

## Studi Koordinasi Proteksi Transformator Pemakaian Sendiri Pada Unit-4 PLTP Kamojang Menggunakan ETAP 12.6.0

Ardhi Bahrul Mubarak<sup>1</sup>, Supriyanto<sup>2</sup>, Heri Budi Utomo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

<sup>1</sup>E-mail: [ardhi.bahrul.tlis19@polban.ac.id](mailto:ardhi.bahrul.tlis19@polban.ac.id)

<sup>2</sup>E-mail: [\\*supriyanto\\_suhono@polban.ac.id](mailto:*supriyanto_suhono@polban.ac.id)

<sup>3</sup>E-mail: [iatki.hbu@gmail.com](mailto:iatki.hbu@gmail.com)

\*E-mail korespondensi

### ABSTRAK

Sistem pembangkit di PLTP Unit-4 Kamojang terdapat transformator pemakaian sendiri TR-1412 yang digunakan untuk mencatu kebutuhan eksiter generator, pompa – pompa, dan penerangan dipembangkit. Proteksi transformator terdiri *overcurrent relay*, *ground fault relay*, *differential relay* dan *standby earth fault relay*. Tujuan penelitian ini yaitu menguji koordinasi proteksi dengan skema gangguan internal dan eksternal trafo menggunakan ETAP. Metode yang dilakukan yaitu pembuatan *single line diagram* ETAP dengan parameter dan nilai *setting* data lapangan. Melakukan simulasi *load flow* untuk memvalidasi *single line diagram* dengan melihat gangguan kritikal. Memeriksa kinerja koordinasi proteksi terhadap gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, dua fasa dan tiga fasa menggunakan *sequence of operation event*. Dari hasil pengujian *load flow* tidak terdapat gangguan *critical*. Hasil pengujian koordinasi proteksi gangguan internal tiga fasa dan dua fasa, *differential relay* berhasil memutuskan arus gangguan pada primer trafo terlebih dahulu dengan waktu pemutusan 40ms sesuai nilai *setting*. Untuk gangguan eksternal tiga fasa dan dua fasa sebesar 7.276kA dan 6.311kA, OCR berkoordinasi dengan baik dengan respon waktu 1809ms terhadap gangguan tiga fasa dan 1902ms terhadap gangguan dua fasa. Disini memperlihatkan bahwa OCR bekerja dengan baik, karena pemutusan pertama ada pada CB yang dengan dengan titik gangguan.

### Kata Kunci

OCR, *differential relay*, ETAP

### PENDAHULUAN

Sistem pembangkit di PLTP Unit-4 Kamojang terdapat transformator pemakaian sendiri TR-1412 yang digunakan untuk mencatu kebutuhan eksiter generator, pompa – pompa, dan penerangan dipembangkit. Proteksi transformator terdiri *overcurrent relay* dan *differential relay*. Untuk skema gangguan terdapat dua, yaitu gangguan internal dan eksternal trafo. Karena peralatan pada Transformator tenaga membutuhkan proteksi untuk mengatasi terjadinya gangguan yang diakibatkan oleh arus lebih dan hubung singkat. [1]

Koordinasi proteksi untuk gangguan internal, *differential relay* sebagai rele pengamanan utama dan *overcurrent relay* sebagai pengamanan cadangan. Koordinasi proteksi untuk gangguan eksternal, *overcurrent relay* disisi sekunder sebagai pengamanan utama dan

*overcurrent relay* disisi primer sebagai pengamanan cadangan.

Penelitian yang akan ditampilkan dalam paper ini adalah pembahasan kinerja rele proteksi dalam berkoordinasi dan kinerja rele proteksi dalam melakukan respon pemutusan terhadap gangguan pada pembangkit Unit-4 PLTP Kamojang menggunakan *software* ETAP. Dengan urgensi yaitu belum pernah dilakukan simulasi dan pemodelan *power plant* menggunakan *software* ETAP pada PLTP Unit-4 Kamojang. Beberapa faktor yang diamati yaitu, waktu pemutusan rele, dan grafik kurva arus waktu. Sehingga dari data faktor tersebut kita dapat mengetahui dan melakukan evaluasi kinerja koordinasi proteksi rele pada *power plant* Unit-4 PLTP Kamojang.

## 2 Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan gangguan transient yang terjadi akibat hubungan antar fasa atau fasa dengan netral. Sehingga terjadi kenaikan nilai arus.[2] dari kenaikan nilai arus ini juga akan mengakibatkan kenaikan suhu dan degradasi komponen listrik.

Gangguan asimetris, yang dapat menyebabkan arus dan tegangan pada tiap fasa tidak seimbang, diantaranya:

- Hubung singkat fasa ketanah yang terjadi akibat penghantar fasa dan *ground* terjadi flashover dan gangguan ini bersifat temporer. [3]
- Hubung singkat dua fasa yang terjadi akibat fasa dan fasa yang tersusun secara vertikal. [3]

Gangguan simetris, yang terjadi pada setiap fasa maka tegangan dan arus akan tetap seimbang walaupun setelah gangguan terjadi, diantaranya:

- Hubung singkat tiga fasa yang terjadi akibat ketiga fasa terhubung satu sama lain. [3]

## 3 Sistem Proteksi

### 4 Overcurrent Relay (OCR)

Rele arus lebih bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan jangka waktu tertentu. [4] Fungsi utama dari rele arus lebih ini adalah untuk mendeteksi adanya arus lebih kemudian memberi perintah kepada *circuit breaker* untuk membuka *open*. Rele proteksi ini dipasang pada current transformator untuk melakukan pemutusan pada daerah eksternal transformator.

### 5 Differential Relay

Rele diferensial bekerja dengan cara membandingkan dua besaran arus pada sisi primer dan arus pada sisi sekunder pada transformator arus (CT) serta arus yang masuk ke rele.[5] Daerah proteksi dari rele diferensial adalah internal trafo. Sehingga rele diferensial hanya akan bekerja terhadap gangguan yang terjadi dititik internal trafo.

## 6 Koordinasi Rele Proteksi

Pada saat terjadi gangguan tiga fasa dan dua fasa pada internal trafo maka *differential relay* sebagai pengaman utama. Pada gangguan eksternal, *overcurrent relay* sebagai pengaman utama.

## METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan yaitu pembuatan *single line diagram* ETAP dengan parameter yang terpasang dan *setting* sesuai data lapangan. Pemodelan ini belum pernah

dilakukan pada PLTP Unit-4 Kamojang menggunakan *software* ETAP.

Melakukan simulasi *load flow* untuk memvalidasi *single line diagram* dengan melihat gangguan kritikal. *Load flow* analisis dilakukan untuk mengetahui *power plant* Unit-4 PLTP Kamojang ini bisa *run* tanpa adanya *error*.

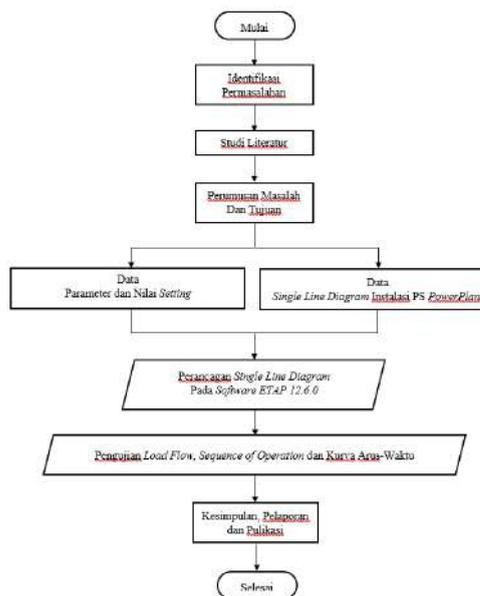
Memeriksa kinerja koordinasi proteksi terhadap gangguan internal dan eksternal dua fasa dan tiga fasa menggunakan *sequence of operation event*. *Sequence of operation event* adalah *tools* yang disediakan *software* ETAP untuk melihat waktu kerja rele proteksi ini. Sedangkan untuk melihat hasil grafik kurva arus-waktu yaitu menggunakan *tools star protective device*.

Setelah itu dilakukan analisis terhadap koordinasi proteksi baik gangguan tiga fasa dan dua fasa diinternal dan eksternal dilihat dari grafik kurva arus waktu. Selanjutnya, dilakukan evaluasi menurut *sequence of operation event*.

Pada penelitian ini yang menjadi pembaruan dari penelitian lain yaitu menggunakan *software* ETAP dalam melakukan simulasi gangguan internal dan eksternal. Sedangkan pada penelitian yang lain hanya melakukan perbandingan antara hasil perhitungan dan hasil data lapangan tanpa dilakukan simulasi.

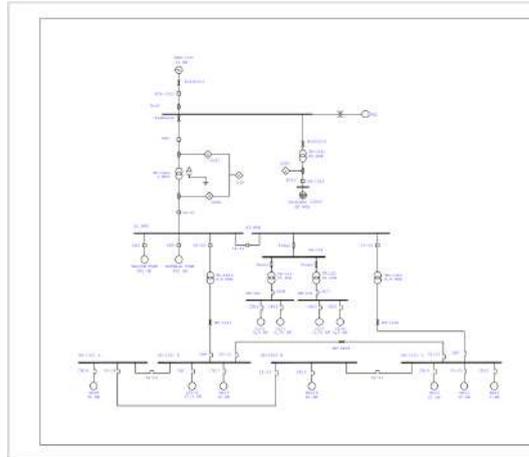
## DISKUSI DAN PEMBAHASAN

### 8 Urutan Metode Penelitian



Gambar 24. Diagram alir

## 9 Pemodelan Single Line Diagram



Gambar 25. Pemodelan single line diagram PLTP Unit-4 Kamojang menggunakan ETAP

Pada gambar 2 merupakan pemodelan *single line diagram* PLTP Unit-4 Kamojang dengan ditambahkannya rele proteksi untuk transformator TR-1412.

## 10 Parameter Trafo

Tabel 6. Parameter setting transformator TR-1412

2-Winding Trafo	KVA	KV High	KV Low	R%	X%
TR-1412	6000	13.8	6.3	0.835	7.101

Tabel 1 memperlihatkan nilai parameter TR-1412 lapangan sebagai input kedalam ETAP.

Tabel 7. Parameter CT pada pltp unit 4 kamojang

ID	Arus Primer (A)	Arus Sekunder (A)	Relay Terpasang
CT1	400	5	-
CT2	3000	5	OCR1
CT3	1250	5	OCR2
CT4	4000	5	GFR2

Tabel 2 memperlihatkan nilai parameter trafo arus yang terpasang pada CT. *Differential Relay* dipasangkan pada CT2 disisi primer dan CT3 disisi sekunder trafo TR-1412.

## 11 Setting Rele Proteksi

Tabel 8. Nilai setting rele lapangan

ID	Manufacturer	Model	Setting
OC R1	ABB TPU-2000R	50	Curve: Definite Time
			Isec: 4.6
			Td: 3
OC R2	Merlin Gerin Sepam 80	51	Curve: Standard Inverse
			Td: 2.11
			Curve: Definite Time
		50	Iprim: 7920
			Td: 0.56

Pada tabel 3 memperlihatkan data nilai *setting* setiap rele yang akan diinputkan ke dalam ETAP berupa nilai arus *pickup*.

$$I_p = \frac{I_{set\ primer}}{Ratio\ primer\ CT} \quad (1)$$

$$I_p = \frac{480}{1250}$$

$$I_p = 0.384$$

Dari hasil perhitungan, nilai arus *pickup* dari OCR2 yaitu 0.384. *Setting* arus *pickup* untuk rele yang lain dilakukan dengan perhitungan arus *setting* primer dibagi ratio CT primer yang terpasang pada rele.

Tabel 9. Nilai perhitungan setting arus pickup setiap rele

Relay ID	I <sub>pickup</sub>
OCR1	4.6
OCR2-SI	0.384
OCR2-DT	6.336

Tabel 4 memperlihatkan hasil perhitungan nilai *setting* arus *pickup* untuk setiap rele dan diinput kedalam ETAP.

Tabel 10. Nilai parameter differential relay

Differential Transformer			
ANSI Code	Setting	T (sec)	Idiff
87T	Ids = 30%	0.04	0.3 x FLA
	Idt = 30%		165 A

Tabel 5 memperlihatkan nilai parameter *differential relay* lapangan pada Unit-4 PLTP Kamojang. Nilai yang diinputkan pada ETAP yaitu *operation time* 0.04 detik.

## 12 Hasil Pengujian Load Flow

Tabel 11. Hasil pengujian simulasi load flow

Bus	Daya Aktif (P) MW Loading	Daya Reaktif (Q) MVar Loading
Bus 1	53,976	26,142
Bus 2	0	0
DB-121	0,002	0,001
DB-131	0,002	0,001
SB-121	0,004	0,003
SB-1401 A	0,037	0,018
SB-1401 B	0,104	0,051
SB-1402 A	0,124	0,061
SB-1402 B	0,072	0,034
ST MVB	0,108	0,055
U1 MVB	0,922	0,407

Tabel 6 memperlihatkan hasil pengujian simulasi *load flow*. Dimana nilai terkecil terdapat pada Bus 2 karena tidak ada beban dan Bus 1 dengan nilai daya aktif dan reaktif terbesar yaitu 53,976 MW dan 26,142 MVar.



Gambar 26. Alert view simulasi load flow

Gambar 3 memperlihatkan *alert view analysis* untuk simulasi *load flow*. Terlihat bahwa tidak ada gangguan *critical* pada Unit-4 PLTP Kamojang.

### 13 Hasil Simulasi Koordinasi Proteksi

Pada pengujian koordinasi proteksi dilakukan menggunakan menu *star protective device* pada ETAP.

#### 14 Gangguan Tiga Fasa di Internal Trafo

Pada gangguan hubung singkat tiga fasa diinternal trafo, differential rele akan bekerja sebagai pengaman utama dan overcurrent relay akan bekerja sebagai backup. Differential relay memiliki setting operating time 0.04 detik dan OCR1 memiliki time dial 3 detik.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
40.0	DIF		40.0		Phase - 87
50.0	CB3		10.0		Tripped by DIF Phase - 87
110	52-01		70.0		Tripped by DIF Phase - 87
3000	OCR1	3.107	3000		Phase - OC1 - 51
3010	CB3		10.0		Tripped by OCR1 Phase - OC1 - 51

Gambar 27. Waktu kerja rele terhadap gangguan internal

Pada gambar 4 memperlihatkan urutan waktu kerja rele difensial dan rele arus lebih. Differential relay bekerja terlebih dahulu dengan waktu 0.04 detik dengan memerintahkan CB3 pada sisi primer dan CB 52-01 pada sisi sekunder untuk trip, sedangkan OCR1 bekerja pada waktu 3 detik. Dalam urutan kerjanya, sudah bekerja dengan baik, dilihat dari pemutusan arus dengan memerintah circuit bearker tidak ada yang bersamaan.

#### 15 Gangguan Dua Fasa di Internal Trafo

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat dua fasa pada internal trafo, maka differential relay akan bekerja sebagai pengaman utama dan overcurrent relay akan bekerja sebagai backup. Differential relay memiliki setting operation time 0.04 detik dan OCR1 memiliki setting time dial 3 detik.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
40.0	DIF		40.0		Phase - 87
50.0	CB3		10.0		Tripped by DIF Phase - 87
110	52-01		70.0		Tripped by DIF Phase - 87
3000	OCR1	3.113	3000		Phase - OC1 - 51
3010	CB3		10.0		Tripped by OCR1 Phase - OC1 - 51

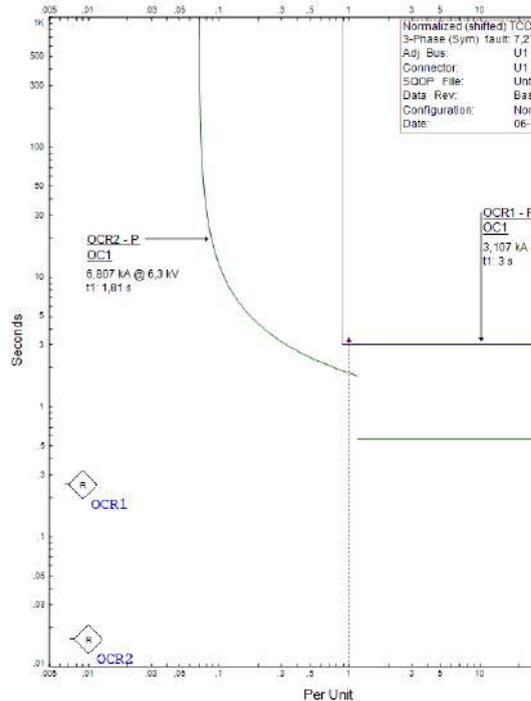
Gambar 28. Waktu kerja rele terhadap gangguan dua fasa di internal

Pada gambar 5 memperlihatkan urutan waktu kerja rele difensial dan rele arus lebih. Differential relay bekerja terlebih dahulu dengan waktu 0.04 detik dengan memerintahkan CB3 pada sisi primer dan CB 52-01 pada sisi sekunder untuk trip, sedangkan OCR1 bekerja pada waktu 3 detik. Dalam urutan kerjanya, sudah bekerja dengan baik, dilihat dari pemutusan arus dengan memerintah circuit bearker tidak ada yang bersamaan.

Dalam waktu kerjanya, rele diferensial melakukan perintah pertama agar trip pada CB3 disisi primer supaya dapat mencegah arus gangguan yang terus disupply oleh generator. Pada saat rele diferensial gagal bekerja rele OCR1 akan bekerja sebagai pengaman cadangan.

#### 16 Gangguan Tiga Fasa di Eksternal Trafo

Pada gangguan hubung singkat tiga fasa dieksternal trafo OCR1 dan OCR2 akan berkoordinasi. Rele OCR1-SI dipasang disisi primer trafo, sedangkan OCR2-SI dan OCR2-DT dipasang disisi sekunder trafo. Sesuai dengan hasil perhitungan OCR1-SI memiliki setting time dial 3 detik, sedangkan OCR2-SI memiliki setting time dial 2.11 detik dan OCR2-DT memiliki setting time dial 0.56 detik.



Gambar 29. Grafik kurva arus-waktu gangguan tiga fasa di eksternal

Pada gambar 6 memperlihatkan kurva arus waktu untuk koordinasi OCR dan OCR2 terhadap gangguan yang terjadi pada eksternal trafo. Gangguan tiga fasa yang terjadi sebesar 7.276kA. Untuk OCR1 bekerja secara definite time dan OCR2 bekerja secara inverse untuk gangguan hubung singkat tiga fasa ini.

Didalam grafik kurva arus waktu OCR1 dan OCR2 berkoordinasi dengan baik, karena pada grafik tidak ada kurva karakteristik dari OCR1 dan OCR2 yang berpotongan. Selain itu, urutan kerja dari OCR1 dan OCR2 tidak ada yang bekerja secara bersamaan.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3Phase (Symmetrical) fault on connector between U1 MVB & 52-01. Adjacent bus: U1

Data Rev.: Base    Config: Normal    Date: 06-10-2022

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
1809	OCR2	6,807	1809		Phase - OC1 - 51
1879	52-01		70.0		Tripped by OCR2 Phase - OC1 - 51
3000	OCR1	3,107	3000		Phase - OC1 - 51
3010	CB3		10.0		Tripped by OCR1 Phase - OC1 - 51

Gambar 30. Waktu kerja rele terhadap gangguan tiga fasa dieksternal

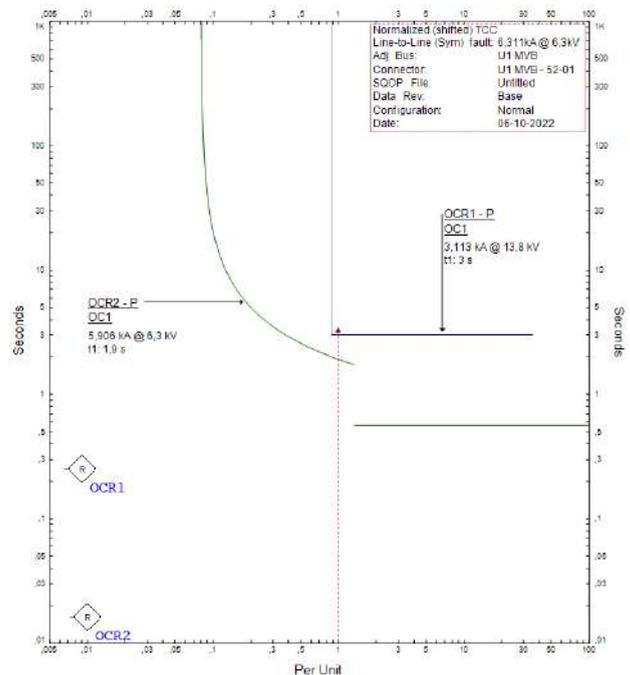
Pada gambar 7 diperlihatkan urutan kerja OCR1 dan OCR2. Rele OCR2 bekerja sebagai pengaman utama dengan waktu kerja 1.809 detik dan rele OCR1 bekerja sebagai backup dari OCR2 dengan waktu kerja 3 detik.

Dilihat dari urutannya, terlihat OCR1 dan OCR2 berkoordinasi dengan baik. Karena pada saat terjadi gangguan hubung

singkat tiga fasa pada eksternal trafo, OCR2 akan memerintah CB 52-01 untuk trip terlebih dahulu agar bisa memutuskan arus gangguan yang mengarah ke trafo sedangkan OCR1 akan memerintahkan CB3 untuk trip sebagai pengaman cadangan.

### 17 Gangguan Dua Fasa di Eksternal Trafo

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat dua fasa pada eksternal trafo, overcurrent relay yang akan mendeteksi gangguan tersebut. Dalam hal ini dipasangkan OCR1 dan OCR2 dengan setting time dial 3 detik dan 2.11 detik.



Gambar 31. Grafik kurva arus-waktu gangguan dua fasa di eksternal

Pada gambar 8 memperlihatkan koordinasi kurva arus waktu OCR1 dan OCR2 untuk gangguan dua fasa pada eksternal trafo. Gangguan dua fasa yang terjadi sebesar 6.311kA. Untuk OCR1 bekerja secara definite time dan OCR2 bekerja secara inverse.

Didalam grafik kurva arus waktu OCR1 dan OCR2 berkoordinasi dengan baik, karena pada grafik tidak ada kurva karakteristik dari OCR1 dan OCR2 yang berpotongan. Selain itu, urutan kerja dari OCR1 dan OCR2 tidak ada yang bekerja secara bersamaan. Waktu kerja rele dapat ditunjukkan pada gambar IV.7.

Time (ms)	ID	I1 (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
1902	OCR2	5.906	1902		Phase - DC1 - 51
1972	52-01	70,0			Tripped by DCR2 Phase - DC1 - 5
3000	OCR1	3.113	3000		Phase - DC1 - 51
3010	CB3	10,0			Tripped by DCR1 Phase - DC1 - 5

Gambar 32. Waktu kerja rele terhadap gangguan dua fasa di eksternal

Pada gambar 9 diperlihatkan urutan kerja OCR1 dan OCR2. Rele OCR2 bekerja sebagai pengaman utama dengan waktu kerja 1.902 detik dan rele OCR1 bekerja sebagai backup dari OCR2 dengan waktu kerja 3 detik.

Dilihat dari urutan kerjanya, terlihat OCR1 dan OCR2 berkoordinasi dengan baik. Karena pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada eksternal trafo, OCR2 akan memerintah CB 52-01 untuk trip terlebih dahulu agar bisa memutuskan arus gangguan yang mengarah ke trafo sedangkan OCR1 akan memerintahkan CB3 untuk trip sebagai backup pengaman.

#### KESIMPULAN

Hasil simulasi *load flow* tervalidasi bahwa PLTP Unit-4 Kamojang tidak terdapat gangguan kritikal.

Hasil simulasi gangguan menggunakan *star protective device* dengan gangguan internal dua fasa dan tiga fasa, differential relay bekerja dengan baik, dilihat dari respon waktu yang sudah sesuai dengan nilai settingnya yaitu 40ms. Pemutusan pertama disisi primer trafo pada waktu 50ms disisi primer trafo untuk memutuskan arus hubung singkat yang terus disupply generator dan 110ms disisi sekunder.

Pada gangguan eksternal tiga fasa dan dua fasa sebesar 7.276kA dan 6.311kA. *Overcurrent relay* berkoordinasi dengan baik dengan respon waktu 1809ms terhadap gangguan tiga fasa dan 1902ms terhadap gangguan dua fasa. Sedangkan *overcurrent relay* cadangan bekerja pada waktu 3000ms. Disini memperlihatkan bahwa OCR bekerja dengan baik, karena pemutusan pertama ada pada CB yang dengan dengan titik gangguan.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui Wakil Direktur Akademik atas bantuan pendanaan penyusunan tugas akhir nomor B/209/PL1/HK.02.00/2022.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Maharani, N. Ulfah, A. Trihasto, and D. Pravitasari. "Evaluasi Kinerja Rele Arus Lebih dan Rele Diferensial pada Generator Kapasitas 100 Mw." *Theta Omega: Journal of Electrical Engineering, Computer and Information Technology* 2.1, 2021, pp. 44-49.
- [2] I. Iriando, G. Rizky, and A. I. Agung. "Studi Koordinasi Sistem Proteksi Pada Transformator 20kv Di Jaringan Pembangkit 20kv Penyulang Bandilan." *Jurnal Teknik Elektro* 8.3, 2019, pp. 611-618.
- [3] Sampeallo, Agusthinus S., Nursalim Nursalim, and Patrisius J. Fischer. "Analisis Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Pemakaian Sendiri Pltu Bolok PT. Smse (Ipp) Unit 3 dan 4 Menggunakan Software Etap 12.6. 0." *Jurnal Media Elektro*, 2019, pp. 76-85.
- [4] N. Nakhoda, Y. Ismail, A. U. Krismanto, and M. Usanto. "Analisa Koordinasi Rele Pengaman Transformator Pada Sistem Jaringan Kelistrikan di PLTD Buntok." *ELEKTRIKA* 1.1, 2017, pp. 39-46.
- [5] N. Nasution, E. Sahnur, et al. "Rele diferensial sebagai proteksi pada transformator daya pada gardu induk." *Ready Star* 2.1, 2019, pp. 179-1