

# EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI RELAY ARUS LEBIH DAN GANGGUAN TANAH GIS KANDANG SAPI PENYULANG GARDEN 1, GARDEN 2, AEON 1, AEON 2, LADANG, LAPINDO, DAN BLETHOK MENGGUNAKAN ETAP 12.6.0

Muhamad Panji Kusuma<sup>\*)</sup>, Jaka Windarta, and Mochammad Facta

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

<sup>\*)</sup>*Email: muhamadpanjikusuma@gmail.com*

## Abstrak

Penggunaan energi listrik akan terus berkembang dan hal ini mengharuskan adanya perkembangan jaringan distribusi, sehingga kerja dari sistem proteksi perlu dianalisis dan dievaluasi. Penelitian ini membahas tentang evaluasi koordinasi proteksi Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) dari penyulang Garden 1, Garden 2, AEON 1, AEON 2, Ladang, Lapindo, dan Blethok di GIS Kandang Sapi. Arus setting pada peralatan proteksi diatur berdasarkan kuat hantar arus (KHA) dan arus hubung singkat. Koordinasi proteksi hasil resetting dibandingkan dengan setting eksisting dan dianalisis dengan tinjauan dari koordinasi antar relay, kecepatan respon terhadap gangguan, grading time antara relay incoming dan outgoing, serta waktu ketahanan penghantar. Pada setting eksisting ditemukan bahwa selisih waktu antara relay outgoing dan incoming tidak memenuhi standar IEC 60255.. Berdasarkan hasil analisis, arus hubung singkat maksimum senilai 13902 ampere dan arus hubung singkat minimum senilai 3411 ampere. Koordinasi proteksi hasil resetting menghasilkan grading time yang lebih baik dan sesuai dengan standar IEC 60255. Waktu kerja peralatan proteksi yang di peroleh lebih cepat dari waktu yang diperlukan untuk mencapai ketahanan maksimum dari penghantar yang di gunakan di penyulang.

*Kata Kunci: sistem distribusi tenaga listrik, koordinasi proteksi, gangguan hubung singkat, relay*

## Abstract

As the number of customer increase, then power network must be developed further. In line with this development, operation of protection relays on distribution networks must be re-analysis and evaluated. This final assignment presented the coordination of protection especially for Over Current Relay (OCR) and Ground Fault Relay (GFR) of feeders Garden 1, Garden 2, AEON 1, AEON 2, Ladang, Lapindo, and Blethok at Kandang Sapi Gas Insulated Substation. Setting current of relays was evaluated and re-set based on conductor Ampacity and short-circuit current. The results of resetting protection system coordination were compared to the existing setting, both setting were tested based on coordination from each protection devices, respons speed toward a fault, grading time between incoming and outgoing relay, and the time of conductor durability. Existing condition showed that grading time between outgoing and incoming relay didn't match with IEC 60255 standard. Based on analysis result, maximum short-circuit current is 13902 ampere and minimum short-circuit current is 3411 ampere. The coordination result of resetting has better grading time which matches to the IEC 60255 Standard. Time Operation of protection device to trip is faster than the maximum time of conductor to stand against maximum short circuit current.

*Keywords: electrical distribution system, protection coordination, short circuit fault, relay*

## 1. Pendahuluan

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Meningkatnya beban yang sejalan dengan pertumbuhan jumlah penduduk, dapat berakibat terjadinya persentasi kenaikan gangguan [1]. Pada dasarnya

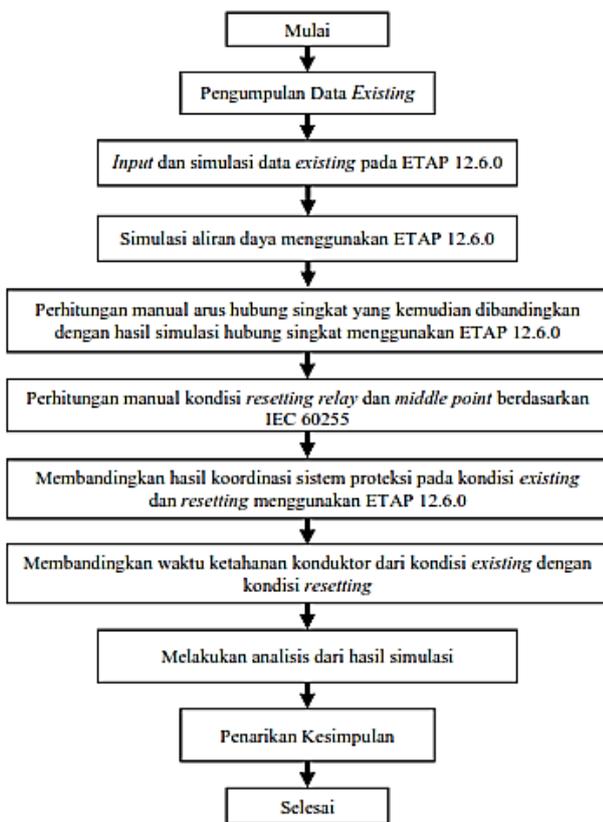
gangguan adalah setiap keadaan sistem yang tidak normal, sehingga pada umumnya terdiri dari hubung singkat juga rangkaian terbuka. Hal ini bisa terjadi dikarenakan adanya berbagai faktor, baik itu faktor internal maupun faktor eksternal [4].

Untuk meminimalisir gangguan terhadap sistem distribusi maka diperlukan sebuah sistem proteksi yang handal.

Koordinasi antar *relay* menentukan keandalan suatu proteksi, salah satu koordinasi yang harus di jaga adalah koordinasi antara *relay* arus lebih dan *relay* gangguan tanah. Sistem proteksi yang sudah diterapkan pada jaringan distribusi di GIS Kandang Sapi, Area Marunda, Distribusi Jakarta Raya belum pernah dilakukan evaluasi kinerja *relay* arus lebih dan gangguan tanah sebelumnya. Berita acara PLN Distribusi Jakarta Raya, Area Marunda, GIS Kandang Sapi [9], menyebutkan bahwa telah terjadi kegagalan *relay outgoing* dan *relay incoming* untuk memutus gangguan yang terjadi pada penyulang Luluk, menyebabkan terjadinya *tripping* peralatan proteksi di sisi tegangan 150 kV trafo sehingga trafo 2 60 MVA GIS Kandang Sapi mengalami pemadaman. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian mengenai evaluasi kinerja *relay* arus lebih dan gangguan tanah pada GIS Kandang Sapi.

## 2. Metode

### 2.1. Langkah Penelitian



Gambar 1. Langkah Penelitian Evaluasi Koordinasi Relay Arus Lebih dan Gangguan Tanah GIS Kandang Sapi

Gambar 1 menjelaskan tentang proses evaluasi *setting relay* yaitu *relay* arus lebih dan *relay* gangguan tanah di sisi *incoming* dan *outgoing* pada GIS Kandang Sapi. Beberapa penyulang yang penulis anggap penting dan menarik untuk di evaluasi adalah penyulang Garden 1, Garden 2, AEON 1, AEON 2, Ladang, Lapindo, dan Blethok dengan cara

perhitungan manual dan kemudian disimulasikan dengan menggunakan aplikasi ETAP 12.6.0. Penentuan dan perhitungan *setting relay* arus lebih pada penelitian ini mengacu pada IEC 60255 [8]. Hal ini dikarenakan jenis setiap *relay* yang digunakan pada GIS Kandang Sapi menerapkan kurva karakteristik IEC Standard Inverse [5], sehingga penentuan *setting* berdasarkan IEC 60255 dinilai baik. Evaluasi dan *resetting* koordinasi proteksi ini diharapkan mampu menghasilkan koordinasi peralatan proteksi yang lebih baik. Perangkat lunak yang akan di gunakan adalah *Electrical Transient Analysis Program* (ETAP) 12.6.0.

### 2.2. Data Sistem

Adapun data yang digunakan adalah seperti pada tabel berikut.

Tabel 1. Data Trafo II [5]

Data Trafo Tenaga	
Merk	UNINDO
Daya	60 MVA
Tegangan	150 / 20 kV
Impedansi (Z %)	11.87 %
Vektor Group	YNyn0+d
Rasio CT (20 kV)	2000/5
Jumlah Tap	17

Tabel 2. Data Trafo III [5]

Data Trafo Tenaga	
Merk	PASTI
Daya	60 MVA
Tegangan	150 / 20 kV
Impedansi (Z %)	12.751 %
Rasio CT (20 kV)	2000/5
Vektor Group	YNyn0+d
Jumlah Tap	18

Tabel 3. Data Power Grid [5]

Kondisi	MVA <sub>sc</sub>
Existing	10584 MVA

Tabel 4. Data OCR dan GFR *Outgoing* [5]

Merk	Rasio CT	Kurva Karakteristik	OCR		GFR	
			Iset (A)	TMS (s)	Iset (A)	TMS (s)
SCHNEI	800/5	IEC SI	1.88	0,14	0,5	0,12
DER	800/5	IEC SI	1.88	0,14	0,5	0,12

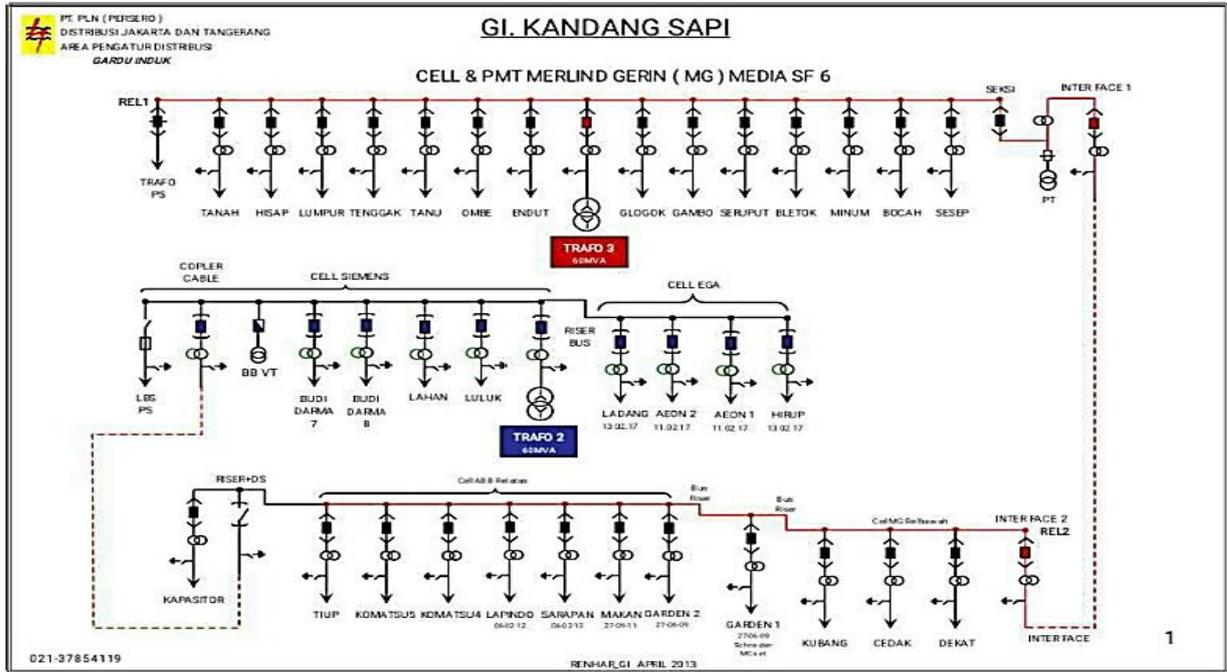
Tabel 5. Data Penyulang Trafo II GIS Kandang Sapi [5]

Penyulang	Panjang (km)	Arus (A)	Beban (MVA)	Tegangan (KV)
AEON 1	7,248	100	3,464	19,98
AEON 2	7,248	100	3,464	19,98
LADANG	4,651	4,6	0,159	19,98
GARDEN 1	14,834	65	2,252	19,98
GARDEN 2	7,586	7,5	0,260	19,98
LAPINDO	10,858	120	4,157	19,98
BLETHOK	10,858	10,6	0,367	19,98

Tabel 6. Data Teknis Penghantar [5]

Jenis	Luas (mm <sup>2</sup> )	KHA (A)	Z1=Z2 (ohm/Km)		Z0 (ohm/Km)	
			R	jX	R	jX
NA2XS EYBY	240	385	0.125	0.0907	0.125	0.0907

kondisi eksisting, menghitung arus hubung singkat untuk setting OCR dan GFR baik di sisi *outgoing* maupun *incoming*, dilanjutkan dengan setting *middle point*, kemudian diakhiri dengan mengevaluasi setting *relay* dengan cara membandingkan hasil *resetting* dengan kondisi *existing*.



Gambar 2. Diagram Satu Garis Jaringan Distribusi 20 kV GIS Kandang Sapi

Tabel 7. Data Relay OCR dan GFR Incoming [5]

Data OCR & GFR Incoming	
Merk	SIEMENS
Type	SIPROTEC 7SJ62
Karakteristik	Standard Inverse
I setting OCR	5 A
I setting GFR	0,75 A
Rasio CT	2000/5
TMS OCR	0,25
TMS GFR	0,17

Tabel 8. Data Circuit Breaker [5]

Penyulang	Merk Circuit Breaker	Waktu Operasi (ms)	
		Outgoing	Incoming
AEON 1	SIEMENS	70	70
AEON 2	SIEMENS	70	70
LADANG	SIEMENS	70	70
GARDEN 1	SCHNEIDER	65	70
GARDEN 2	ABB	75	70
LAPINDO	ABB	75	70
BLETHOK	Merlin Gerin	65	60

Diagram satu garis pada kondisi eksisting dari sistem kelistrikan GIS Kandang Sapi ditunjukkan oleh Gambar 2.

### 3. Analisis Hasil Simulasi

Dalam bab ini, akan membahas tentang simulasi aliran daya untuk validasi bahwa simulasi sudah sesuai dengan

### 3.1. Simulasi Aliran Daya

Simulasi aliran daya dilakukan menggunakan menu "Load Flow Analysis" pada program ETAP 12.6.0. Data yang digunakan adalah data pada Tabel 1 hingga Tabel 8 dan pemodelan jaringan berdasarkan Gambar 2.

Tabel 9 menunjukkan nilai tegangan pangkal dan arus yang mengalir tiap penyulang. Tegangan pada pangkal tiap penyulang pada hasil simulasi adalah 20,029 kV dimana memiliki nilai yang hampir sama dengan besar tegangan terukur pada pangkal penyulang hasil pengambilan data eksisting, sehingga dapat dikatakan bahwa simulasi sudah sesuai dengan kondisi *existing*.

Tabel 9. Data Tegangan Pangkal dan Arus Yang Mengalir Tiap Penyulang Hasil Simulasi

Feeder	Arus (A)	Tegangan (kV)	Tegangan Pangkal Terukur (kV)	Error (%)
AEON 1	100	20,029	19,98	0,25
AEON 2	100	20,029	19,98	0,25
LADANG	4,6	20,029	19,98	0,25
GARDEN 1	65	20,029	19,98	0,25
GARDEN 2	7,5	20,029	19,98	0,25
LAPINDO	120	20,029	19,98	0,25
BLETHOK	10,6	20,016	19,98	0,18

### 3.2. Menentukan Arus Hubung Singkat

Untuk menentukan arus hubung singkat dilakukan dengan 2 metode yaitu dengan menggunakan perhitungan manual dan simulasi pada program ETAP 12.6.0 pada titik 0%, 25%, 50%, 75% hingga 100% dari panjang penyulang *outgoing* Trafo 2 dan 3 60 MVA GIS Kandang Sapi. Hasil besar arus hubung singkat yang diperoleh dari simulasi dapat dilihat pada Tabel 10.

Berdasarkan Tabel 10, saat gangguan 3 fasa terjadi pada titik 0% hingga 100% nilai gangguan pada ETAP dan perhitungan manual memiliki nilai yang hampir sama dan memiliki rata-rata selisih sebesar 1,54%. Terlihat pula arus hubung singkat pada saat gangguan 1 fasa ke tanah memiliki selisih 2,05%, 2 fasa memiliki selisih rata-rata 1,54%, dan 2 fasa ke tanah memiliki selisih rata-rata 1,59%.

Tabel 10. Hasil Perhitungan dan Simulasi Arus Hubung Singkat Penyulang Garden 1

Jarak (km)	Arus Hubung Singkat (kA)							
	3L		1L-G		2L		2L-G	
	Hitun g	Simul asi	Hitun g	Simul asi	Hitun g	Simul asi	Hitun g	Simul asi
0	14	14	14	14	12	12	14	14
3,7	9,1	9,0	9,1	9,0	7,9	7,8	9,1	9,0
7,4	6,5	6,4	6,5	6,3	5,6	5,5	6,5	6,4
11	5,0	4,8	5,0	4,8	4,3	4,2	5,0	4,8
15	4,0	3,9	4,0	3,9	3,4	3,4	4,0	3,9
$\epsilon_r$	1,54%		2,05%		1,54%		1,59%	

### 3.3. Resetting Relay OCR, GFR dan Middle Point

Pada perhitungan *setting relay* OCR, GFR dan *Middle Point* menggunakan karakteristik *standard inverse*, perhitungan *setting* peralatan proteksi dimulai dari *relay outgoing*, *relay incoming*, dan *middle point*.

- Rumus TMS OCR

$$TMS_{OCR} = \frac{[\frac{\text{Ihubung singkat line to line 100% saluran}}{I_{set}}]^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{op} \quad (1)$$

- Rumus TMS GFR

$$TMS_{GFR} = \frac{[\frac{\text{Ihubung singkat } 1\Phi\text{-tnh } 100\% \text{ saluran}}{I_{set}}]^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{op} \quad (2)$$

- Iset OCR

$$I_{set} > \frac{\text{Kuat Hantar Arus Penyulang}}{0,95} \quad (3)$$

- Iset GFR

$$I_{set} = 0,3 \times I_{set} \text{ OCR Penyulang} \quad (4)$$

- TMS OCR Middle Point

$$TMS_{OCR} \text{ Middle Point} = 0,5 \times TMS_{OCR} \text{ Outgoing} \quad (5)$$

- TMS GFR Middle Point

$$TMS_{GFR} \text{ Middle Point} = 0,5 \times TMS_{GFR} \text{ Outgoing} \quad (6)$$

*Setting relay* yang digunakan pada penyulang (*Outgoing*) harus lebih besar dari KHA (Kuat Hantar Arus) penghantar dibagi dengan 0,95 [8] sebagai toleransi kesalahan *relay* dalam mendeteksi arus gangguan. Sehingga dipilih besar *setting* OCR sebesar 435 Ampere. Persyaratan yang harus

dipenuhi yaitu untuk penyetelan waktu *grading time relay* di penyulang tidak boleh kurang dari 0,3 detik dan tidak boleh lebih dari 0,5 detik [8].

Tabel 11. Perbandingan *Setting* OCR dan GFR *Outgoing* Kondisi Eksisting dan *Resetting Standard IEC 60255*

Setting	Setting Relay Outgoing			
	Eksisting		Resetting IEC 60255	
	OCR	GFR	OCR	GFR
TMS	0,14	0,12	0,09	0,2
I set (A)	300	80	435	130,5

Sesuai dengan IEC 60255, untuk perhitungan *relay incoming* menggunakan cara yang sama seperti perhitungan OCR dan GFR *outgoing*. Perbedaan terletak pada besar arus gangguan yang dipilih, yaitu merupakan gangguan pada busbar utama dan waktu kerja yang digunakan pada persamaan adalah hasil dari *grading time* dengan waktu operasi *relay outgoing* pada gangguan di busbar utama setelah di *grading* sebesar 0,3-0,5 detik [8]. Keputusan ini diambil agar memberi kesempatan *relay outgoing* bekerja terlebih dahulu sedangkan *relay incoming* sebagai *back up protection* jika *relay outgoing* gagal bekerja.

Tabel 12. Perbandingan *Setting* OCR dan GFR *Incoming* Trafo II Kondisi Eksisting dan *Resetting Standard IEC 60255*

Setting	Setting Relay Incoming			
	Eksisting		Resetting IEC 60255	
	OCR	GFR	OCR	GFR
TMS	0,25	0,17	0,177	0,307
I set (A)	2000	300	1750	525

Untuk menentukan arus *setting* dari *middle point* dapat dilakukan dengan menggunakan cara yang sama dengan ketika menentukan arus *setting* OCR dan GFR sisi *outgoing*, sedangkan TMS dihitung dengan menggunakan Persamaan 5 dan 6, sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.

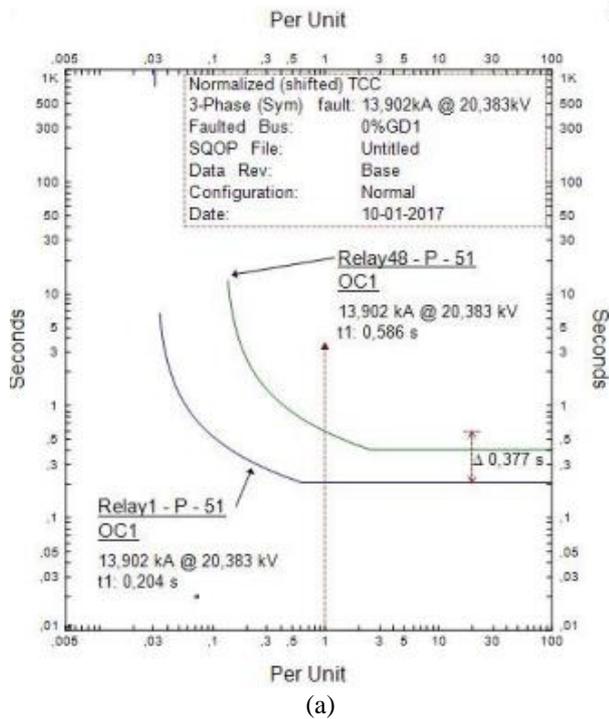
Tabel 13. Perbandingan *Setting Middle Point* Kondisi Eksisting dan *Resetting Standard IEC 60255*

Middle Point	I set (A)	I set (A)	TMS (s)	TMS (s)	Top (s)	Top (s)
	OCR	GFR	OCR	GFR	OCR	GFR
Garden 1	435	130,5	0,045	0,1	0,15	0,199

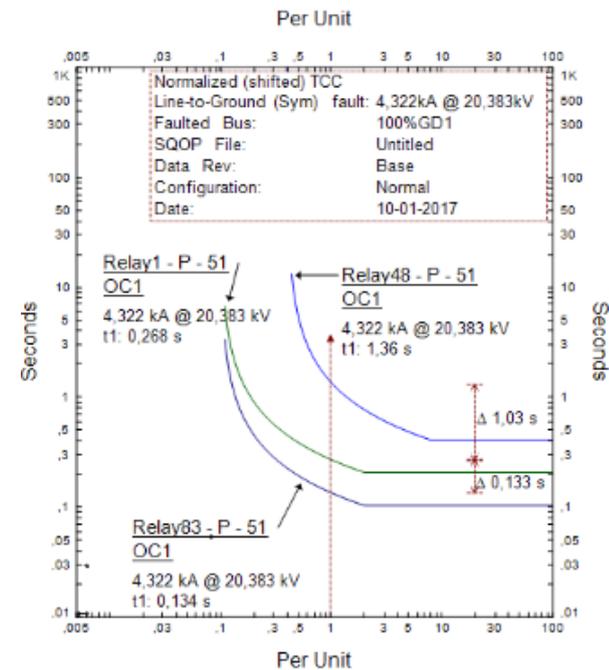
### 3.4. Evaluasi Koordinasi Setting OCR, GFR, dan Middle Point

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi peralatan proteksi berdasarkan kondisi *existing* dan *resetting* yang dilakukan pada setiap feeder di titik 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, dengan meninjau empat hal, yaitu koordinasi antara *relay outgoing*, *incoming*, dan *middle point*, kecepatan respon sistem proteksi terhadap gangguan, *grading time relay* to *relay* berdasarkan standar IEC 60255, dan waktu ketahanan konduktor.

3.4.1. Tinjauan Koordinasi Relay Incoming, Outgoing, dan Middle Point



(a)



(b)

Gambar 4. Kurva Arus-Waktu Koordinasi Relay Hasil Resetting Penyulang Garden 1 berdasarkan IEC 60255 (a) Kurva TCC OCR, (b) Kurva TCC GFR

Tinjauan terhadap koordinasi relay incoming, outgoing, dan middle point dilakukan dengan melihat kurva hubungan arus terhadap waktu ketika diberikan gangguan

hubung singkat. Untuk OCR diberikan gangguan hubung singkat 3 fasa di titik 0%, sedangkan GFR diberikan gangguan hubung singkat 1 fasa-tanah di titik 100%. Sebagai contoh Gambar 4 menunjukkan kurva arus terhadap waktu koordinasi proteksi pada penyulang Garden 1 hasil resetting berdasarkan IEC 60255.

Gambar 4 menunjukkan kurva koordinasi antara relay outgoing, relay incoming, dan middle point dan urutan kerja apabila terjadi gangguan hubung singkat pada hasil resetting berdasarkan IEC 60255. Gambar kurva menunjukkan bahwa tidak ada kurva yang berpotongan baik antara relay dengan relay maupun relay dengan middle point, sehingga dapat dikatakan bahwa koordinasi relay incoming, outgoing, dan middlepoint dalam kondisi baik.

3.4.2. Tinjauan Kecepatan Respon Sistem Proteksi terhadap Gangguan Hubung Singkat

Tinjauan mengenai kecepatan respon sistem proteksi terhadap gangguan hubung singkat dapat dilakukan dengan memperhatikan Tabel 14 dan Tabel 15.

Tabel 14. Perbandingan waktu operasi OCR di sisi outgoing, incoming, dan middle point penyulang Garden 1 kondisi existing dan resetting

3 fasa (s)					2 fasa (s)				
Existing		Resetting		t <sub>MP</sub>	Existing		Resetting		t <sub>MP</sub>
t <sub>Out</sub>	t <sub>Inc</sub>	t <sub>Out</sub>	t <sub>Inc</sub>		t <sub>Out</sub>	t <sub>Inc</sub>	t <sub>Out</sub>	t <sub>Inc</sub>	
0,32	0,88	0,2	0,58	-	0,32	0,96	0,2	0,63	-
0,32	1,12	0,2	0,72	-	0,32	1,23	0,2	0,79	-
0,32	1,4	0,22	0,89	0,1	0,32	1,59	0,23	1	0,12
0,33	1,77	0,24	1,1	0,1	0,35	2,08	0,26	1,26	0,13
0,36	2,24	0,27	1,35	0,1	0,38	2,76	0,29	1,61	0,14

Tabel 15. Perbandingan waktu operasi GFR di sisi outgoing, incoming, dan middle point penyulang Garden 1 kondisi existing dan resetting

1 fasa tanah (s)					2 fasa tanah (s)				
Existing		Resetting		t <sub>MP</sub>	Existing		Resetting		t <sub>MP</sub>
t <sub>Out</sub>	t <sub>Inc</sub>	t <sub>Out</sub>	t <sub>Inc</sub>		t <sub>Out</sub>	t <sub>Inc</sub>	t <sub>Out</sub>	t <sub>Inc</sub>	
0,32	0,89	0,2	0,58	-	0,32	0,88	0,2	0,69	-
0,32	1,12	0,2	0,73	-	0,32	1,12	0,2	0,72	-
0,32	1,4	0,22	0,89	0,1	0,32	1,4	0,23	0,89	0,12
0,33	1,78	0,24	1,1	0,1	0,35	1,77	0,25	1,1	0,12
0,36	2,25	0,27	1,35	0,1	0,38	2,24	0,26	1,35	0,13

Tabel 14 dan Tabel 15 menunjukkan waktu operasi OCR dan GFR di sisi incoming, outgoing, dan middle point pada kondisi existing dan resetting. Hasil kondisi resetting memiliki waktu operasi pada relay outgoing lebih cepat dibandingkan dengan waktu operasi pada kondisi existing, hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi resetting memiliki sensitifitas yang lebih baik.

3.4.3. Tinjauan Grading Time Relay to Relay Berdasarkan IEC 60255

Standar IEC 60255 menerangkan bahwa grading time antara relay incoming dan outgoing pada titik terdekat dengan sumber (titik 0%) harus bernilai 0,3-0,5 detik. Dari

data Tabel 14 dan Tabel 15 pada titik 0% dapat dirangkum menjadi Tabel 16 sebagai berikut.

**Tabel 16. Perbandingan Grading Time kondisi existing dan resetting feeder Garden 1**

Gangguan Hubung Singkat	Setting Relay	top Outgoing (s)	top Incoming (s)	Grading Time (s)	Grading Standard IEC 60255 (s)
1 fasa-tanah	Existing	0,317	0,891	0,574	0,3-0,5
	Resetting	0,204	0,589	0,385	0,3-0,5
2 fasa-tanah	Existing	0,317	0,888	0,571	0,3-0,5
	Resetting	0,204	0,587	0,383	0,3-0,5
3 fasa	Existing	0,317	0,885	0,561	0,3-0,5
	Resetting	0,204	0,586	0,382	0,3-0,5
2 fasa	Existing	0,317	0,957	0,64	0,3-0,5
	Resetting	0,204	0,63	0,426	0,3-0,5

Grading time pada kondisi existing tidak memenuhi standard IEC 60255 yaitu dalam skala 0,3-0,5 detik. Kondisi resetting nilai grading time relay to relay-nya sudah memenuhi standard IEC 60255 yaitu sebesar 0,382 detik untuk gangguan 3 fasa, 0,426 detik untuk gangguan 2 fasa, 0,385 detik untuk gangguan 1 fasa-tanah dan 0,383 detik untuk gangguan hubung singkat 2 fasa-tanah.

**3.4.4. Tinjauan Waktu Ketahanan Konduktor**

Gangguan hubung singkat pada saluran transmisi atau distribusi akan membuat suhu konduktor akan naik karena arus sesaat akibat hubung singkat tersebut. Berdasarkan hal tersebut maka setiap konduktor akan memiliki batas waktu tertentu untuk mampu menahan arus gangguan hubung singkat yang mengalir sebelum arus gangguan tersebut ditiadakan oleh peralatan proteksi. Berikut merupakan perhitungan waktu ketahanan konduktor pada penyulang Garden 1 untuk gangguan 3 fasa di titik 100%:

Ihs 3 fase (0%) : 13887 A  
 S (luas penampang konduktor) : 240 mm<sup>2</sup>  

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

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

$$t = 1,872 \text{ detik}$$

Dari perhitungan diatas dengan cara yang sama dan menggunakan data nilai arus gangguan hubung singkat pada Tabel 10 dapat diketahui waktu ketahanan konduktor sebagai berikut.

**Tabel 17. Perbandingan waktu ketahanan konduktor - waktu kerja relay incoming Penyulang Garden 1 Kondisi existing**

Relay Incoming			Hasil Perhitungan Waktu Ketahanan Penghantar				
3 fasa (s)	1 fasa tanah (s)	2 fasa (s)	2 fasa tanah (s)	3 fasa (s)	1 fasa tanah (s)	2 fasa (s)	2 fasa tanah (s)
0,885	0,891	0,957	0,888	1,876	1,915	2,496	1,892
1,116	1,121	1,232	1,117	4,385	4,445	5,847	4,393

**Tabel 17. Lanjutan**

Relay Incoming				Hasil Perhitungan Waktu Ketahanan Penghantar			
3 fasa (s)	1 fasa tanah (s)	2 fasa (s)	2 fasa tanah (s)	3 fasa (s)	1 fasa tanah (s)	2 fasa (s)	2 fasa tanah (s)
1,409	1,414	1,598	1,409	8,796	8,874	11,72	8,791
1,774	1,780	2,083	1,773	15,11	15,20	20,14	15,09
2,245	2,254	2,762	2,244	23,31	23,43	31,09	23,29

**Tabel 18. Perbandingan waktu ketahanan konduktor - waktu kerja relay incoming Penyulang Garden 1 Kondisi resetting**

Relay Incoming				Hasil Perhitungan Waktu Ketahanan Penghantar			
3 fasa (s)	1 fasa tanah (s)	2 fasa (s)	2 fasa tanah (s)	3 fasa (s)	1 fasa tanah (s)	2 fasa (s)	2 fasa tanah (s)
0,586	0,589	0,630	0,587	1,876	1,915	2,496	1,892
0,726	0,729	0,795	0,727	4,385	4,445	5,847	4,393
0,898	0,902	1,006	0,820	8,796	8,874	11,72	8,791
1,103	1,107	1,269	0,910	15,11	15,20	20,14	15,09
1,354	1,358	1,611	0,999	23,31	23,43	31,09	23,29

Tabel 17 dan Tabel 18 menunjukkan perbandingan waktu ketahanan konduktor dengan waktu kerja relay incoming pada kondisi setting eksisting dan kondisi resetting pada penyulang Garden 1. Dalam kondisi existing maupun resetting, terlihat bahwa relay incoming sebagai relay backup memiliki waktu kerja lebih kecil dari waktu ketahanan konduktor. Hal tersebut membuktikan bahwa ketika terjadi suatu gangguan hubung singkat, maka sebelum konduktor mengalami kerusakan, relay incoming telah bekerja terlebih dahulu untuk meniadakan gangguan tersebut.

**4. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil evaluasi koordinasi proteksi, nilai arus hubung singkat hasil perhitungan dan simulasi dengan program ETAP 12.6.0 telah memiliki nilai arus hubung singkat yang hampir sama dengan error rata-rata untuk semua gangguan yaitu sebesar 1,68 %. Hasil resetting peralatan proteksi berdasarkan IEC 60255 memiliki nilai TMS yang berbeda dengan kondisi eksisting. Perbedaan nilai arus setting (Iset) dan TMS dikarenakan PT. PLN memiliki pertimbangan tersendiri dalam menentukan setting peralatan proteksi. Waktu kerja (Top) setting proteksi eksisting ketika terjadi gangguan hubung singkat maksimum (di titik pangkal/titik 0%) pada penyulang Garden 1, Garden 2, AEON 1, AEON 2, Ladang, Lapindo, dan Blethok belum memenuhi standard penentuan grading time antar peralatan proteksi berdasarkan IEC 60255 yaitu sebesar 0,3-0,5 detik. Waktu kerja (Top) hasil resetting dari masing-masing relay telah memenuhi standard IEC

60255 yaitu sebesar 0,3-0,5 detik. Waktu kerja *relay incoming* minimal 3 kali lebih cepat dari waktu ketahanan konduktor pada penyulang, sehingga sistem koordinasi proteksi dapat meminimalisir gangguan hubung singkat sebelum konduktor mengalami kerusakan. *Setting* koordinasi proteksi hasil perhitungan (*resetting*) berdasarkan IEC 60255 dengan kondisi eksisting menunjukkan bahwa *setting* koordinasi proteksi *resetting* IEC 60255 dapat bekerja lebih baik dibanding dengan kondisi *existing*.

## Referensi

- [1] Saadat, Hadi. *Power System Analysis*. McGraw Hill. 1999.
- [2] Warsito, Adhi. *Analisis Evaluasi Setting Relay OCR sebagai Proteksi pada Jaringan Distribusi dengan Pembangkitan Terdistribusi (Studi Kasus pada Penyulang BSB 4, Kendal-Jawa tengah)*. TRANSIENT, VOL.2, NO. 3, SEPTEMBER 2013, ISSN: 2302-9927, 744
- [3] Nugroho, Wahyu Arief. *Koordinasi Penempatan Peralatan Proteksi Jenis Arus Lebih (OCR) dan Pelebur (FCO) di Penyulang 20 kV dari GI 150/20 kV Mrica Banjarnegara*. TRANSIENT, VOL.3, NO. 4, DESEMBER 2014, ISSN: 2302-9927, 472
- [4] Suhadi, *SMK Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid I*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Umum Dirjen Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [5] PT. PLN (Persero), *Distribusi Jakarta Raya, Area Marunda, Datasheet GIS Kandang Sapi*. 2017.
- [6] Fauzan, Mochamad Irfani. *Analisis Resetting Rele Arus Lebih akibat Perubahan Transformator Daya dan Penambahan Penyulang di Gardu Induk Sron dol Semarang*. TRANSIENT, VOL.5, NO. 4, DESEMBER 2016, ISSN: 2302-9927, 433
- [7] Nugroho, Bayu Seno Adi. *Analisis Setting dan Koordinasi Rele Jarak pada GI 150 kV Pandean Lamper arah Sron dol*. TRANSIENT, VOL.6, NO. 1, MARET 2017, ISSN: 2302-9927, 2
- [8] ALSTOM, *Network Protection & Automation Guide*. 2002.
- [9] PT. PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Barat, Area Pelayanan Pemeliharaan Pulogadung, *Berita Acara Pekerjaan Gangguan Trafo 2 GIS Kandang Sapi tahun 2016*, PT. PLN (Persero), 2016.
- [10] Hia, Berkat Surya Putra. *Analisis Setting dan Koordinasi Rele Jarak pada Saluran 150 kV Tanjung Jati-Kudus*. TRANSIENT, VOL. 6, NO. 4, DESEMBER 2017, ISSN: 2302-9927, 551