

ANALISIS DAN PENENTUAN KOORDINASI PROTEKSI RELE ARUS LEBIH SISTEM TEGANGAN MENENGAH DAN TEGANGAN RENDAH DI AREA PEMBEBANAN SENDIRI PLTP DARAJAT

Yoga Fajar Setiaji^{*)}, Hermawan dan Mochammad Facta

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

^{*)}E-mail : setiajiyoga53@gmail.com

Abstrak

Sistem proteksi sangat penting untuk menjaga kontinuitas dan meningkatkan keandalan sistem kelistrikan. Sistem proteksi yang efektif dan selektif sangat penting dipilih untuk mengatasi adanya gangguan. Skema proteksi yang paling cocok layak untuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Darajat sebagai salah satu pembangkit listrik yang memasok kebutuhan listrik di Jawa-Bali. Jaringan beban internal yang terdapat di pembangkit listrik memerlukan skema proteksi yang sesuai, sehingga pembangkit listrik tetap beroperasi karena gangguan hubung singkat terjadi pada beban sendiri. Dalam penelitian ini dilakukan analisis dan penentuan koordinasi proteksi sistem tegangan menengah dan rendah sebagai bagian dari perlindungan jaringan internal dan beban. Penyelidikan awal untuk kondisi arus beban eksisting, ditemukan beberapa ketidaksesuaian koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan tanah yaitu urutan *trip*, setting *pick up*, dan waktu tunda. Ketidaksesuaian tersebut tidak mengikuti standar IEEE 242-2001 dimana *grading time* adalah 0.2-0.4 s. Perhitungan lebih lanjut dan simulasi pengujian sebagai bagian dari analisis memberikan skema pengaturan ulang mengikuti standar yang dirujuk. Rekomendasi dikeluarkan untuk *grading* waktu rele utama dan cadangan dalam *interval* waktu dari 0,2-0,235 detik.

Kata Kunci : koordinasi proteksi, rele arus lebih, rele gangguan tanah, IEEE 242-2001

Abstract

Protection systems are essential to keep continuity and increase the reliability of electrical system. An effective and selective protection system is crucial to be properly selected to overcome faults. A most matched protection scheme is worthy for PLTP Darajat as one of the electrical generations supplying the power needs in Java-Bali. An internal load network presented in the power plant requires suitable scheme protection, so the power plant keeps operating as the short circuit fault occurs on self loads. In this work, an analysis and determination of the coordination of the protection of the medium and low voltage systems as part of internal network and load are carried out. Early investigation for existing load current condition, it is found that there are several mismatched in the coordination of overcurrent relays and ground fault relays is the trip sequence, pick up settings, and time delays. Those mismatches are not following the IEEE 242-2001 standard where the grading time is 0.2-0.4s. Further calculations and tests simulations as part of the analysis provide a resetting scheme following the referred standards. Recommendations were issued for the grading time of the main and the backup relay in the interval of time from 0.2-0.235 seconds.

Keyword: protection coordination, overcurrent relay, ground fault relay, IEEE 242-2001

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Darajat salah satu pembangkit yang menggunakan panas bumi sebagai sumber energi utama [1][2]. Untuk memenuhi kebutuhan kelistrikan pelanggan dan pemakaian sendiri PLTP Darajat memiliki sistem kelistrikan tersendiri. Ada beberapa macam gangguan diantaranya hubung singkat, beban lebih, tegangan lebih, kekurangan daya dan ketidakstabilan sistem [3]. Untuk melindungi peralatan-peralatan di PLTP Darajat maka perlu diadakannya sistem

koordinasi proteksi guna untuk mengurangi bahkan menghilangkan gangguan ketika terjadi gangguan internal di PLTP Darajat [4]. Pemilihan kapasitas rele sebaiknya tidak hanya menghitung arus nominal yang mengalir, tetapi juga memperhatikan arus hubung singkat yang dapat mengalir dalam jaringan [5]. Selain itu, koordinasi antar proteksi juga harus diperhatikan agar sifat selektif pada persyaratan proteksi dapat terpenuhi [6].

Berdasarkan hal tersebut, Tugas Akhir ini membahas analisis koordinasi proteksi pada pembebanan pembangkit

sendiri sistem tegangan menengah dan tegangan rendah PLTP Darajat untuk melindungi peralatan-peralatan dari adanya gangguan sehingga sistem kelistrikan yang disupply oleh PLTP Darajat tetap dalam kondisi handal dan stabil. Analisis ini menggunakan software ETAP 16.0 sebagai alat bantu [7]. Metode simulasi dan perhitungan digunakan dalam menentukan setting alat proteksi dan koordinasinya dengan mengacu pada standar IEEE 242-2001 dimana *grading time* koordinasi rele sebesar 0,2-0,4 s. [2]

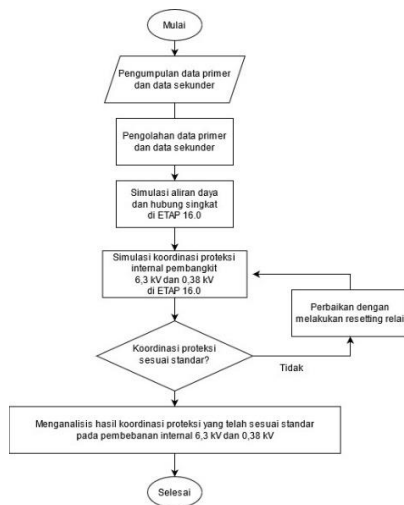
2. Metode

2.1. Permasalahan

Permasalahan proteksi pada pembebanan sendiri PLTP Darajat diantaranya:

- Koordinasi rele OCR-GFR masih belum sesuai dengan urutan yang seharusnya.
- Grading time* dalam koordinasi rele tidak memenuhi standar yang terdapat pada IEEE 242-2001 [2].
- Penentuan *delay time* pada rele masih belum sesuai [8].

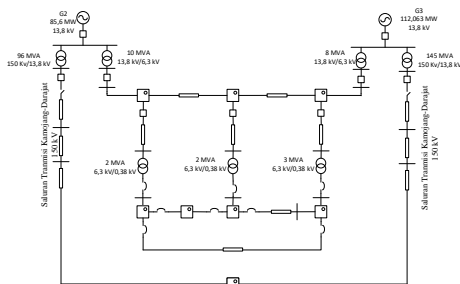
2.2. Langkah Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.3. Data Penelitian

2.3.1. Single Line Diagram PLTP Darajat



Gambar 2. SLD PLTP Darajat

2.3.2. Data sistem

Tabel 1. Data trafo 2MP-XFMR-02

Parameter	Spesifikasi
Merk	Hyundai Step Down Transformer
Daya Output	10 MVA
Jumlah Fasa	Tiga Fasa
Frekuensi	50 Hz
Tegangan	13.8/6.3 kV
Connection	Delta / Star
Impedansi (Z%)	7.5 %
Vektor Grup	Dyn11
Tipe Pendingin	ONAN/ONAF 65 C
Grounding	Solid grounding di sisi tegangan tinggi

Tabel 2. Data trafo 3TR-XFMR-201

Parameter	Spesifikasi
Merk	Hyundai Step Down Transformer
Daya Output	8 MVA
Jumlah Fasa	Tiga Fasa
Frekuensi	50 Hz
Tegangan	13.8/6.3 kV
Connection	Delta / Star
Impedansi (Z%)	8 %
Vektor Grup	Dyn11
Tipe Pendingin	ONAN/ONAF 65 C
Grounding	Solid grounding di sisi tegangan tinggi

Tabel 3. Data Motor Induksi CW Pump Unit 2

Parameter	Spesifikasi
Daya	225 kW / 298 kVA
Jumlah Fasa	Tiga Fasa
Frekuensi	50 Hz
Tegangan	6.3 kV
RPM	1500
Rasio X/R	4.493
Full Load Ampere (FLA)	27.29
Pole	4
Slip	0.05 %
Model	Single-cage with deep-bars

Tabel 4. Data Motor Induksi Hot Well Pump Unit 3

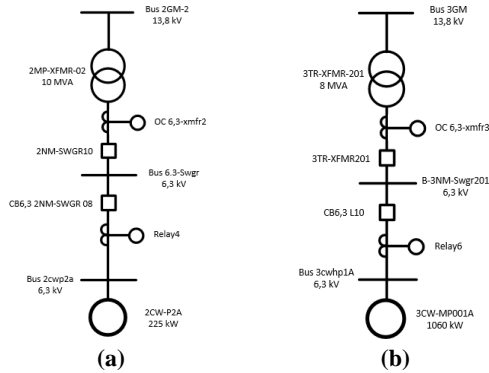
Parameter	Spesifikasi
Daya	1060 kW / 1311 kVA
Jumlah Fasa	Tiga Fasa
Frekuensi	50 Hz
Tegangan	6.3 kV
RPM	429
Rasio X/R	7.002
Full Load Ampere (FLA)	120.2
Pole	14
Slip	1.63 %
Model	Single-cage with deep-bars

3. Hasil dan Analisis

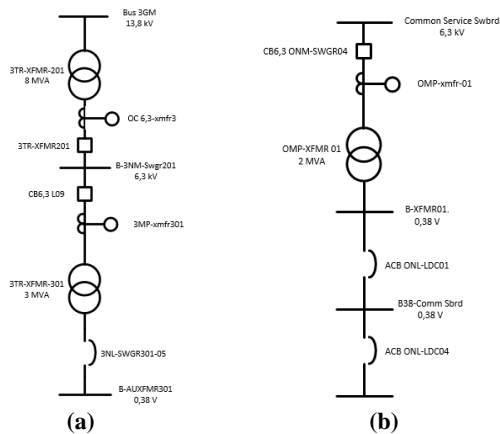
3.1. Penentuan Tipikal

Tipikal adalah model/kelompok dimana dapat mewakili sekumpulan hal yang sama [9]. Penentuan tipikal ditujukan agar lebih mudah dalam melakukan analisis suatu sistem koordinasi proteksi. Namun, ketika melakukan pengujian tetap menggunakan sistem secara keseluruhan (tidak terpisah pisah menjadi tipikal). Selain itu, penentuan

tipikal ini juga memudahkan dalam melakukan setting ulang terhadap proteksi yang lainnya dalam tipikal yang sama [10].



Gambar 3. (a) Single line diagram tipikal 1
(b) Single line diagram tipikal 2



Gambar 4. (a) Single line diagram tipikal 3
(b) Single line diagram tipikal 4

Pada gambar 3 dan gambar 4 merupakan tipikal dimana pada titi-titik tersebut sering terjadi gangguan, sehingga perlu dilakukan analisis koordinasi proteksi.

3.2. Simulasi Arus Gangguan Hubung Singkat

Tabel 5. Data hubung singkat minimum

Bus	Tegangan (kV)	Isc Max (kA)
Bus 6.3-Swgr	6.3	12.427
Common Service Swbrd	6.3	12.380
B-3NM-Swgr201	6.3	10.456
Bus 2cwp2a2	6.3	12.056
Bus 3cwhp1A2	6.3	10.326
Bus-Xfmr3	6.3	12.225
Bus Xfmr1	6.3	12.287
Bus Xfmr301	6.3	10.394
Bus 2NL-LDC #2	0.38	35.476
B-AUXFMR301	0.38	52.999
B-XFMR01	0.38	26.945
B38-Comm Sbrd	0.38	25.875

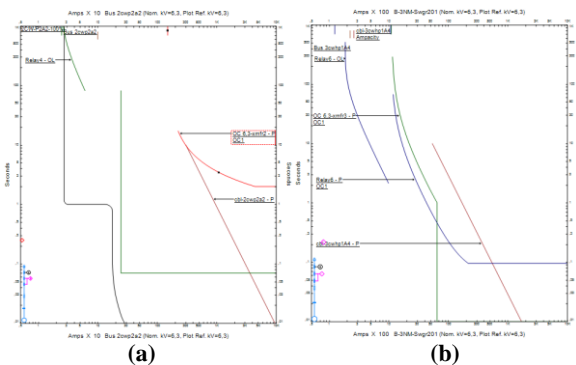
Berdasarkan tabel 5 mengenai hubung singkat minimum dengan cara melakukan simulasi hubung singkat 2 fasa (Line to Line pada ETAP 16.0 [11]. Untuk hasil hubung singkat minimum, terbesar terletak pada bus B-AUXFMR301 dengan nilai Isc min sebesar 52,999 kA. Sedangkan hubung singkat minimum terkecil terletak pada bus Bus 3cwhp1A2 dengan Isc min sebesar 10,326 kA.

Tabel 6. Data hubung singkat maksimum

Bus	Tegangan (kV)	Isc Max (kA)
Bus 6.3-Swgr	6.3	15.901
Common Service Swbrd	6.3	15.840
B-3NM-Swgr201	6.3	13.351
Bus 2cwp2a2	6.3	15.410
Bus 3cwhp1A2	6.3	13.181
Bus-Xfmr3	6.3	15.639
Bus Xfmr1	6.3	15.718
Bus Xfmr301	6.3	13.273
Bus 2NL-LDC #2	0.38	48.713
B-AUXFMR301	0.38	73.086
B-XFMR01	0.38	36.121
B38-Comm Sbrd	0.38	34.682
B-ONK-EMCC301	0.38	30.099

Berdasarkan tabel 6 mengenai hubung singkat maksimum dengan cara melakukan simulasi hubung singkat 3 fasa pada ETAP 16.0. Untuk hasil hubung singkat maksimum, terbesar terletak pada bus B-AUXFMR301 dengan nilai Isc max sebesar 73,086 kA. Sedangkan hubung singkat maksimum terkecil terletak pada bus Bus 3cwhp1A2 dengan Isc max sebesar 13,181 kA [12].

3.3. Peninjauan Sistem Proteksi Eksisting

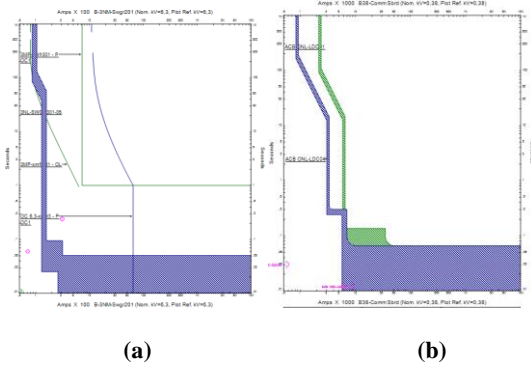


Gambar 5. (a) Kurva arus-waktu OCR tipikal 1
(b) Kurva arus-waktu OCR tipikal 2

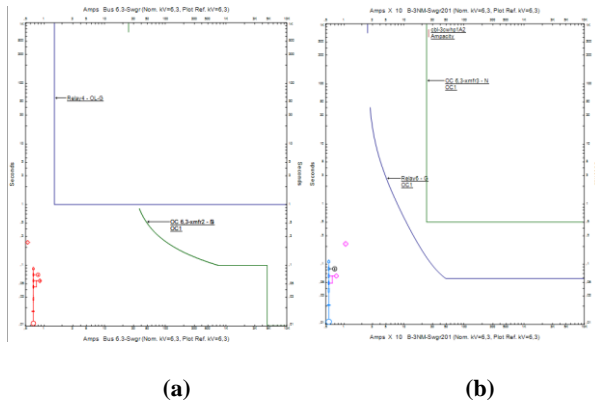
Pada gambar 5 hingga gambar 8 merupakan kurva arus-waktu OCR-GFR kondisi eksisting dimana terdapat beberapa penyetelan yang masih belum sesuai dengan standar. Contoh pada tipikal gambar 1 dimana terdapat ketidak tepatan setingan yakni:

- Pada Rele OC 6,3-xmfr2 tidak ada setting untuk instanenessnya sehingga ketika terjadi hubung singkat belum ada yang memutus secara instan/cepat.
- Pada Rele OC 6,3-xmfr2 pengaturan time delay kurang tepat, sebab ketika terjadi gangguan beroperasinya

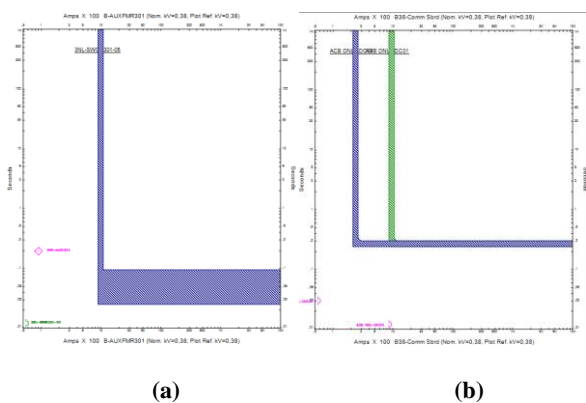
lumayan lambat disekitaran 3 koma sekian detik sehingga rele tersebut kurang cepat dalam mengisolir gangguan.



Gambar 6. (a) Kurva arus-waktu OCR tipikal 3
(b) Kurva arus-waktu OCR tipikal 4



Gambar 7. (a) Kurva arus-waktu GFR tipikal 1
(b) Kurva arus-waktu GFR tipikal 2



Gambar 8. (a) Kurva kurva arus-waktu GFR tipikal 3
(b) Kurva kurva arus-waktu GFR tipikal 4

3.4. Rekomendasi Perbaikan Sistem Proteksi

3.4.1. Perhitungan OCR

Perhitungan setting OCR dapat dilihat pada persamaan dibawah sesuai dengan IEC 60255 [6][13]:

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}} \quad (1)$$

$$Pick \ up = \frac{I_{set}}{CT \ ratio} \quad (2)$$

$$T_d = \frac{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}{k} \times t \quad (3)$$

Tabel 7. Konstanta karakteristik rele arus lebih

Tipe Kurva	α	k
Standard Inverse	0,02	0,14
Very Invers	1,00	13,50
Extremely Invers	2,00	80,00
Long Time Invers	1,00	120

3.4.2. Perhitungan GFR

Perhitungan setting GFR dapat dilihat pada persamaan dibawah sesuai dengan IEC 60255[6] [13]:

$$I_{set} = 0,4 \times I_{FLA} \quad (4)$$

$$Pick \ up = \frac{I_{set}}{CT \ primer} \quad (5)$$

$$T_d = \frac{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}{k} \times t \quad (6)$$

3.4.3. Standar IEEE 242-2001

Jarak antar rele dalam bekerja (*grading time*) adalah 0,2 detik hingga 0,4 detik.

Berikut merupakan salah satu perhitungan untuk setting OCR pada rele OC 6.3-xmfr2

OC 6.3-xmfr2

- Manufacturer : Schweitzer
- Model : 172 A
- Tipe Kurva : *Standard Inverse*
- Rasio CT : 1250 / 5
- Isc min Bus 6.3-Swgr : 12,427 kA
- Isc max Bus 6.3-Swgr : 15,901 kA

FLA Sekunder Trafo 2MP-XFMR-02 : 916,4 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ Sekunder Trafo 2MP-XFMR-02} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ min Bus 6.3-Swgr}}$$

$$1,05 \times 916,4 < I_{set} < 0,8 \times 12427$$

$$962,22 < I_{set} < 9941,6$$

$$I_{set} = 1008 \text{ A (Standar OCR 110\%)}$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \ ratio} = \frac{1008}{\frac{1250}{5}} = 4,03$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 s

$$t = \frac{k \times T_d}{\left[\left(\frac{I_{sc \ max}}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}{k} = \frac{\left[\left(\frac{15901}{1008} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} \times t$$

$$T_d = \frac{0,3 \times 2,970 [0,05]}{0,14} = 0,3 \text{ s}$$

Instantaneous Pickup

$$I \leq 0,8 \times I_{scmin} \text{ Bus 6.3-Swgr}$$

$$I \leq 0,8 \times 12427$$

$$I \leq 9941,6$$

$$I = 3174 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{rasio CT}} = \frac{3174}{\frac{1250}{5}} = 12,7$$

Time Delay

Time delay dipilih 0.27 s

Dengan langkah yang sama digunakan untuk melakukan perhitungan kepada setiap rele yang ada pada tipikal 1-4. Hasil keseluruhan setting OCR dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekomendasi Perbaikan OCR

Rele	Rekomendasi Perbaikan
OC 6,3-xmfr2	- Resetting Overcurrent Pick up = 4,03 ; Time dial = 0,12 s
Relay6	- Penambahan setting instaneous Pick up = 12,7 ; Delay = 0,27 s - Resetting Overcurrent Pick up = 0,66 ; Time dial = 0,138 s
OC 6.3-xmfr3	- Penambahan setting instaneous Pick up = 2,12 ; Delay = 0,06 s - Resetting Overcurrent Pick up = 0,67 ; Time dial = 0,17 s
3NL-SWGR301-05	- Resetting Instaneous Pick up = 2,12 ; Delay = 0,26 s LT Pick Up = 1 LT Band = 1 ST Pick Up = 1,5 ST Band = 6 Inst Pick Up = 7
3MP-xmfr301	- Resetting Overcurrent Pick up = 0,38 ; Time dial = 0,25 s - Resetting Instaneous Pick up = 1,2 ; Delay = 0,25 s
ACB ONL-LDC04	LT Pick Up = 1 LT Band = 7 ST Pick Up = 4 ST Band = 0,1 Inst Pick Up = 2
ACB ONL-LDC05	LT Pick Up = 1 LT Band = 1 ST Pick Up = 3 ST Band = 0,3 Inst Pick Up = Off

Berikut merupakan salah satu perhitungan untuk setting GFR pada Relay4.

Relay4

Manufacturer : Schweitzer
Model : 710
CT ratio : 50/5

Manufactur : Schweitzer
Model : 710
Rasio CT : 50/5
FLA 2CW-P2A2 : 27,29 A
 $I_{sc L-G}$: 438 A

$$I_{set} = 0,4 \times 2CW-P2A2 = 10,916 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ primer}} = \frac{10,916}{50/5} = 1,09$$

$$T_d = \left[\frac{\left(\frac{I_{sc L-G}}{I_{set}} \right)^a - 1}{k} \right] \times t$$

$$= \left[\frac{\left(\frac{438}{10,916} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \right] \times 0,2 = 0,109 \text{ s}$$

Instantaneous Pickup

$$\frac{(5-10\%)I_{sc L-G}}{\text{rasio CT}} < I < \frac{(5-10\%)I_{sc L-G}}{\text{rasio CT}}$$

$$\frac{(5-10\%)183,3}{\frac{50}{5}} < I < \frac{50\%183,3}{\frac{50}{5}}$$

$$(0,9 - 1,8) < I < 9$$

$$I = 3 \text{ A}$$

Time delay dipilih 0,06 s

Dengan langkah yang sama digunakan untuk melakukan perhitungan kepada setiap rele yang ada pad tipikal 1-4. Hasil keseluruhan setting GFR dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekomendasi Perbaikan GFR

Rele	Rekomendasi Perbaikan
Relay 4	Pick up = 1,09 ; Time dial = 0,109 s
OC 6,3-xmfr2	Inst Pick up = 3 ; Time delay = 0,06 s Pick up = 1,46 ; Time dial = 0,01 s
Relay6	Inst Pick up = 25 ; Time delay = 0,27 s Pick up = 0,48 ; Time dial = 0,063 s
OC 6.3-xmfr3	Inst Pick up = 5 ; Time delay = 0,3 s Pick up = 0,243 ; Time dial = 0,02 s
3NL-SWGR301-05	Inst Pick up = 2,4 ; Time delay = 0,06 s Ground Pickup = 0,2 Ground Band = 1
3MP-xmfr301	Pick up = 0,137 ; Time dial = 0,08 s Inst Pick up = 1,2 ; Time delay = 0,28 s
ACB ONL-LDC04	Ground Pickup = 0,25 Ground Band = 0,1
ACB ONL-LDC05	Ground Pickup = 0,3 Ground Band = 0,3

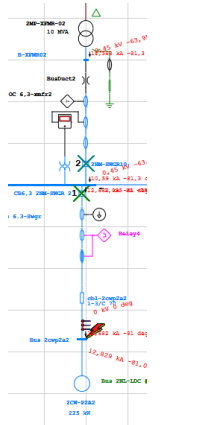
3.5. Pengujian Koordinasi Proteksi Hasil Rekomendasi

Mekasnisme peninjauan koordinasi proteksi hasil rekomendasi dilakukan dengan memberikan gangguan hubung singkat 3 fasa untuk pengujian OCR dan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah untuk pengujian GFR [14]. Dapat dilihat urutan CB mana saja yang membuka satu persatu. Selain itu juga dapat dilihat keterangan waktu pada detik berapa saja rele bekerja dan dapat dilihat *grading time* kerja antara rele utama dengan rele cadangan. Sehingga digunakan sebagai bahan analisis koordinasi dan dapat menjelaskan bahwasanya rekomendasi yang diberikan telah lulus terhadap simulasi pengujian dengan metode diatas [15].

3.5.1. Proteksi OCR

Dari hasil pengujian koordinasi proteksi hasil rekomendasi koordinasi OCR dapat dilihat dari gambar 9 hingga gambar 16. Pengujian koordinasi proteksi OCR dilakukan dengan

memberikan gangguan hubung singkat 3 fasa. Sebagai contoh untuk koordinasi OCR pada tipikal 1 ketika diberi gangguan hubung singkat 3 pada bus CWP, rele pertama yang bekerja adalah Relay4 pada waktu 70 ms karena rele ini adalah rele yang paling dekat dengan lokasi gangguan, kemudian rele kedua sebagai *back up* adalah OC 6,3-xmfr2 pada waktu 270 ms. Dari Relay4 ke OC 6,3-xmfr2 terdapat *grading time* sebesar 0,2 s, waktu tersebut telah sesuai dengan standar IEEE 242-2001, dimana standar yang diatur adalah 0,2 s hingga 0,4 s.



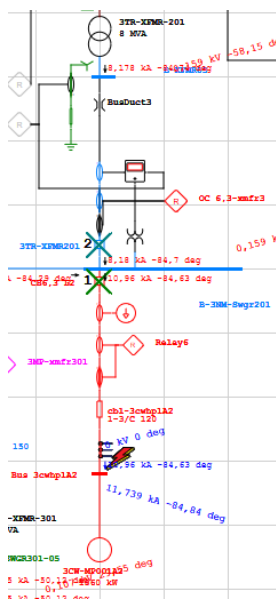
Gambar 9. Koordinasi proteksi OCR tipikal 1

Sequence-of-Operation Events - Output Report: cobacoba

3Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus 3cwp2a2

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
70.0	Relay4	12,682	70.0		Overload Phase - Instantaneous
140	CB6.3 2M...	70.0	70.0		Tripped by Relay4 Overload Phase - Instantaneous
270	OC 6,3xmfr2	10,588	270		Phase - OC1 - 50
310	2M-SVG...	40.0			Tripped by OC 6,3xmfr2 Phase - OC1 - 50

Gambar 10. Urutan kerja OCR tipikal 1



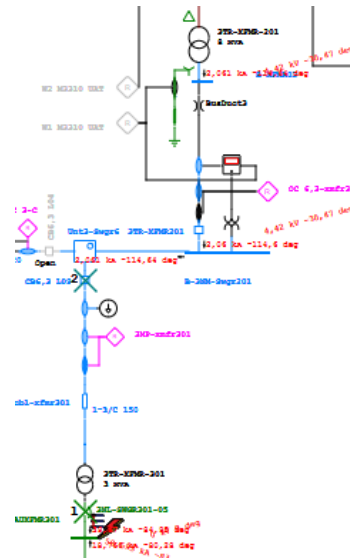
Gambar 11. Koordinasi proteksi OCR tipikal 2

Sequence-of-Operation Events - Output Report: cobacoba

3Phase (Symmetrical) fault on connector between Bus 3cwhp1A2 & 3CW-MP001A2. Adjacent bus: Bus 3cwhp1A2

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
60.0	Relay6	10,96	60.0		Phase - OC1 - 50
130	CB6.3 L2	70.0	70.0		Tripped by Relay6 Phase - OC1 - 50
260	OC 6,3-xmfr3	8,178	260		Phase - OC1 - 50 (TOC blocked by IDC)
330	3TR-XFMR...	70.0			Tripped by OC 6,3-xmfr3 Phase - OC1 - 50 (TOC...

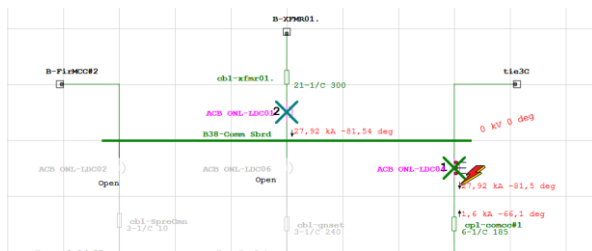
Gambar 12. Urutan kerja OCR tipikal 2



Gambar 13. Koordinasi proteksi OCR tipikal 3

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
350	CB6.3 T03	10.0			Tripped by 3M-XMFR301 Phase - OC1 - 20
520	3M-XMFR301	5.203	520		Phase - OC1 - 20
800	3M-XMFR...	10.053	1000	800	Phase

Gambar 14. Urutan kerja OCR tipikal 3



Gambar 15. Koordinasi proteksi OCR tipikal 4

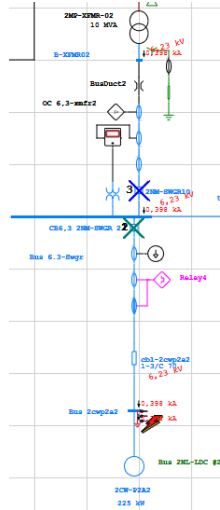
Sequence-of-Operation Events - Output Report: cobacoba

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between cpl-comcc#1 & ACB ONL-LDC04. Adjacent bus: B:38-Comm Sbrd

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
65.0	ACB ONL-LDC04	27,92	10,0	65,0	Phase
300	ACB ONL-LDC01	27,92	240	300	Phase

Gambar 16. Urutan kerja OCR tipikal 4

3.5.2. Proteksi GFR



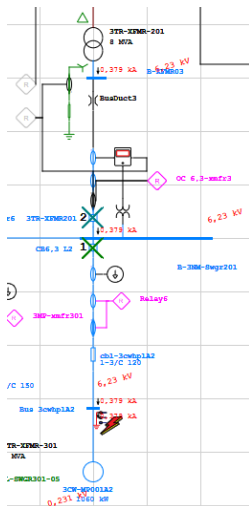
Gambar 17. Koordinasi proteksi GFR tipikal 1

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

Line-to-Ground (Symmetrical) fault on connector between Bus 2cwp2a2 & 2CW-P2A2. Adjacent bus: Bus 2cwp2a2

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
50.0	Relay4	0.398	60.0		Overload Ground
70.0	Relay4	0.395	70.0		Overload Phase - Instantaneous
130	CB6.3 2NM...		70.0		Tripped by Relay4 Overload Ground
140	CB6.3 2NM...		70.0		Tripped by Relay4 Overload Phase - Instantaneous
270	OC 6.3-xmfr2	0.398	270		Neutral - OC1 - 50 (TOC blocked by IOC)
270	OC 6.3-xmfr2	0.398	270		Ground - OC1 - 50 (TOC blocked by IOC)
310	2NM-SwG...	40.0			Tripped by OC 6.3-xmfr2 Neutral - OC1 - 50 (TOC ...)
310	2NM-SwG...	40.0			Tripped by OC 6.3-xmfr2 Ground - OC1 - 50 (TOC ...)

Gambar 18. Urutan kerja GFR tipikal 1



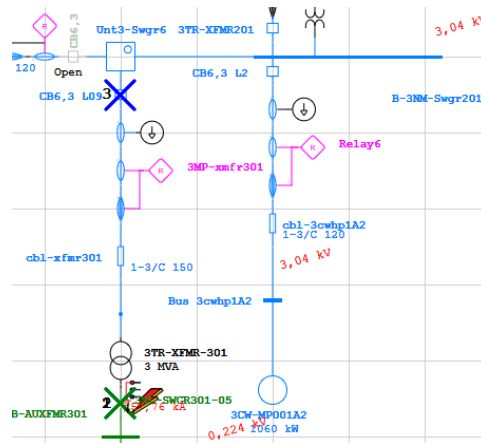
Gambar 19. Koordinasi proteksi GFR tipikal 2

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

Line-to-Ground (Symmetrical) fault on connector between Bus 3cwhp1A2 & 3CW-MP001A2. Adjacent bus: Bus 3cwhp1A2

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
70.0	Relay6	0.379	70.0		Ground - OC1 - 50 (TOC blocked by IOC)
140	CB6.3 L2		70.0		Tripped by Relay6 Ground - OC1 - 50 (TOC block...
300	OC 6.3-xmfr3	0.379	300		Ground - OC1 - 50
370	3TR-XFMR...		70.0		Tripped by OC 6.3-xmfr3 Ground - OC1 - 50

Gambar 20. Urutan kerja GFR tipikal 2



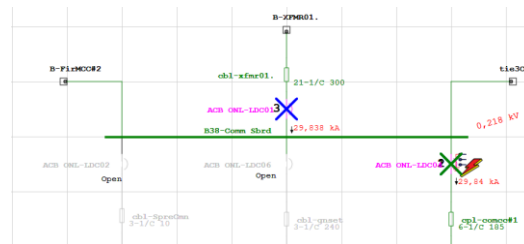
Gambar 21. Koordinasi proteksi GFR tipikal 3

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

Line-to-Ground (Symmetrical) fault on connector between B-ALDXFMR301 & 3NL-SWGR301-05. Adjacent bus: B-ALDXFMR301

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
50.0	3NL-SWGR...	45.608	10.0	50.0	Phase
94.0	3NL-SWGR...	57.764	25.0	94.0	Ground
250	3MP-xmfr301	1.449	250		Phase - OC1 - 50
320	CB6.3 L09		70.0		Tripped by 3MP-xmfr301 Phase - OC1 - 50

Gambar 22. Urutan kerja GFR tipikal 3



Gambar 23. Koordinasi proteksi GFR tipikal 4

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

Line-to-Ground (Symmetrical) fault on connector between cpl-comccB1 & ACB ONL-LDC04. Adjacent bus: B38-Comm Sbrd

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
65.0	ACB ONL-LDC04	28.795	10.0	65.0	Phase
135	ACB ONL-LDC04	29.838	60.0	135	Ground
300	ACB ONL-LDC01	28.795	240	300	Phase
300	ACB ONL-LDC01	29.838	240	300	Ground

Gambar 24. Urutan kerja GFR tipikal 4

Dari hasil pengujian koordinasi proteksi GFR hasil rekomendasi dapat dilihat dari gambar 17 hingga gambar 24. Pengujian koordinasi proteksi GFR dilakukan dengan memberikan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah. Sebagai contoh untuk koordinasi GFR pada tipikal 2 ketika diberi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada bus HWP, rele pertama yang bekerja adalah Relay6 pada waktu 70 ms karena rele ini adalah rele yang paling dekat dengan lokasi gangguan, kemudian rele kedua sebagai *back up* adalah OC 6,3-xmfr3 pada waktu 300 ms. Dari Relay6 ke OC 6,3-xmfr3 terdapat *grading time* sebesar 0,23 s, waktu tersebut telah sesuai dengan standar IEEE 242-2001, dimana standar yang diatur adalah 0,2 s hingga 0,4 s.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, perbaikan dilakukan dengan perhitungan kemudian dilakukan pengujian dengan memberikan gangguan 3 fasa untuk rele arus lebih dan gangguan 1 fasa ke tanah untuk rele gangguan tanah. Hasil dari rekomendasi misalnya pada rele utama ketika terjadi gangguan di motor HWP, Relay6 *pick up* 0,66 *time dial* 0,138 s dan OC 6.3-xmfr3 dengan *pick up* 0,67 *time dial* 0,17 s sebagai rele cadangan. Selain itu, berdasarkan perhitungan penentuan nilai dan koordinasi pada PLTP Darajat, didapatkan hasil yang sesuai dengan standar IEEE 242-2001 dimana untuk grading time antara rele utama dengan rele cadangan berada di antara 0,2 detik hingga 0,235 detik.

Referensi

- [1] Hadi Saadat. Power System Analysis. McGraw Hill. 1999.
- [2] IEEE 242, "Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System", Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2001.
- [3] Anderson, P.M, "Power System Protection", John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998.
- [4] Wahyudi, "Diklat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik", Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2004.
- [5] Cahier Technique No. 158. "Calculation of Short Circuit Currents", Shneider Electric, 2005.
- [6] IEC 60255, Overcurrent Protection for Phase and Earth Faults
- [7] Preve, Christophe, "Protection of Electrical Networks", ISTE Ltd., London, Ch.5, 2009.
- [8] Penangsang, Ontoseno, *Diklat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2*. Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2006.
- [9] Schneider Electric, *Overcurrent Protection for Phase and Earthfaults, Network Protection & Automation Guide*
- [10] IEC 60909-0, "Calculation of currents" dalam *Short-circuit currents in threephase a.c. systems*, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2001.
- [11] Service Manual Type MCGG "Overcurrent Relays for Phase and Earth Fault", Alstom.
- [12] J. Lewis Blackburn, Thomas J. Domin., 2006. *Protective Relaying Principle and Applications* Third Edition. Florida: CRC Press Taylor and Francis Group.
- [13] Bonar, P.2012 *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta, Indonesia: CV ANDI OFFSET
- [14] *SPLN 59 Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV*, SPLN 1985, 1985
- [15] PT. PLN (Persero) Pusat Pengatur Beban, 2018. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Sistem Jawa Bali Semester 1 Tahun 2018.