

EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI RELAY ARUS LEBIH TRAFO 2 DAN TRAFO 3 GIS KANDANG SAPI KE PENYULANG LULUK, DEKAT, LAHAN, MAKAN, SARAPAN, BUDIDHARMA 7-8, DAN SRUPUT MENGGUNAKAN ETAP 12.6.0

Samuel Pirdion Parmonangan^{*)}, Jaka Windarta, and Mochammad Facta

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

^{*)}Email: samuelpirdion@gmail.com

Abstrak

Pada sistem distribusi, evaluasi sistem proteksi dibutuhkan untuk memastikan peralatan proteksi dapat bekerja dalam mengamankan dan meminimalisir kerusakan ketika terjadi gangguan hubung singkat. Evaluasi proteksi meliputi koordinasi antar peralatan proteksi dalam jaringan distribusi yang harus memenuhi standard yang ada. Penelitian ini membahas tentang evaluasi koordinasi proteksi relay arus lebih dan relay gangguan tanah pada penyulang yang terhubung dengan Trafo 2 dan Trafo 3 GIS Kandang Sapi dengan menggunakan aplikasi ETAP 12.6.0.. Pada gangguan 3 fasa berdasarkan hasil simulasi, interval waktu kerja antar relay kondisi eksisting adalah sebesar 1,121 detik dan dalam kondisi standard PLN sebesar 0,568 detik dimana standard interval yang diizinkan berdasarkan IEC 60255 adalah 0,3-0,5 detik. Setelah dilakukan perhitungan ulang, didapatkan waktu kerja antar relay sebesar 0,368 detik. Pada gangguan 1 fasa diujung saluran, relay incoming dalam kondisi eksisting membutuhkan waktu selama 3,999 detik untuk bekerja, dan 2,53 detik untuk kondisi standard PLN, dimana konduktor hanya mampu menahan arus gangguan selama 2,266 detik. Setelah dilakukan resetting, didapatkan waktu kerja relay incoming sebesar 1,41 detik. 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

In distribution system, evaluation of protection system is required to ensure every protection equipments work properly in securing and minimizing the damage caused by short circuit or faults. Evaluation of protection is related to coordination among protection device in the distribution network and it must conform to the standard. This research presents the coordination of protection especially for Over Current and Ground Fault Relay of feeders connected to a transformer 60 MVA at Kandang Sapi Gas Insulated Substation. Based on simulation, in a 3 phase fault, existing setting showed that time interval of relay incoming and outgoing to operate was 1,121 second and for Electrical Company (PLN) Setting was 0,568 second. Those time intervals did not comfort the standard of IEC 60255 which was 0,3-0,5 second. After the resetting conducted, time interval of relay incoming and outgoing was 0,368 second. In a fase to fase fault in the end of feeder, existing incoming relay required 3,999 second to operate, and incoming relay of Electrical Company (PLN) Setting required 2,53 second to operate, where the conductor could only stand against the fault for 2,266 second. After the resetting conducted, incoming relay only required 1,41 second to operate.

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

1. Pendahuluan

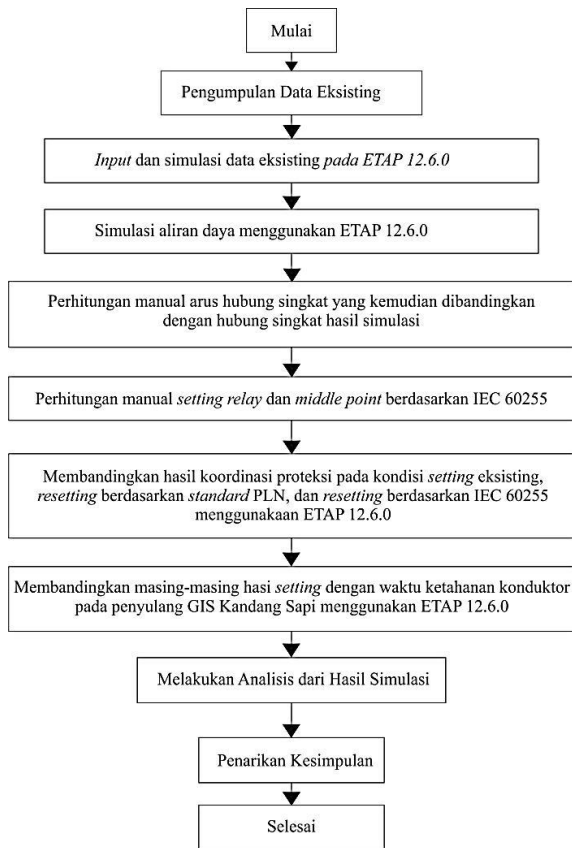
Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Meningkatnya beban yang sejalan dengan pertumbuhan jumlah penduduk, dapat berakibat terjadinya persentasi kenaikan gangguan [1]. 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 [18], 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. Beberapa penyulang yang penulis anggap penting dan menarik untuk di evaluasi adalah penyulang Luluk, Dekat, Lahan, Makan, Sarapan, Budidharma 7, Budidharma 8, dan Sruput 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.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian



Gambar 1. Langkah Penelitian Koordinasi Relay Arus Lebih GIS Kandang Sapi

Berdasarkan pada Gambar 1 langkah awal yang dilakukan adalah pengumpulan data eksisting jaringan yang diperoleh dari PT. PLN (Persero), Distribusi Jakarta Raya, Area Marunda dan GIS Kandang Sapi. Langkah berikutnya adalah pemodelan dan memasukkan data eksisting yang diperoleh berupa single line diagram, data trafo incoming, data relay pada trafo incoming dan outgoing, data penyulang, data Circuit Breaker, dan data penghantar pada program Electrical Transient Analysis Program (ETAP) 12.6.0 dengan tujuan mendapatkan nilai aliran daya dan tegangan pangkal yang sesuai antara kondisi lapangan dengan hasil simulasi. Pada penelitian ini menjelaskan tentang proses evaluasi *setting relay* yaitu *relay* arus lebih dan *relay* hubung tanah di sisi *incoming* dan *outgoing* pada GIS Kandang Sapi. Langkah berikutnya adalah melakukan simulasi hubung singkat menggunakan ETAP 12.6.0 dan perhitungan arus gangguan hubung singkat secara manual. Setelah mendapat arus gangguan hubung singkat, dilakukan perbandingan antara arus gangguan hubung singkat pada program ETAP 12.6.0 dengan perhitungan manual.

2.2. Data Sistem

Adapun data yang digunakan adalah seperti pada Tabel berikut:

Tabel 1. Data Trafo Tenaga 2 60 MVA [5]

Data Trafo Tenaga	
Merk	UNINDO
Daya	60 MVA
Tegangan	150 / 20 kV
Impedansi (Z %)	11,87 %
Rasio CT (20 kV)	3000/5
Vektor Grup	YNyn0+d
Jumlah Tap	17
Merk	UNINDO

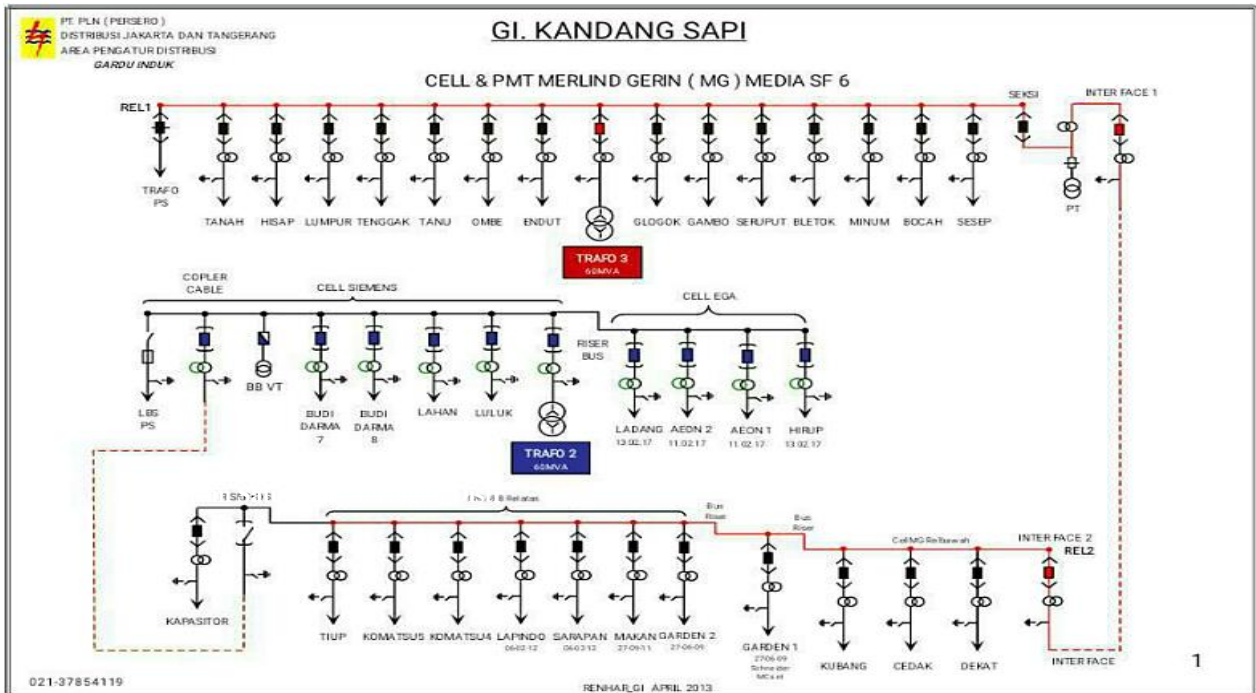
Tabel 2. Data Trafo Tenaga 3 60 MVA [5]

Data Trafo Tenaga	
Merk	PASTI
Daya	60 MVA
Tegangan	150 / 20 kV
Impedansi (Z %)	12,751 %
Rasio CT (20 kV)	3000/5
Vektor Grup	YNyn0+d
Jumlah Tap	18
Merk	PASTI

Tabel 3. Data Relay OCR dan GFR Outgoing [5]

Merk	Rasio CT	Kurva Karakteristik	OCR		GFR	
			Iset (A)	TMS	Iset (A)	TMS
SIEMENS	800/5	IEC SI	1,88	0,13	0,5	0,1
ABB	800/5	IEC SI	1,88	0,13	0,5	0,1

Diagram satu garis pada kondisi eksisting dari sistem kelistrikan GIS Kandang Sapi



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

Tabel 4. Data Relay OCR dan GFR Incoming [5]

Data Relay 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	0.4
TMS GFR	0.272

Tabel 7. Data Teknis Penghantar [5]

Jenis	Luas (mm ²)	KHA (A)	Z1=Z2 (ohm/Km)		Z0 (ohm/Km)	
			R	jX	R	jX
NA2XSE	240 mm ²	385	0.125	0.0907	0.125	0.0907
YBY						

Tabel 6. Data Penyulang Trafo II GI Sayung [5]

Penyulang	Panjang (km)	Arus (A)	Beban (MVA)	Tegangan Pangkal Terukur (KV)
Luluk	13.333	155	5.686	20.094
Lahan	11.961	115	4.205	20.094
BD 7	4.522	115	8.107	20.094
BD 8	4.522	115	8.107	20.094
Dekat	7.073	110	1.473	20.094
Makan	14.166	175	6.444	20.094
Sarapan	12.315	110	4.032	20.094
Sruput	7.073	10	ExpressFeeder	20.094

Tabel 3. Data Power Grid [5]

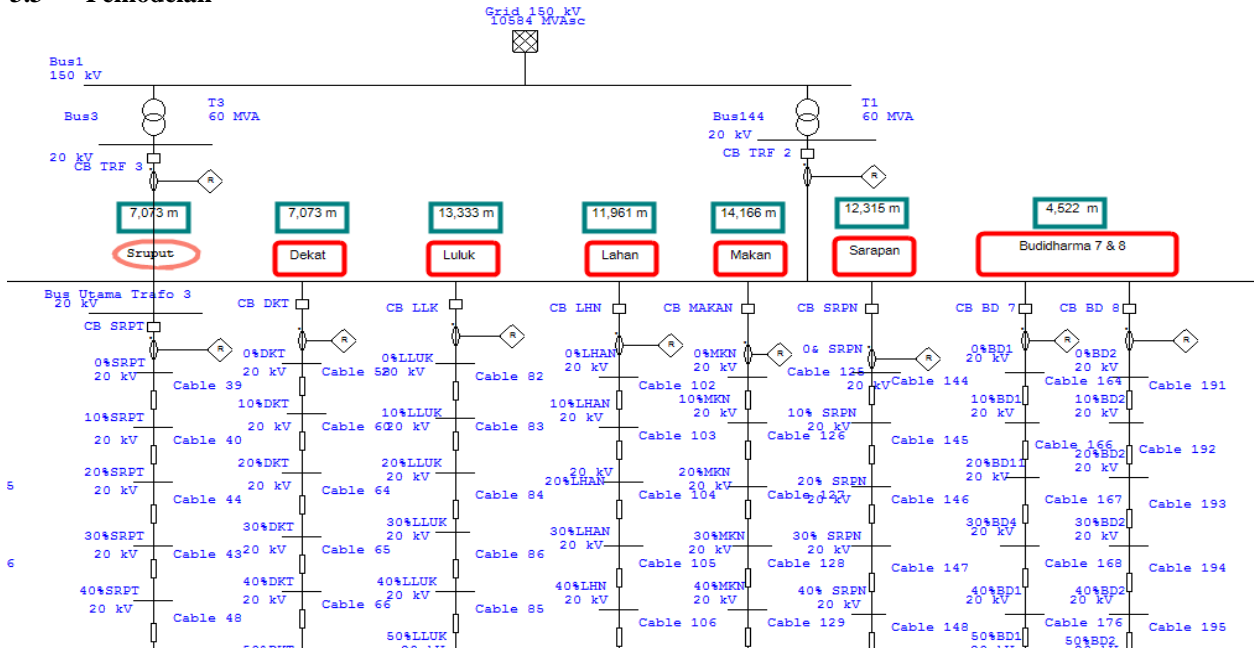
Kondisi	MVA _{sc}
Existing	10584 MVA

3. Hasil dan Analisa

3.1. Simulasi Aliran Daya

Simulasi aliran daya pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan pada pangkal saluran, yang kemudian disesuaikan dengan data tegangan terukur pada pangkal penyulang. Tujuan melakukan simulasi aliran daya adalah untuk memperoleh tegangan pangkal saluran yang disesuaikan dengan besar tegangan pangkal terukur sesuai data dan untuk mendapatkan nilai arus yang mengalir pada tiap penyulang serta arus total keluaran trafo 2 dan trafo 3 60 MVA untuk kemudian digunakan dalam setting peralatan proteksi. 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 seperti Gambar 3.

3.3 Pemodelan



Gambar 3. Pemodelan Diagram Satu Garis Jaringan Distribusi Eksisting

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

Tabel 8. Data Tegangan Pangkal dan Arus Yang Mengalir Tiap Penyulang Hasil Simulasi

Feeder	Pan-jang (km)	Arus (A)	Tegangan (kV)	Tegangan Pangkal Terukur (kV)	Error (%)
Luluk	13,333	155	20	19,98	0,57
Lahan	11,961	115	20	19,98	0,57
BD 8	4,522	115	20	19,98	0,57
BD 7	4,522	115	20	19,98	0,57
Dekat	7,073	110	20	19,98	0,57
Makan	14,166	175	20	19,98	0,57
Sarapan	12,315	110	20	19,98	0,57
Sruput	7,073	10	20	19,98	0,57

Tabel 8 menunjukkan nilai tegangan pangkal dan arus yang mengalir tiap penyulang. Tegangan pada pangkal tiap penyulang pada hasil simulasi adalah 20 kV dimana memiliki nilai yang hampir sama dengan besar tegangan terukur/

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. Kesesuaian besar arus hubung singkat hasil perhitungan dan simulasi

menunjukkan pemodelan dan simulasi hubung singkat yang dilakukan telah berjalan dengan baik dan sesuai dengan teori yang ada. Ketidak sesuaian yang mungkin terjadi disebabkan oleh pendekatan pemodelan jaringan dan pendekatan nilai input data pada program ETAP 12.6.0

Tabel 9. Hasil Perhitungan dan Simulasi Arus Hubung Singkat Penyulang Luluk

Jarak (km)	Arus Hubung Singkat (kA)							
	3 Fasa		2 Fasa		2 Fasa-Tanah		1 Fasa-Tanah	
	Perhit-ungan	Sim-ulasi	Perhit-ungan	Sim-ulasi	Perhit-ungan	Sim-ulasi	Perhit-ungan	Simulasi
0	13,8	13,90	11,95	12,04	13,8	13,83	13,8	13,745
1,333	11,88	11,9	10,28	10,30	11,875	11,86	11,88	11,783
2,666	10,23	10,19	8,855	8,821	10,225	10,17	10,23	10,106
3,999	8,883	8,809	7,693	7,629	8,883	8,802	8,883	8,751
5,332	7,804	7,712	6,758	6,678	7,804	7,71	7,804	7,669
6,6665	6,933	6,832	6,004	5,917	6,933	6,883	6,933	6,8
7,9998	6,223	6,119	5,389	5,299	6,223	6,121	6,223	6,094
9,331	5,637	5,533	4,881	4,791	5,637	5,535	5,637	5,512
10,664	5,146	5,044	4,456	4,368	5,146	5,046	5,146	5,027
11,997	4,730	4,631	4,097	4,01	4,730	4,636	4,730	4,617
13,333	4,375	4,278	3,789	3,705	4,375	4,281	4,375	4,267
ϵ_r	1,32 %		1,33%		1,2 %		1,72 %	

Berdasarkan Tabel 9. dapat dilihat perbandingan antara perhitungan arus hubung singkat pada ETAP dan perhitungan secara manual. Saat gangguan 3 fasa terjadi pada titik 1% hingga 100% nilai gangguan pada ETAP dan perhitungan manual memiliki nilai yang hampir sama dan memiliki rata – rata selisih sebesar 1,32%. Terlihat pula arus hubung singkat pada saat gangguan 2 fasa memiliki selisih rata – rata 1,33%, 2 fasa ke tanah

memiliki selisih rata – rata 1,2%, dan 1 fase ke tanah memiliki selisih 1,72%.

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 *middle point*, *relay outgoing* dan *relay incoming*. Penentuan *setting* waktu kerja (Top) berdasarkan *grading time* antar peralatan proteksi sesuai IEC 60255 sebesar 0,3-0,5 detik [8]. Berikut merupakan rumus perhitungan *setting relay* OCR, GFR, dan *Middle Point* pada penyulang Luluk Trafo 2 60 MVA GIS Kandang Sapi sesuai dengan standar IEC 60255 [8] dengan karakteristik *standard inverse*.

• **Rumus TMS OCR**

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

• **Rumus TMS GFR**

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

• **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**

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

Sesuai dengan IEC 60255, untuk perhitungan *relay incoming*, digunakan 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].

Tabel 10. Perbandingan *Setting Relay OCR, GFR Incoming Trafo 2 Kondisi Eksisting, Resetting Standard PLN [6] dan Resetting Standard IEC 60255*

Setting	Setting Relay Incoming					
	Eksisting		Resetting Standard PLN		Resetting IEC 60255	
	OCR	GFR	OCR	GFR	OCR	GFR
TMS	0,4	0,272	0,25	0,17	0,181	0,315
I set (A)	2000	300	2000	300	1670	501

Tabel 11. Perbandingan *Setting Relay OCR, GFR Outgoing Kondisi Eksisting, Resetting Standard PLN [6] Dan Resetting Standard IEC 60255*

Setting	Setting Relay Outgoing					
	Eksisting		Resetting Standard PLN		Resetting IEC 60255	
	OCR	GFR	OCR	GFR	OCR	GFR
TMS	0,13	0,1	0,14	0,12	0,1	0,2
I set (A)	300	80	300	80	430	129

Setting relay yang dipasangkan 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 430 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]. Keputusan ini diambil agar memberi kesempatan *relay outgoing* bekerja terlebih dahulu sedangkan *relay incoming* sebagai *back up protection* jika *relay outgoing* gagal bekerja.

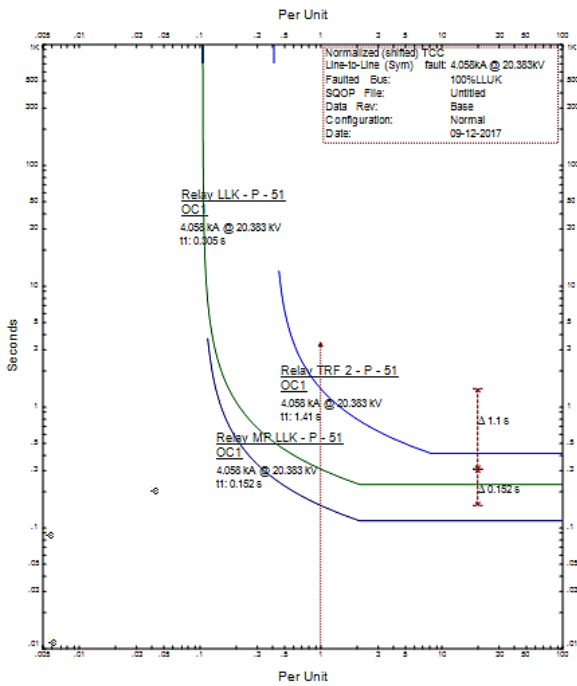
Tabel 12. Perbandingan *Setting Middle Point Kondisi Eksisting, Resetting Standard PLN [6] Dan Resetting Standard IEC 60255*

Setting	Setting Middle Point					
	Eksisting		Resetting Standard PLN		Resetting IEC 60255	
	OCR	GFR	OCR	GFR	OCR	GFR
TMS	-	-	0,05	0,05	0,05	0,1
I set (A)	-	-	210	40	430	129

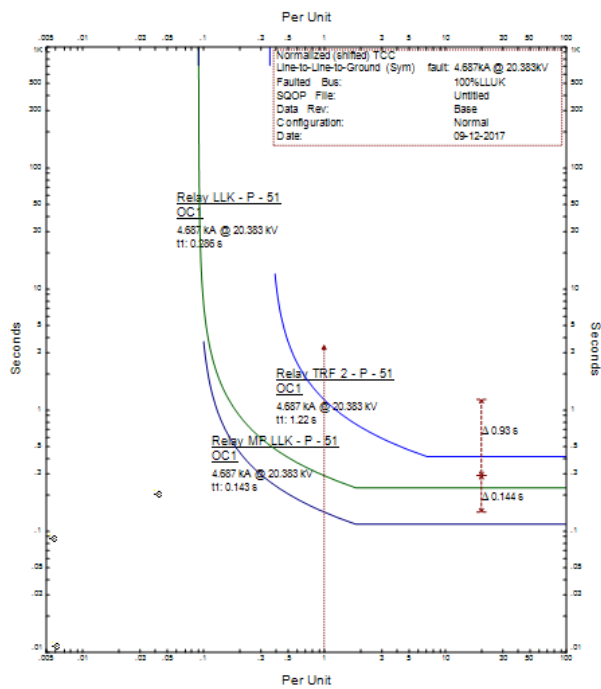
3.4 *Evaluasi Koordinasi Setting Relay OCR, GFR, dan Middle Point*

Berdasarkan simulasi koordinasi sistem proteksi hasil *resetting* berdasarkan IEC 60255 [8], *resetting* berdasarkan *Standard PLN* [6], dan nilai *setting* kondisi eksisting [5], dapat di ketahui waktu kerja peralatan sistem proteksi ketika terjadi gangguan hubung singkat. Berikut adalah gambar kurva arus terhadap waktu yang ditunjukkan oleh Gambar 3 menunjukkan kurva arus terhadap waktu koordinasi proteksi pada penyulang Luluk hasil *resetting* berdasarkan IEC 60255, Gambar 4 menunjukkan kurva arus terhadap waktu koordinasi proteksi pada penyulang Luluk hasil *resetting* berdasarkan *Standard PLN* dan Gambar 5 menunjukkan kurva arus terhadap waktu koordinasi proteksi *setting* eksisting. Tabel 13 hingga Tabel 15 menunjukkan perbandingan waktu kerja peralatan proteksi penyulang Luluk *setting* eksisting, *resetting* berdasarkan *Standard PLN* dan *resetting* berdasarkan IEC 60255

Koordinasi Setting Relay Penyulang Luluk

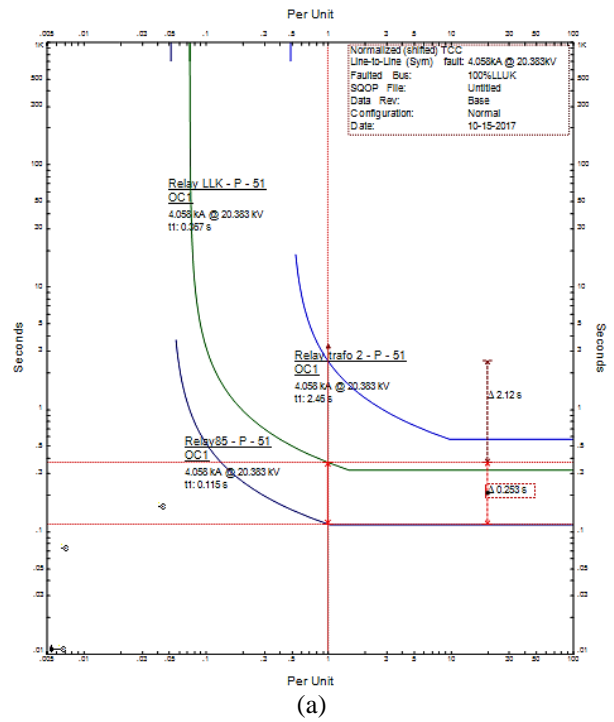


(a)

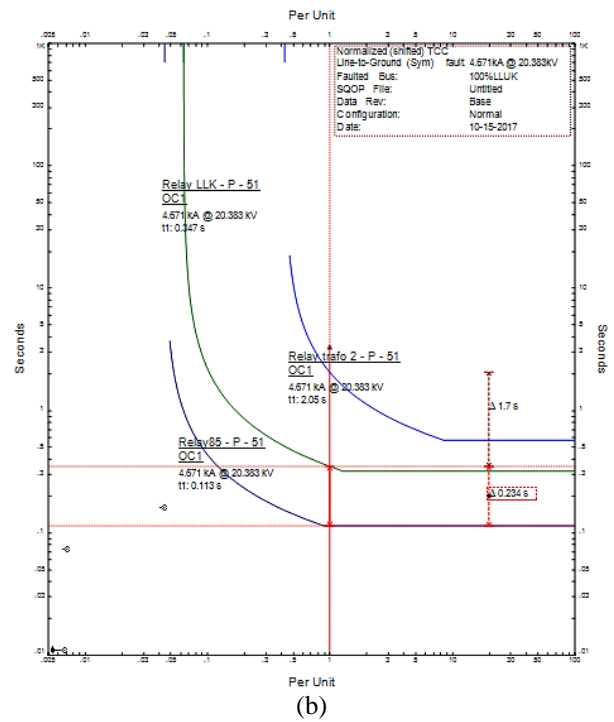


(b)

Gambar 3. Tampilan Kurva Arus-Waktu Koordinasi Relay Hasil *Resetting* Penyulang Luluk berdasarkan IEC 60255 pada ETAP 12.6.0 (a) Kurva TCC OCR, (b) Kurva TCC GFR

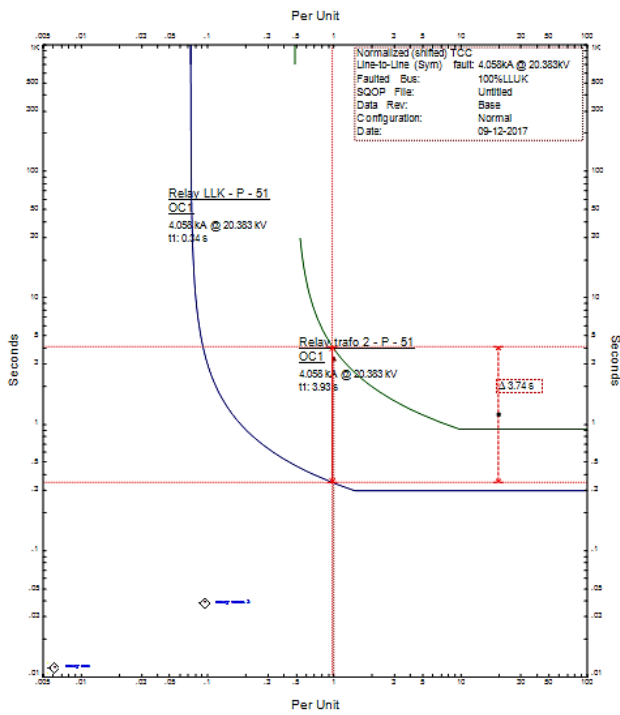


(a)

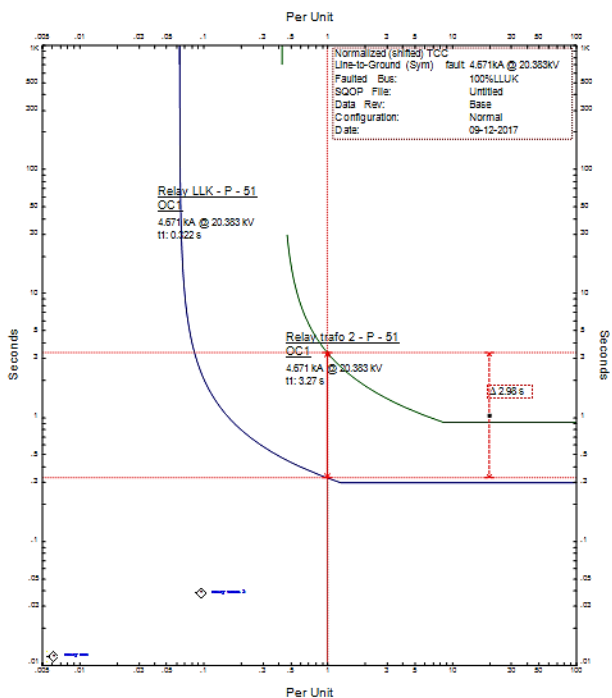


(b)

Gambar 4. Tampilan Kurva Arus-Waktu Koordinasi Relay *Resetting* penyulang Luluk berdasarkan *Standard* PLN pada ETAP 12.6.0 (a) Kurva TCC OCR, (b) Kurva TCC GFR



(a)



(b)

Gambar 5. Tampilan Kurva Arus-Waktu Koordinasi Relay Eksisting penyulang Luluk pada ETAP 12.6.0 (a) Kurva TCC OCR, (b) Kurva TCC GFR

Gambar 3 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 4 menunjukkan kurva koordinasi antara *relay outgoing* dan *incoming* pada kondisi *resetting* berdasarkan *standard PLN* dan Gambar 5 menunjukkan kurva koordinasi antara *relay outgoing* dan *incoming* pada kondisi eksisting. Ketiga gambar kurva hasil *resetting* berdasarkan IEC 60255 dan *Standard PLN* dan kondisi eksisting menunjukkan bahwa tidak ada kurva yang berpotongan baik antara *relay* dengan *relay* maupun *relay* dengan *middle point*.

Tabel 13. Perbandingan waktu operasi *relay OCR incoming* dan *outgoing* pada penyulang Luluk dengan gangguan 3 fasa, 2 fasa, 1 fasa-tanah, dan 2 fasa-tanah dalam kondisi eksisting

ℓ (%)	3 fasa (s)		Line to Line (s)		Line to Ground (s)		2 Line to Ground (s)	
	t _{out}	t _{inc}	t _{out}	t _{inc}	t _{out}	t _{inc}	t _{out}	t _{inc}
0	0,365	1,486	0,365	1,602	0,365	1,50	0,365	1,49
10	0,365	1,606	0,365	1,743	0,365	1,62	0,365	1,61
20	0,365	1,741	0,365	1,904	0,365	1,75	0,365	1,74
30	0,365	1,889	0,365	2,082	0,365	1,90	0,365	1,89
40	0,365	2,048	0,365	2,279	0,365	2,06	0,365	2,05
50	0,365	2,221	0,365	2,495	0,365	2,23	0,365	2,22
60	0,365	2,407	0,371	2,734	0,365	2,42	0,365	2,41
70	0,366	2,608	0,381	2,998	0,366	2,62	0,365	2,61
80	0,375	2,827	0,391	3,303	0,375	2,84	0,375	2,83
90	0,383	3,067	0,401	3,624	0,384	3,08	0,383	3,07
100	0,402	3,331	0,41	3,999	0,392	3,34	0,392	3,33

Tabel 13 menunjukkan waktu operasi *relay incoming* dan *outgoing* dalam kondisi *setting* eksisting. Terlihat bahwa waktu operasi antara *relay outgoing* dan *relay incoming* memiliki interval waktu kerja yang besar. Pada gangguan 3 fasa, terlihat interval antara waktu operasi *relay incoming* dan *outgoing* adalah sebesar 1,121 detik, dimana *standard grading time* yang diizinkan oleh IEC 60255 antar *relay* yang terhubung seri adalah 0,3-0,5 detik. Berdasarkan hal itu maka kondisi *setting* eksisting dinilai kurang baik.

Tabel 14. Perbandingan waktu operasi *relay OCR incoming* dan *outgoing* pada penyulang Luluk dengan gangguan 3 fasa, 2 fasa, 1 fasa-tanah, dan 2 fasa-tanah dalam kondisi *resetting* berdasarkan *Standard PLN*

ℓ (%)	3 fasa (s)		Line to Line (s)		Line to Ground (s)		2 Line to Ground (s)	
	t _{out}	t _{inc}	t _{out}	t _{inc}	t _{out}	t _{inc}	t _{out}	t _{inc}
0	0,387	0,955	0,387	1,03	0,387	0,96	0,387	0,96
10	0,387	1,030	0,387	1,12	0,387	1,04	0,387	1,03
20	0,387	1,115	0,387	1,22	0,387	1,12	0,387	1,12
30	0,387	1,207	0,387	1,33	0,387	1,21	0,387	1,21
40	0,387	1,307	0,387	1,45	0,387	1,31	0,387	1,31
50	0,387	1,414	0,387	1,59	0,387	1,42	0,387	1,42
60	0,387	1,530	0,394	1,74	0,387	1,54	0,387	1,53
70	0,388	1,656	0,405	1,90	0,387	1,66	0,388	1,66
80	0,408	1,793	0,416	2,08	0,389	1,80	0,398	1,79
90	0,407	1,943	0,426	2,29	0,408	1,95	0,407	1,94
100	0,417	2,108	0,437	2,53	0,417	2,12	0,417	2,11

Tabel 14 menunjukkan waktu operasi *relay incoming* dan *outgoing* dalam kondisi *resetting* berdasarkan *Standard PLN*. Terlihat bahwa waktu operasi antara *relay outgoing* dan *relay incoming* memiliki interval waktu kerja yang besar. Pada gangguan 3 fasa, terlihat interval antara waktu operasi *relay incoming* dan *outgoing* adalah sebesar 0,568 detik, dimana *standard grading time* yang diizinkan oleh IEC 60255 antar *relay* yang terhubung seri adalah 0,3-0,5 detik. Berdasarkan hal itu maka kondisi *resetting* berdasarkan *Standard PLN* dinilai kurang baik.

Tabel 15. Perbandingan waktu operasi *relay OCR incoming* dan *outgoing* pada penyulang Luluk dengan gangguan 3 fasa, 2 fasa, 1 fasa-tanah, dan 2 fasa-tanah dalam kondisi *resetting* berdasarkan IEC 60255

ε (%)	3 fasa (s)		Line to Line (s)		Line to Ground (s)		2 Line to Ground (s)	
	t _{Out}	t _{inc}	t _{Out}	t _{inc}	t _{Out}	t _{inc}	t _{Out}	t _{inc}
0	0,297	0,655	0,297	0,63	0,297	0,66	0,297	0,66
10	0,297	0,700	0,297	0,68	0,297	0,70	0,297	0,70
20	0,297	0,750	0,297	0,74	0,297	0,75	0,297	0,75
30	0,297	0,804	0,304	0,80	0,297	0,81	0,297	0,81
40	0,302	0,861	0,314	0,87	0,302	0,84	0,302	0,86
50	0,311	0,922	0,324	0,96	0,312	0,93	0,311	0,92
60	0,32	0,986	0,335	1,03	0,321	0,99	0,32	0,99
70	0,329	1,054	0,345	1,11	0,33	1,06	0,329	1,05
80	0,338	1,126	0,355	1,20	0,339	1,13	0,338	1,13
90	0,347	1,203	0,365	1,30	0,348	1,21	0,347	1,20
100	0,356	1,285	0,375	1,41	0,357	1,29	0,356	1,19

Tabel 15 menunjukkan waktu operasi *relay incoming* dan *outgoing* dalam kondisi *resetting* berdasarkan IEC 60255. Terlihat bahwa waktu operasi antara *relay outgoing* dan *relay incoming* memiliki interval waktu kerja yang besar. Pada gangguan 3 fasa, terlihat interval antara waktu operasi *relay incoming* dan *outgoing* adalah sebesar 0,358 detik, dimana interval tersebut sudah sesuai dengan *standard grading time* yang diizinkan oleh IEC 60255 yaitu sebesar 0,3-0,5 detik. Berdasarkan hal itu maka kondisi *resetting* berdasarkan IEC 60255 dinilai baik.

3.5 Waktu Ketahanan Konduktor terhadap Arus Hubung Singkat

Setiap konduktor 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 Luluk untuk gangguan 3 fase di titik 100%:

I_h 3 fase (100%) : 4278 A

S (luas penampang konduktor) : 240 mm²

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

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

$$t = 2,108 \text{ detik}$$

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

Tabel 16. Perbandingan waktu ketahanan konduktor - waktu kerja *relay incoming* Penyulang Luluk

Durasi Kerja Relay Incoming Eksisting			Durasi Kerja Relay Incoming Resetting IEC 60255			Hasil Perhitungan Waktu Ketahanan Konduktor		
3 fasa	2fa sa	1fa s-g	3 fasa	2 fasa	1fasa-g	3 fasa	2 fasa	1fasa-g
(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)
1,486	1,6	1,5	0,655	0,63	0,66	1,17	1,25	1,17
1,606	1,6	1,6	0,700	0,68	0,70	1,26	1,35	1,27
1,741	1,7	1,7	0,750	0,74	0,75	1,36	1,46	1,37
1,889	1,8	1,9	0,804	0,80	0,81	1,46	1,57	1,47
2,048	1,9	2,0	0,861	0,87	0,84	1,50	1,68	1,57
2,221	2,0	2,2	0,922	0,96	0,93	1,66	1,79	1,67
2,407	2,1	2,4	0,986	1,03	0,99	1,76	1,89	1,76
2,608	2,2	2,6	1,054	1,11	1,06	1,85	1,99	1,85
2,827	2,3	2,8	1,126	1,20	1,13	1,94	2,08	1,94
3,067	2,4	3,0	1,203	1,30	1,21	2,02	2,17	2,03
3,331	2,5	3,3	1,285	1,41	1,29	2,10	2,26	2,11

Tabel 16 Menunjukkan perbandingan waktu ketahanan konduktor dengan waktu kerja *relay incoming* pada kondisi *setting* eksisting, kondisi *resetting* berdasarkan *standard PLN*, dan kondisi *resetting* berdasarkan IEC 60255 pada penyulang Luluk.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi koordinasi proteksi, Hasil *resetting* peralatan proteksi berdasarkan IEC 60255 memiliki nilai TMS yang berbeda dengan *setting* kondisi eksisting dan *resetting* berdasarkan IEC 60255. Perbedaan nilai arus *setting* (I_{set}) dan TMS dikarenakan PT. PLN memiliki pertimbangan tersendiri dalam menentukan *setting* peralatan proteksi. Waktu kerja (Top) *setting* proteksi eksisting dan *resetting* berdasarkan *Standard PLN* ketika terjadi gangguan maksimum pada penyulang Luluk, Dekat, Lahan, Makan, Sarapan, Budidharma 7, Budidharma 8, dan Sruput belum memenuhi *standard* penentuan *grading time* antar peralatan proteksi berdasarkan IEC 60255 yaitu sebesar 0,3 – 0,5 detik. Waktu kerja (Top) hasil *resetting* berdasarkan IEC 60255 dari masing – masing *relay* telah memenuhi *standard* penentuan *grading time* antar peralatan proteksi saat gangguan maksimum berdasarkan IEC 60255 yaitu sebesar 0,3 – 0,5 detik.

Referensi

- [1]. Saadat, Hadi. *"Power System Analysis"*. McGraw Hill. 1999.
- [2]. PT. PLN (Persero) Area Marunda ,Distribusi Jakarta Raya, *"Rencana Pemasangan Middle Point GIS Kandang Sapi"*. 2017
- [3]. I. Abdullah, "Evaluasi Setting Relay OCR, GFR dan Recloser Pasca Rekonfigurasi Jaringan Distribusi pada Trafo 2 Gardu Induk Sronol Semarang Menggunakan ETAP 12.6.0," 2016.
- [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]. PT. PLN (Persero), Distribusi Jakarta Raya, Area Marunda, *Koordinasi Sistem Proteksi Distribusi* .
- [7]. S. Drs. Daman, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Padang, 2009.
- [8]. IEC 60255, *"Overcurrent Protection for Phase and Earth Faults"*.
- [9]. IEEE 242, *Overcurrent Protection.*, 2001.
- [10]. Facta, Mochammad, "KOORDINASI RELAY ARUS LEBIH DAN RECLOSER PADA TRAFU 60 MVA GARDU INDUK PANDEAN LAMPER SEMARANG DENGAN SIMULASI ETAP 11.1.1" TRANSIENT, VOL. 4, NO. 3, SEPTEMBER 2015 page 833-841.
- [11] Nugroho, Wahy 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 page. 471-478