

ANALISIS SETTING RELAI OCR, GFR, DAN RECLOSER PASCA REKONFIGURASI PENYULANG RWO 05 DAN RWO 07 GARDU INDUK RAWALO MENGGUNAKAN ETAP 12.6

Ismail Hasyim Wibisono^{*)}, Hermawan dan Susatyo Handoko

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

^{*)}E-mail: ismailhw21@gmail.com

Abstrak

Untuk menunjang distribusi tenaga listrik yang baik, PT. PLN UP3 Purwokerto melakukan rekonfigurasi pada penyulang RWO05 dan RWO07 di GI Rawalo, dengan tujuan mengurangi pembebanan pada penyulang RWO05. Atas dasar tersebut maka nilai setting peralatan proteksi perlu dilakukan perhitungan ulang agar dapat tetap bekerja secara optimal untuk mengamankan jaringan dari adanya gangguan. Penelitian ini mempelajari tentang koordinasi peralatan proteksi dari relai arus lebih dan recloser pada penyulang RWO05 dan RWO07 baik pada kondisi setting existing maupun setelah dilakukan resetting pasca rekonfigurasi. Berdasarkan hasil analisis, arus hubung singkat maksimum 14395 A pada gangguan 3 fasa dan arus hubung singkat minimum 577 A pada gangguan 2 fasa tanah. Koordinasi proteksi setting existing menunjukkan, apabila terjadi gangguan 2 fasa di titik 75% dan 100% serta gangguan 3 fasa dan 2 fasa tanah di titik 100% penyulang RWO05, relai incoming tidak bekerja sebagai pengaman cadangan. Setelah dilakukan resetting, koordinasi bekerja dengan baik dari pengaman utama yaitu recloser dan relai outgoing kemudian relai incoming akan bekerja sebagai pengaman cadangan. Grading time peralatan proteksi setting existing dan resetting sudah sesuai dengan standar IEC 60255 yaitu 0,3-0,5 detik. Waktu kerja peralatan proteksi lebih cepat dari waktu untuk mencapai ketahanan maksimum dari konduktor.

Kata kunci : Sistem distribusi tenaga listrik, koordinasi proteksi, gangguan hubung singkat, relai, recloser

Abstract

To provide good electrical energy distribution, PT. PLN UP3 Purwokerto reconfigure the RWO05 and RWO07 feeders in Rawalo substation, with purpose to decrease the load carried by RWO05 feeder. Based on that the setting of the protection device need to be recalculate so the protection device can work optimal to protect the network from interference. This research carried out about protection device coordination such as over current relay and recloser on the RWO05 and RWO07 feeders in existing setting or after recalculation that implemented to the reconfiguration condition. Based on the analysis, maximum short circuit is 14395 A occurs in 3 phase fault and the minimum short circuit is 577 A occurs in 2 phase ground fault. Protection device coordination using existing setting showed if 2 phase fault occur in 75% and 100%, 3 phase fault and 2 phase ground fault occur in 100% on RWO05, incoming relay doesn't work as backup protection. After resetting, protection devices coordination are working properly starts from main protection which are recloser and outgoing relay then incoming relay will work as backup protection. Grading time of protection devices in existing and resetting already meet the IEC 60255 standard which is 0,3-0,5 seconds. Operation time of protection device is faster than the time to achieve the capability of conductor.

Keyword: Electrical distribution system, protection device coordination, short circuit fault, relay, recloser

1. Pendahuluan

PT. PLN (Persero) merupakan perusahaan listrik terbesar di Indonesia yang bergerak di bidang pendistribusian dan perusahaan penyedia energi listrik dengan metode yang seoptimal mungkin seiring dengan bertambahnya konsumen. Dalam bidang distribusi, keandalan merupakan hal yang mutlak karena seiring dengan meningkatnya kebutuhan tenaga listrik yang ada pada masyarakat

sehingga PT. PLN (Persero) dituntut untuk mendistribusikan listrik secara memadai dan optimal.

Dalam praktek di lapangan, distribusi tenaga listrik tidak dapat lepas dari kondisi gangguan. Saat terjadi gangguan maka daerah yang terkena gangguan tersebut akan mengalami pemadaman hingga gangguan dapat dihilangkan [1]. Agar pendistribusian tenaga listrik ke konsumen tetap handal maka ketika terjadi gangguan dapat dilakukan rekonfigurasi jaringan yang akan menyuplai

sementara beban di ujung penyulang yang sebelumnya padam.

PT. PLN (Persero) UP3 Purwokerto memiliki satu penyulang yang tidak aktif yaitu RWO 07 yang sumbernya terletak di Gardu Induk Rawalo. Untuk menunjang pendistribusian listrik yang handal maka pihak PT. PLN (Persero) UP3 Purwokerto memutuskan untuk mengaktifkan kembali penyulang RWO 07. Berdasarkan nomor PRK.2019.DJTY.012.02 tahun 2019, pengaktifan kembali penyulang RWO07 ini bertujuan untuk meningkatkan keandalan operasi sistem distribusi dengan peran menjadi penyulang yang ikut memikul beban penyulang RWO 02 dan RWO 05 hingga sebesar 78 Ampere melalui peralihan konfigurasi jaringan dan dapat menjadi opsi pelimpahan beban apabila terjadi gangguan pada penyulang tersebut [2].

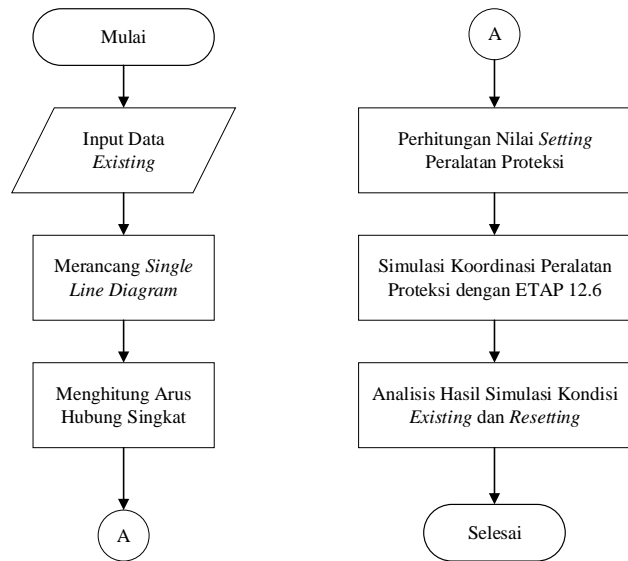
Pada proses rekonfigurasi jaringan tersebut perlu diperhatikan kinerja peralatan proteksi pada penyulang sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi. Hal ini bertujuan agar seluruh peralatan proteksi pada penyulang dapat bekerja secara optimal dan bekerja dengan koordinasi yang benar ketika terjadi gangguan agar sifat selektif pada persyaratan proteksi dapat terpenuhi [3]. Penelitian yang dilakukan oleh Rize [4] mengemukakan bahwa terdapat beberapa faktor yang menjadi penyebab kasus trip pada PMT pada sistem distribusi 20 kV yaitu impedansi saluran, perubahan beban, dan juga analisis arus hubung singkat. Sistem proteksi yang bekerja secara optimal juga dapat menunjang keandalan operasi distribusi tenaga listrik pada PT. PLN (Persero) UP3 Purwokerto.[8]

Berdasarkan hal tersebut, pada tugas akhir ini dirancang suatu desain sistem proteksi OCR, GFR, dan *recloser* pada penyulang RWO 05 dan RWO 07 sesudah dilakukan peralihan konfigurasi dengan menggunakan *software* ETAP 12.6. Metode simulasi dan perhitungan digunakan sebagai pendekatan untuk menentukan spesifikasi serta koordinasi peralatan proteksi yang sesuai dengan standar IEC 60909, IEC 60255, dan SPLN 52-3.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

Tugas akhir ini dilaksanakan dalam beberapa tahap penelitian. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

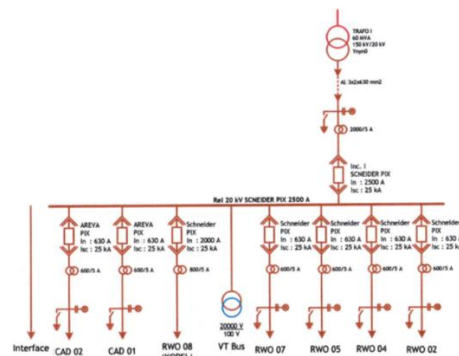


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Dapat dilihat pada Gambar 1 merupakan langkah – langkah metodologi penelitian tugas akhir yang ditempuh oleh penulis. Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data *existing* yang didapat di PT. PLN (Persero) UP3 Purwokerto dan PT. PLN (Persero) UP2D Jateng dan DIY kemudian merancang *single line diagram* menggunakan *software* ETAP 12.6 pada kondisi rekonfigurasi. Selanjutnya dari *single line diagram* dihitung arus hubung singkat menggunakan metode perhitungan dan simulasi sesuai standar IEC 60909-0. Dari data arus hubung singkat dihitung nilai *setting* peralatan proteksi baru sesuai standar IEC 60255 dan SPLN 52-3 1983 yang akan diterapkan pada kondisi rekonfigurasi. Perhitungan *setting* peralatan proteksi kemudian dilihat koordinasinya menggunakan Etap 12.6 dan terakhir dibuat analisis perbandingan hasil simulasi pada kondisi *setting* proteksi *existing* dan kondisi *resetting*.

2.2. Pengumpulan Data

Single line diagram dari Gardu Induk Rawalo Trafo I dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Single Line Diagram Gardu Induk Rawalo

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

Tabel 1. Data Trafo I

Spesifikasi transformator UNINDO 60 MVA	
Merk	UNINDO
Kapasitas	60 MVA
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Vektor Grup	Yyn0+d
Frekuensi	50 Hz
Impedansi	12,5 %
Pendingin	ONAN / ONAF

Tabel 2. Data Grid

Nama GI	MVA hubung singkat
GI Rawalo	6063,13

Tabel 3. Data Relai OCR dan GFR Incoming

Setting Relai Incoming	
Merk	Schneider
Tipe	MICOM P123
Karakteristik	IEC Standard Inverse
Rasio CT	2000/5
I Setting OCR	2080 A
I Setting GFR	690 A
TMS OCR	0,175
TMS GFR	0,45

Tabel 4. Data Relai OCR dan GFR Outgoing

Setting Relai Incoming	
Merk	Schneider
Tipe	MICOM P142
Karakteristik	IEC Standard Inverse
Rasio CT	600/5
I Setting OCR	480 A
I Setting GFR	198 A
TMS OCR	0,16
TMS GFR	0,34

Tabel 5. Data Recloser RWO05

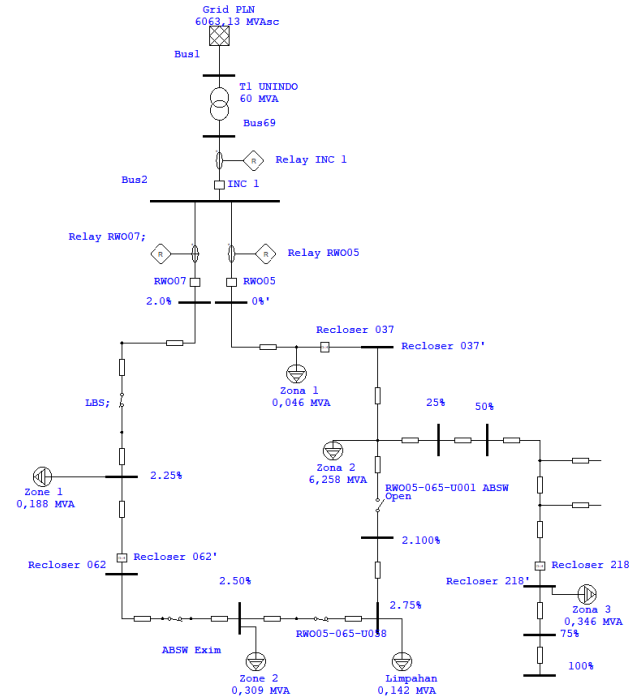
Data Recloser		
Recloser	Recloser 037	Recloser 218
Jarak (km)	2,5	8,973
Karakteristik	IEC Standard Inverse	IEC Standard Inverse
I Setting OCR	430	360
I Setting GFR	120	110
TMS OCR	0,1	0,05
TMS GFR	0,16	0,05

Tabel 6. Data Teknis Konduktor AAAC

Data Konduktor	
Tipe	AAAC
Luas Penampang	240 mm ²
KHA	585 A
Z1=Z2 (ohm/km)	0,1344+j0,3158
Z0 (ohm/km)	0,2824+j1,6033

2.3. Pemodelan

Berdasarkan data *existing* yang diperoleh [5][6] maka dapat dibuat pemodelan *single line diagram* penyulang RWO 05 dan RWO 07 dalam *software* ETAP 12.6 pasca dilakukan rekonfigurasi seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemodelan Single Line Diagram RWO 05 dan RWO 07

3. Analisis dan Pembahasan

Dalam penelitian ini akan membahas dua kondisi *setting* proteksi yaitu kondisi *existing* dan kondisi setelah dilakukan perhitungan ulang atau *resetting*.

3.1. Menentukan Arus Hubung Singkat

Untuk menentukan arus hubung singkat dilakukan dengan 2 metode yaitu perhitungan manual dan simulasi pada *software* ETAP 12.6 pada titik *recloser*, 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang RWO 05 dan RWO 07. Penentuan arus hubung singkat mengacu pada standar perhitungan IEC 60909-0 [7]. Hasil arus hubung singkat yang diperoleh dari perhitungan dan simulasi dapat dilihat pada Tabel 7 hingga Tabel 8.

Tabel 7. Hasil Perhitungan dan Simulasi Arus Hubung Singkat RWO 05

Titik	Arus Hubung Singkat (kA)							
	3 fasa		2 fasa		1 fasa tanah		2 fasa tanah	
	A	B	A	B	A	B	A	B
0%	14,39	14,39	12,22	12,47	14,27	14,27	14,14	14,15
Rec 037	7,38	7,43	6,38	6,43	4,57	4,55	3,31	3,27
25%	5,37	5,39	4,64	4,67	2,99	2,98	2,15	2,06
50%	3,28	3,29	2,84	2,85	1,66	1,66	1,11	1,11
Rec 218	2,66	2,66	2,30	2,31	1,31	1,31	0,87	0,87
75%	2,36	2,36	2,04	2,05	1,15	1,15	0,76	0,76
100%	1,84	1,85	1,59	1,59	0,88	0,88	0,57	0,57
error	1,00%		1,01%		1,00%		0,99%	

Tabel 8. Hasil Perhitungan dan Simulasi Arus Hubung Singkat RWO 07

Titik	Arus Hubung Singkat (kA)							
	3 fasa		2 fasa		1 fasa tanah		2 fasa tanah	
	A	B	A	B	A	B	A	B
0%	14,39	14,39	12,22	12,47	14,27	14,27	14,14	14,15
25%	7,45	7,50	6,44	6,50	4,64	4,61	3,38	3,32
Rec 062	6,68	6,65	5,72	5,76	3,93	3,91	2,79	2,77
50%	5,01	5,03	4,34	4,36	2,75	2,74	1,89	1,88
75%	3,77	3,78	3,26	3,27	1,95	1,95	1,32	1,31
100%	3,02	3,03	2,61	2,62	1,51	1,51	1,10	1,10
error	1,00%		1,01%		1,00%		1,00%	

Keterangan Tabel 7 dan Tabel 8:

- A = Hitung
- B = Simulasi

Arus hubung singkat hasil perhitungan dan hasil simulasi menggunakan software ETAP sudah menunjukkan hasil yang hampir sama dengan rata-rata error sebesar 1% pada setiap jenis gangguannya. Hasil arus hubung singkat akan menjadi semakin kecil seiring dengan bertambah panjangnya saluran, hal ini terjadi karena nilai impedansi yang semakin besar sehingga arus hubung singkatnya semakin kecil.

3.2. Perhitungan Setting Relai OCR, GFR, dan Recloser

Pada perhitungan setting relai OCR, GFR, dan recloser menggunakan standard inverse. Perhitungan dimulai dari recloser, relai outgoing, dan relai incoming. Berikut merupakan rumus perhitungan setting relai OCR, GFR, dan recloser berdasarkan IEC 60255 [8][9][10][11][12][13].

- Rumus TMS

$$tms = \frac{t x \left[\frac{\text{Arus hubung singkat}}{Iset} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \quad (1)$$

- Iset OCR

$$Iset = 1,05 - 1,2 \times \text{Arus beban penuh} \quad (2)$$

- Iset GFR

$$Iset = 30\% - 40\% \times \text{Arus beban penuh} \quad (3)$$

atau

$$Iset = 30\% - 40\% \times \text{Hubung singkat fasa tanah terkecil} \quad (4)$$

Sesuai dengan standar SPLN 52-3:1983 untuk setting buka-tutup recloser diatur sebanyak 3-4 kali dengan jeda waktu antar operasi selama 10 detik [9].

Arus pembebanan yang digunakan untuk menghitung Iset adalah 85% dari arus beban penuh yaitu 1472 A. Nilai ini dipilih karena pada idealnya transformator dioperasikan maksimal 80% dari beban penuhnya dan juga agar Iset hasil perhitungan nilainya lebih kecil dari arus hubung singkat minimum agar relai dapat bekerja.

Hasil analisis setting pada kondisi existing dan resetting yang diterapkan pada kondisi rekonfigurasi didapatkan perbandingan nilai setting yang dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Perbandingan Setting OCR Recloser Kondisi Existing dan Resetting

Setting		Setting Recloser		
		Existing		Resetting
		OCR	OCR Fast	OCR Delay
Recloser 037	TMS	0,1	0,09	0,1
	Iset (A)	430	404,8	404,8
Recloser 218	TMS	0,05	0,05	0,055
	Iset (A)	360	386,4	386,4
Recloser 062	TMS	-	0,05	0,06
	Iset (A)	-	404,8	404,8

Tabel 10. Perbandingan Setting GFR Recloser Kondisi Existing dan Resetting

Setting		Setting Recloser		
		Existing		Resetting
		GFR	GFR Fast	GFR Delay
Recloser 037	TMS	0,16	0,085	0,095
	Iset (A)	120	147	147
Recloser 218	TMS	0,05	0,05	0,06
	Iset (A)	110	110	110
Recloser 062	TMS	-	0,05	0,06
	Iset (A)	-	147	147

Setting pada recloser dihitung berdasarkan persamaan 1 hingga persamaan 4 yang bersumber dari IEC 60255. Karakteristik kurva yang digunakan adalah standard inverse. Waktu operasi pada recloser diatur lebih singkat dari relai outgoing agar recloser dapat bekerja terlebih dahulu sebelum relai outgoing dan incoming bekerja. Pada kondisi existing nilai setting recloser belum ada karena recloser baru dipasang setelah dilakukan rekonfigurasi. Jeda waktu buka tutup pada kondisi existing selama 20 detik dan pada kondisi rekonfigurasi diatur selama 10 detik.

Tabel 11. Perbandingan Setting Relai OCR, GFR Outgoing Kondisi Existing dan Resetting

Setting	Setting Relai Outgoing			
	Existing		Resetting	
	OCR Existing	OCR Hitung	GFR Existing	GFR Hitung
TMS	0,16	0,155	0,34	0,19
Iset (A)	480	441,6	198	231

Dari Tabel 11 dapat dilihat besar arus *setting* atau Iset hasil perhitungan digunakan 441,6 Ampere untuk OCR dan 231 A untuk GFR. Persyaratan yang harus dipenuhi yaitu untuk penyetelan waktu *grading time relay* di penyulang tidak kurang dari 0,3 detik dan tidak lebih dari 0,5 detik [8][10].

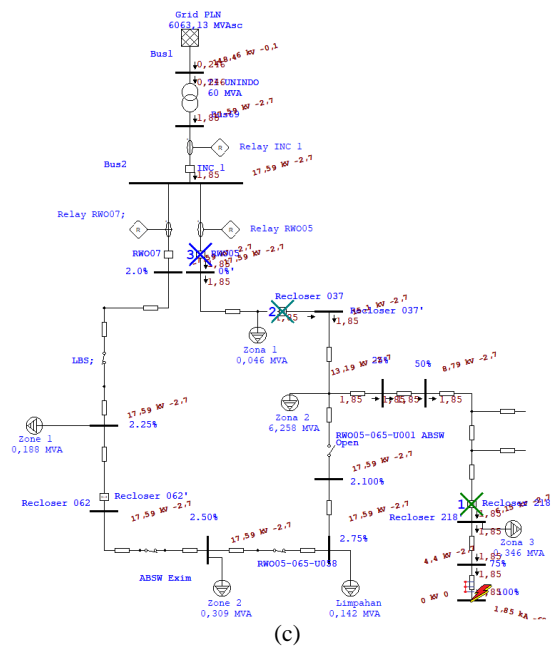
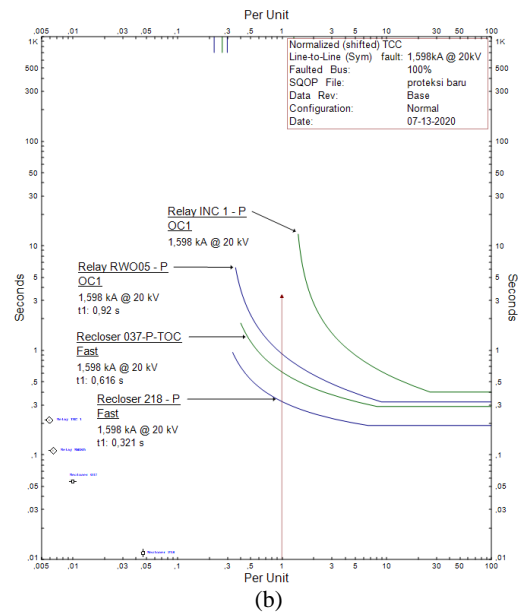
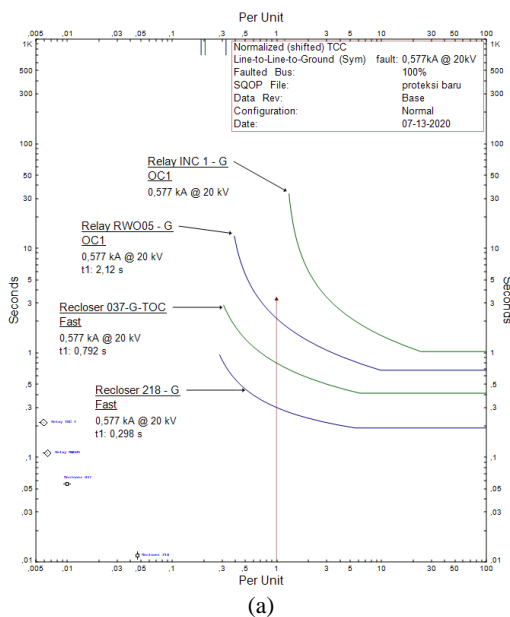
Tabel 12. Perbandingan Setting Relai OCR, GFR *Incoming* Kondisi *Existing* dan Perhitungan

Setting	Setting Relai <i>Incoming</i>			
	OCR <i>Existing</i>	OCR Hitung	GFR <i>Existing</i>	GFR Hitung
TMS	0,175	0,2	0,45	0,332
Iset (A)	2080	1546	690	574

Perhitungan relai *incoming* pada Tabel 12 juga menggunakan standar persamaan dari IEC 60255. Nilai *setting* atau Iset OCR diperoleh 1546 A dan GFR sebesar 574 A. Waktu kerja dari relai *incoming* harus memenuhi *grading time* dengan waktu operasi relai *outgoing* sebesar 0,3-0,5 detik. Hal ini dimaksudkan agar relai di sisi *outgoing* bekerja terlebih dahulu sedangkan relai *incoming* baru akan bekerja sebagai proteksi cadangan apabila relai *outgoing* gagal bekerja.

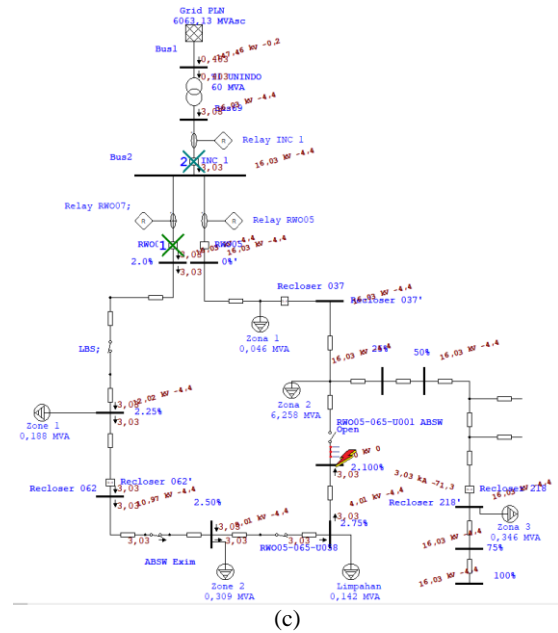
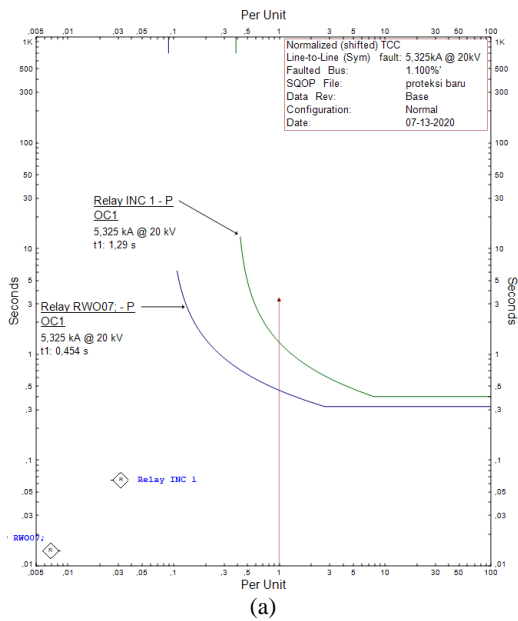
3.3. Analisis Koordinasi Setting Relai OCR, GFR, dan Recloser

Setelah dilakukan perhitungan *setting* relai OCR, GFR, dan *recloser* sesuai standar IEC 60255, dapat diketahui koordinasi peralatan proteksi pada kondisi *existing* dan rekonfigurasi ketika terjadi gangguan hubung singkat dengan simulasi koordinasi peralatan proteksi menggunakan ETAP 12.6. Berikut adalah gambar kurva arus terhadap waktu.

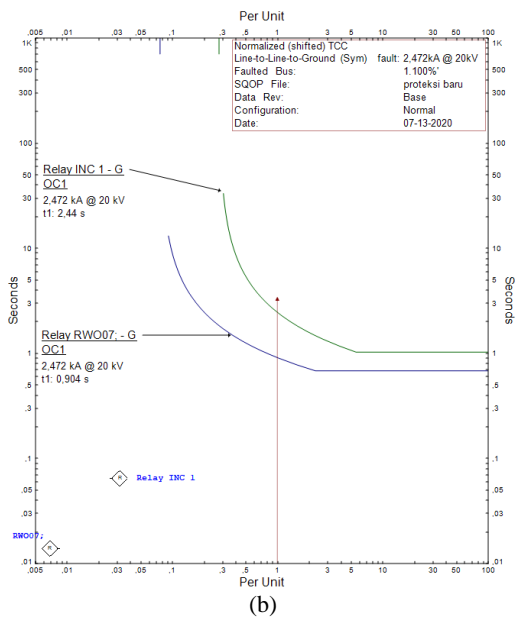


Gambar 4. Tampilan Kurva Arus-Waktu Koordinasi Relai Kondisi *Existing* Penyulang RWO 05 berdasarkan IEC 60255 pada ETAP 12.6 (a) Kurva TCC GFR, (b) Kurva TCC OCR, (c) Urutan Kerja Peralatan Proteksi

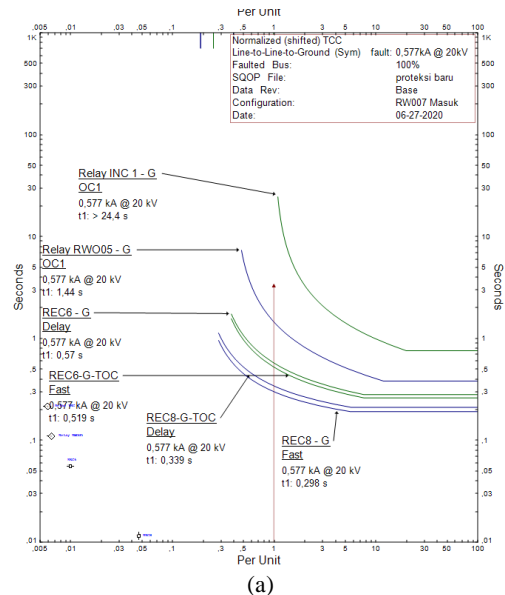
Dari Gambar 4 dapat dilihat untuk relai *incoming* pada kondisi *existing* tidak bekerja pada saat terjadi gangguan 2 fasa, 3 fasa, dan 2 fasa tanah di titik 100. Hal ini terjadi karena nilai Iset lebih besar dari besar arus hubung singkat minimum pada penyulang RWO 05.

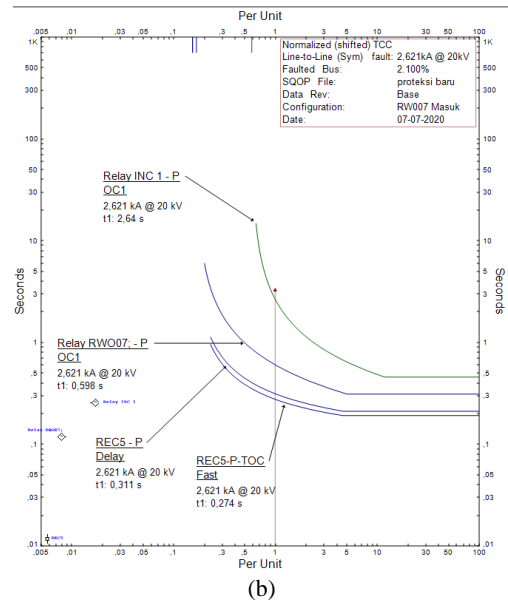
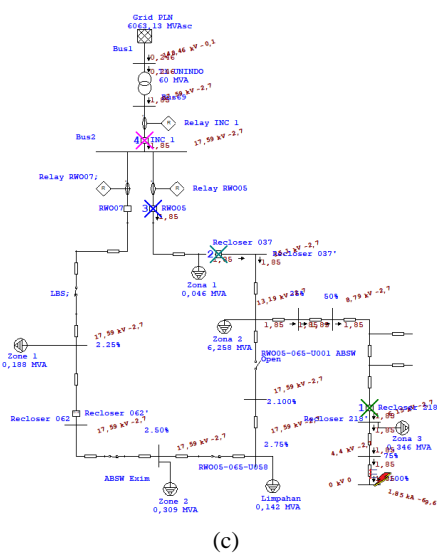
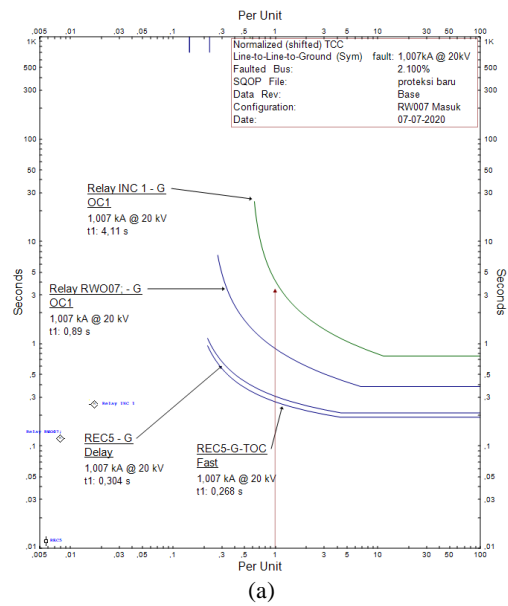
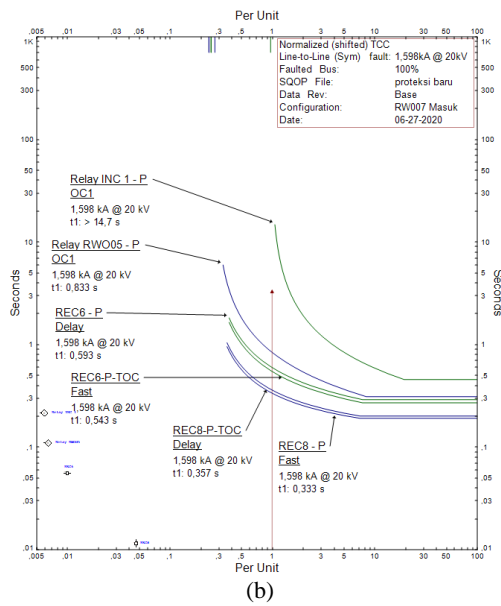


Gambar 5. Tampilan Kurva Arus-Waktu Koordinasi Relay Kondisi Existing Penyulang RWO 07 berdasarkan IEC 60255 pada ETAP 12.6 (a) Kurva TCC GFR, (b) Kurva TCC OCR, (c) Urutan Kerja Peralatan Proteksi



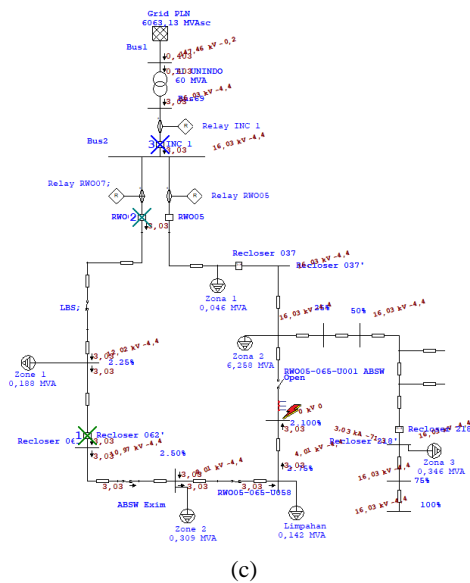
Gambar 5 menunjukkan koordinasi peralatan proteksi pada penyulang RWO 07 dengan *setting existing* sudah baik dimulai dari relai *outgoing* kemudian relai *incoming* sebagai pengaman cadangan.





Gambar 6. Tampilan Kurva Arus-Waktu Koordinasi Relay Kondisi Resetting Penyulang RWO 05 berdasarkan IEC 60255 pada ETAP 12.6 (a) Kurva TCC GFR, (b) Kurva TCC OCR, (c) Urutan Kerja Peralatan Proteksi

Dari Gambar 6 dapat dilihat untuk koordinasi peralatan proteksi pada penyulang RWO 05 kondisi *resetting* sudah baik, dimulai dari *recloser* yang terdekat dengan gangguan, kemudian relai *outgoing* dan relai *incoming* sebagai pengaman cadangan.



(c)

Gambar 7. Tampilan Kurva Arus-Waktu Koordinasi Relay Kondisi Resetting Penyulang RWO 07 berdasarkan IEC 60255 pada ETAP 12.6 (a) Kurva TCC GFR, (b) Kurva TCC OCR, (c) Urutan Kerja Peralatan Proteksi

Koordinasi peralatan proteksi pada penyulang RWO 07 yang ditunjukkan pada Gambar 7 sudah baik. Saat terjadi gangguan di ujung saluran, recloser akan bekerja terlebih dahulu, kemudian relai outgoing, dan diikuti relai incoming sebagai pengamanan cadangan.

3.4. Waktu Kerja Relai OCR, GFR, dan Recloser

Waktu kerja relai OCR, GFR, dan recloser terhadap arus hubung singkat pada penyulang RWO 05 dan RWO 07 dapat dilihat pada kurva arus terhadap waktu tiap-tiap titik pada semua jenis gangguan dengan menggunakan software ETAP 12.6 pada menu star view atau sequence viewer. Waktu kerja peralatan proteksi kondisi existing pada saat terjadi gangguan 3 fasa dan 1 fasa tanah dapat dilihat pada Tabel 13 hingga Tabel 16 dan pada kondisi resetting dapat dilihat pada Tabel 17 hingga Tabel 20.

Tabel 13. Waktu kerja relai OCR RWO 05 gangguan 3 fasa kondisi existing

Titik (%)	Incoming	Outgoing	Recloser 037	Recloser 218
0	0,621	0,318	-	-
Recloser 037	0,95	0,398	0,239	-
25	1,28	0,452	0,27	-
50	2,66	0,571	0,337	-
Recloser 218	4,95	0,643	0,377	0,171
75	9,56	0,691	0,404	0,182
100	tidak kerja	0,821	0,474	0,211

Tabel 14. Waktu kerja relai GFR RWO 05 gangguan 1 fasa tanah kondisi existing

Titik (%)	Incoming	Outgoing	Recloser 037	Recloser 218
0	1,02	0,676	-	-
Recloser 037	1,64	0,736	0,318	-
25	2,12	0,854	0,338	-
50	3,55	1,09	0,415	-
Recloser 218	4,87	1,23	0,457	0,138
75	6,11	1,33	0,484	0,146
100	12,8	1,57	0,55	0,165

Tabel 15. Waktu kerja relai GFR RWO 07 gangguan 3 fasa kondisi existing

Titik (%)	Incoming	Outgoing
0	0,621	0,318
25	0,943	0,396
50	1,37	0,465
75	2,04	0,532
100	3,26	0,597

Tabel 16. Waktu kerja relai GFR RWO 07 gangguan 1 fasa tanah kondisi existing

Titik (%)	Incoming	Outgoing
0	1,02	0,676
25	1,63	0,733
50	2,25	0,882
75	3	1,02
100	3,98	1,15

Tabel 17. Waktu kerja relai OCR RWO 05 gangguan 3 fasa kondisi resetting

Titik (%)	In coming	Out going	Recloser 037 Fast	Recloser 037 Delay	Recloser 218 Fast	Recloser 218 Delay
0	0,614	0,308	-	-	-	-
Recloser 037	0,878	0,374	0,21	0,234	-	-
25	1,11	0,423	0,237	0,264	-	-
50	1,84	0,53	0,295	0,327	-	-
Recloser 218	2,56	0,593	0,328	0,365	0,178	0,196
75	3,28	0,636	0,351	0,39	0,19	0,209
100	7,9	0,748	0,409	0,455	0,22	0,242

Tabel 18. Waktu kerja relai OCR RWO 05 gangguan 3 fasa kondisi resetting

Titik (%)	In coming	Out going	Recloser 037 Fast	Recloser 037 Delay	Recloser 218 Fast	Recloser 218 Delay
0	0,753	0,378	-	-	-	-
Recloser 037	1,1	0,433	0,169	0,189	-	-
25	1,387	0,507	0,192	0,214	-	-
50	2,163	0,661	0,239	0,268	-	-
Recloser 218	2,786	0,752	0,266	0,297	0,138	0,165
75	3,312	0,814	0,283	0,316	0,146	0,175
100	5,392	0,98	0,326	0,365	0,165	0,198

Tabel 19. Waktu kerja relai OCR RWO 07 gangguan 3 fasa kondisi *resetting*

Titik (%)	Incoming	Outgoing	Recloser 062 Fast	Recloser 062 Delay
0	0,614	0,308	-	-
25	0,878	0,374	-	-
Recloser 062	0,974	0,396	0,124	0,148
50	1,172	0,435	0,135	0,163
75	1,552	0,495	0,153	0,184
100	2,071	0,553	0,171	0,205

Tabel 20. Waktu kerja relai GFR RWO 07 gangguan 1 fasa tanah kondisi *resetting*

Titik (%)	Incoming	Outgoing	Recloser 062 Fast	Recloser 062 Delay
0	0,753	0,378	-	-
25	1,1	0,433	-	-
Recloser 062	1,224	0,466	0,105	0,126
50	1,463	0,524	0,116	0,139
75	1,877	0,61	0,132	0,158
100	2,373	0,694	0,147	0,176

Pada Tabel 13 hingga Tabel 20 dapat dilihat bahwa untuk relai OCR dan GFR hasil *resetting* memiliki waktu kerja yang lebih cepat dibandingkan pada saat menggunakan *setting* kondisi *existing*.

3.5. Grading Time Relay to Relay

Standar IEC 60255 menerangkan bahwa *grading time* antara relai *incoming* dan relai *outgoing* pada titik terdekat dengan sumber harus bernilai 0,3-0,5 detik. *Grading time* pada kondisi *existing* dan *resetting* dapat dilihat pada Tabel 23.

Tabel 21. Perbandingan *Grading Time* Kondisi *Existing* dan *Resetting*

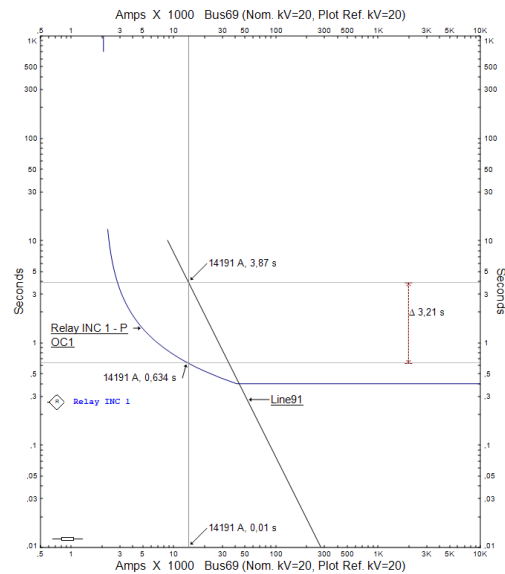
Jenis Gangguan	Kondisi Setting	Waktu Kerja Relai (s)		Grading Time (s)
		Incoming	Outgoing	
1 Fasa Tanah	<i>Existing</i>	1,02	0,676	0,344
	Rekonfigurasi	0,753	0,378	0,375
2 Fasa Tanah	<i>Existing</i>	1,02	0,676	0,344
	Rekonfigurasi	0,753	0,378	0,375
2 Fasa	<i>Existing</i>	0,672	0,333	0,339
	Rekonfigurasi	0,657	0,314	0,343
3 Fasa	<i>Existing</i>	0,621	0,318	0,303
	Rekonfigurasi	0,614	0,308	0,306

Grading time relay to relay pada kondisi *existing* dan kondisi rekonfigurasi sudah memenuhi standar IEC 60255 yaitu dalam skala 0,3-0,5 detik [8][10].

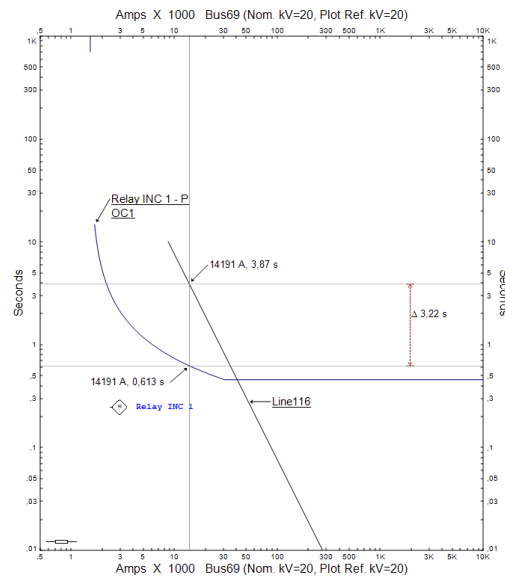
3.6. Waktu Ketahanan Konduktor

Gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi akan membuat suhu dari konduktor mengalami kenaikan akibat dari arus gangguan sesaat tersebut. Berdasarkan hal itu maka konduktor memiliki batas waktu tertentu untuk menahan arus hubung singkat yang mengalir sebelum arus gangguan ditiadakan oleh peralatan proteksi. Untuk mengetahui waktu ketahanan konduktor dapat

menggunakan kurva arus waktu pada *software* ETAP seperti pada Gambar 8 dan Gambar 9 berikut.



Gambar 8. Waktu Ketahanan Konduktor Kondisi *Existing*



Gambar 9. Waktu Ketahanan Konduktor Kondisi *Resetting*

Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan apabila terjadi gangguan sebesar 14191 A, konduktor mampu menahan arus gangguan tersebut hingga 3,87 detik. Namun relai *incoming* akan bekerja pada waktu 0,634 detik pada *setting existing* dan 0,613 detik pada kondisi *resetting* untuk memutus arus gangguan sehingga konduktor aman dari kerusakan. Relai *incoming* dipilih sebagai acuan untuk melihat waktu ketahanan konduktor karena waktu kerjanya yang paling lambat dibanding peralatan proteksi lainnya [14][15].

4. Kesimpulan

Arus hubung singkat yang terjadi pada penyulang RWO 05 dan RWO 07 setelah rekonfigurasi memiliki nilai yang hampir sama antara perhitungan dan simulasi pada ETAP 12.6 dengan rata-rata selisih untuk semua jenis gangguan sebesar 1%. Nilai *setting* proteksi relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR) setelah dilakukan *resetting* memiliki rata-rata waktu kerja yang lebih cepat dibandingkan dengan waktu kerja pada *setting existing*. Untuk *grading time* pada kondisi *existing* maupun *resetting* sudah memenuhi standar IEC 60255 dengan jeda waktu 0,3-0,5 detik. Koordinasi proteksi *existing* khususnya relai *incoming* (OCR) yang berperan sebagai proteksi cadangan tidak bekerja pada saat terjadi gangguan 3 fasa di titik 100%, gangguan 2 fasa di titik 75% dan 100% pada penyulang RWO 05. Kemudian untuk relai *incoming* (GFR) kondisi *existing* juga tidak bekerja pada saat terjadi gangguan 2 fasa tanah di titik 100% penyulang RWO 05. Relai *incoming* yang tidak trip saat terjadi gangguan disebabkan nilai Iset primernya melebihi arus hubung singkat minimum pada penyulang, sehingga pada relai *incoming* belum memenuhi kriteria sensitif. Koordinasi peralatan proteksi kondisi *resetting* sudah bekerja dengan baik sesuai yang ditampilkan pada kurva arus terhadap waktu, dimana kurva tiap-tiap peralatan tidak ada yang saling memotong satu sama lain. Koordinasi dimulai trip proteksi utama dari *recloser* di sisi penyulang dan relai *outgoing* kemudian diikuti trip proteksi cadangan di sisi *incoming* apabila proteksi utama gagal bekerja, sehingga peralatan proteksi pada kondisi *resetting* sudah memenuhi kriteria sensitif dan selektif. *Setting* waktu trip pada setiap relai pada kondisi *existing* maupun kondisi *resetting* masih mampu bekerja mengatasi arus gangguan sebelum arus gangguan menyentuh waktu pengrusakan/ketahanan konduktor.

Referensi

- [1]. Suswanto, Daman. 2009. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Pertama*, Padang
- [2]. PT. PLN (Persero) UP3 Purwokerto. 2019. Pembangunan Joint Feeder RWO 05 & RWO 07, Nomor : PRK.2019.DJTY.012.02
- [3]. Fahri Z.A. 2019. Redesain Sistem Proteksi Gedung Farmasi 1 PT. Konimex Solo. Universitas Diponegoro. Skripsi. Semarang
- [4]. Ramadhan T, Rize. 2014. Studi Koordinasi Sistem Pengaman Penyulang Trafo IV di Gardu Induk Waru. Univeritas Brawijaya. Malang
- [5]. PT. PLN (Persero) UP2D Jateng DIY. 2018. Single Line Diagram Gardu Induk Rawalo 20 KV.
- [6]. PT, PLN (Persero) UP3 Purwokerto, 2019. Data penghantar, Data Trafo 30 MVA dan 60 MVA, Data Beban, Data *Setting* Relay Proteksi dan Recloser.
- [7]. IEC 60909-0, "Calculation of currents" dalam *Short-circuit currents in threephase a.c. systems*, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2001.
- [8]. IEC 60255, Overcurrent Protection for Phase and Earth Faults.
- [9]. *SPLN 52-3 Pola Pengamanan Sistem Bagian Tiga : Sistem Distribusi 6 kV dan 20 kV*, SPLN 1983, 1983 *SPLN 68-2 Tingkat jaminan system tenaga listrik Bagian dua: Sistem distribusi*, SPLN 1986, 1986
- [10]. M.P. Kusuma., J. Windarta., M. Facta. 2017. 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. *Transient*, Vol.6, No.4, Desember 2017, ISSN: 2302-9927, 684
- [11]. Bonar, P. 2012 *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta, Indonesia: CV ANDI OFFSET
- [12]. Hadi Saadat. *Power System Analysis*. McGraw Hill. 1999.
- [13]. *Schneider Electric, Overcurrent Protection for Phase and Earthfaults, Network Protection & Automation Guide*
- [14]. Andri L., Hermawan, dan A. Nugroho. 2018. Evaluasi Koordinasi Proteksi Relay Arus Lebih Dan Relay Gangguan Tanah Pada Penyulang Kedonganan Dan Gardenia GI Nusa Dua Menggunakan Etap 12.6.0. *Transient*, Vol. 7, No. 1, Maret 2018, ISSN: 2302-9927, 278
- [15]. Muhamad P.K., J. Windarta., M. Facta. 2017. 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. *Transient*, Vol.6, No.4, Desember 2017, ISSN: 2302-9927, 684