepat adalah yang paling dekat dengan sumber gangguan yaitu *Recloser 2*, lalu *Recloser 1*, *relay outgoing* dan *relay incoming* sebagai *backup protection* sistem. Koordinasi pada *setting* perhitungan telah berjalan sesuai dengan standar kepekaan, kecepatan, dan selektifitas. Sedangkan pada gambar 5 (c) dan 5 (d) merupakan kurva koordinasi *relay* GFR kondisi eksisting dan perhitungan. Pada kedua kurva telah sesuai dengan peralatan proteksi yang terdekat dengan gangguan lebih dulu bekerja. Perbedaan terjadi pada selisih nilai TMS kedua kondisi. Pada kondisi eksisting, *setting* TMS GFR *Recloser 1* dan *recloser 2* bernilai sama. Sedangkan pada kondisi perhitungan *setting* TMS GFR *recloser 2* diset lebih kecil dari *recloser 1*, hal ini dikarenakan *recloser 2* merupakan peralatan yang terdekat dengan sumber gangguan. Penentuan *setting* waktu kerja peralatan telah sesuai berdasarkan standar IEC 60255, IEEE 242-1986, dan SPLN 52-3:1983.

3.4. Waktu Ketahanan Konduktor terhadap Arus Hubung Singkat

Waktu ketahanan konduktor merupakan lama konduktor dapat bertahan ketika teraliri arus gangguan hubung singkat. Waktu *setting* proteksi harus lebih kecil daripada waktu ketahanan konduktor terhadap arus gangguan, sehingga peralatan maupun konduktor dapat aman sebelum kerusakan yang diakibatkan arus gangguan tersebut setelah melewati waktu ketahanannya. Berikut merupakan perhitungan waktu ketahanan konduktor pada penyulang SRL 3 untuk gangguan 3 fase di titik 100%:

Ihs 3 fase (100%) : 3006 A
s (luas penampang konduktor) : 240 mm²

$$I = \frac{79,25 \times S}{\sqrt{t}}$$

$$\sqrt{t} = \frac{79,25 \times S}{I}$$

$$\sqrt{t} = \frac{79,25 \times 240}{3006}$$

$$\sqrt{t} = \frac{19020}{3006}$$

$$t = 6,328^2$$

$$t = 40,047 \text{ detik}$$

Dari perhitungan diatas dengan cara yang sama dan menggunakan data nilai arus gangguan hubung singkat pada Tabel 9 dapat diketahui waktu ketahanan konduktor pada penyulang SRL 04 sebagai berikut.

Tabel 16. Perbandingan waktu ketahanan konduktor - waktu kerja relay incoming SRL 04

Jarak (Km)	Relay Incoming				Hasil Perhitungan Waktu Ketahanan Konduktor			
	3fase	2fase	2 fase tanah	1 fase tanah	3 fase	2 fase	2 fase tanah	1 fase tanah
	detik	detik	detik	detik	detik	Detik	detik	Detik
0,000	1,200	1,335	1,200	1,200	20,603	27,469	20,603	20,603
0,075	1,207	1,343	1,216	1,210	20,927	27,901	21,830	21,375
3,147	1,506	1,723	1,861	1,613	36,729	48,970	104,206	66,177
3,241	1,516	1,736	1,882	1,626	37,292	49,719	107,724	67,951
6,107	1,859	2,200	2,600	2,031	56,672	75,559	242,997	133,59
6,310	1,886	2,238	2,658	2,061	58,210	77,608	254,656	139,09
7,780	2,098	2,541	3,119	2,292	69,992	93,317	347,238	182,25
7,757	2,094	2,536	3,111	2,288	69,798	93,059	345,671	181,53
7,470	2,051	2,473	3,015	2,242	67,412	89,877	326,512	172,66
11,375	2,753	3,567	4,691	2,946	103,615	138,14	634,263	312,68
12,923	3,121	4,208	5,701	3,282	120,196	160,25	784,340	379,72
13,152	3,181	4,318	5,877	3,336	122,756	163,66	807,933	390,19
13,202	3,194	4,342	5,916	3,347	123,319	164,41	813,123	392,50
13,615	3,308	4,555	6,259	3,446	128,017	170,68	856,624	411,81

Berdasarkan pada Tabel 15 hingga Tabel 18 menunjukkan bahwa waktu kerja relay incoming adalah minimal 3 kali lebih cepat dari waktu ketahanan konduktor pada penyulang. Pada saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fase pada titik 0% penyulang SRL 05, relay incoming akan bekerja pada waktu 1,200 detik sedangkan konduktor mampu menahan arus hubung singkat selama 20,603 detik. Pada perhitungan dipilih waktu kerja pada sisi relay incoming karena merupakan setting waktu kerja yang paling besar dibandingkan dengan setting waktu kerja pada sisi recloser dan relay outgoing. Dari data diatas menunjukkan bahwa saat terjadi gangguan, relay mampu bekerja sebelum konduktor pada penyulang mengalami kerusakan akibat adanya gangguan arus hubung singkat.

4. Kesimpulan

Dari hasil evaluasi setting relay proteksi, berdasarkan Tabel 12 hingga Tabel 14 didapatkan bahwa setting relay kondisi eksisting dan perhitungan memiliki perbedaan pada nilai TMS, hal ini terjadi karena penentuan waktu kerja (Top) yang berbeda, pada setting proteksi hasil perbaikan waktu kerja relay ditentukan berdasarkan standar IEC 60255 dengan tujuan agar dapat dikoordinasikan dengan peralatan yang ada di depannya.

Waktu kerja (Top) pada perhitungan dari masing-masing relay telah memenuhi standar penentuan grading time antar peralatan proteksi yaitu mulai dari Recloser 2 = 0,2 detik, Recloser 1 = 0,3 detik, Relay Outgoing = 0,7 detik, dan Relay Incoming = 1,2 detik. Penentuan selisih waktu kerja antar peralatan proteksi (time grading) telah memenuhi standar IEC 60255, IEEE 242-1986 dan SPLN 52-3:1983 dengan waktu kerja interval antara 0,2-0,5 detik. Untuk menjaga sistem proteksi agar selalu memenuhi persyaratan kecepatan, sensitifitas, selektivitas dan kepekaan maka perlu adanya pengaturan dan pemeliharaan secara berkala seiring dengan penambahan jumlah beban dan jaringan.

Referensi

- [1]. Single Line Diagram Tahun 2015 PT. PLN (Persero) Rayon Semarang Selatan.
- [2]. Data Beban Penyulang Area Semarang Selatan Tahun 2016 PT. PLN (Persero) Area Pelayanan Jaringan (APJ) Distribusi Semarang.
- [3]. Ramadhan T, Rize. 2014. "Studi Koordinasi Sistem Pengaman Penyulang TrafoIV di Gardu Induk Waru". Univeritas Brawijaya. Malang
- [4]. Nair S. Divya dan Rhesma "Optimal Coordination of Protective Relays". International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC).
- [5]. Fathoni, Thariq. 2015. "Penentuan Target Indeks Keandalan, Drop Tegangan, dan Rugi Daya pada Feeder SRL07 GI Sronдол Menggunakan ETAP 7.5.0.". Universitas Diponegoro. Semarang.
- [6]. Stevenson, William D. 1996. "Analisa Sistem Tenaga Listrik". Erlangga. Bandung.
- [7]. IEC 60255, "Overcurrent Protection for Phase and Earth Faults".
- [8]. SPLN 52-3 : 1983, "Pola Pengamanan Sistem, Bagian Tiga : Sistem Distribusi 6 kV dan 20 kV".
- [9]. SPLN 64 : 1985, "Petunjuk pemilihan dan penggunaan pelebur pada sistem distribusi tegangan menengah".
- [10]. Hewitson, L.G, dkk. "Practical Power System Protection". Newnes Publication. Netherlands. 2004.
- [11]. Pandjaitan, Bonar. 2012. "Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik". Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- [12]. Gupta. J. B. 1996."A Course in Electrical Power". SSMB Publishing Ltd. Singapore.