

Evaluasi Koordinasi Proteksi Arus Lebih Akibat Gangguan yang Menyebabkan *Blackout* pada PT PJB Unit Pembangkitan Cirata

Dhenie Prakash Prasetyo, Margo Pujiantara, dan Sjamsjul Anam
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: margo@ee.its.ac.id

Abstrak—PT PJB Unit Pembangkitan Cirata merupakan perusahaan yang bergerak dibidang Pembangkit Listrik Tenaga Air. Seiring dengan penambahan dan perubahan pada peralatan listrik, setting pengamanan pada rele proteksi perlu dilakukan evaluasi secara komprehensif demi menjaga keandalan sistem proteksi. Berdasarkan kasus di lapangan setiap terjadi gangguan pada sistem kelistrikan bagian bawah (sisi beban) maka sistem akan terjadi *blackout*. Kasus ini diduga karena urutan pembukaan circuit breaker (CB) yang tidak sesuai oleh rele menyebabkan CB pada sisi beban tidak trip sehingga CB pada sisi atas akan membuka lebih cepat yang memungkinkan terjadinya *blackout*. Sehingga perlu dilakukan proses evaluasi untuk mendapatkan setting rele proteksi yang tepat. Pada tugas akhir ini, dilakukan analisis kinerja sistem proteksi koordinasi existing rele arus lebih gangguan fasa, rele arus lebih gangguan tanah dan rele diferensial yang selanjutnya dilakukan evaluasi untuk menentukan urutan tripping rele proteksi yang tepat agar tidak terjadi *blackout* dan setting rele diferensial yang selektif ketika terjadi berbagai macam tipe gangguan. Hasil evaluasi setting dan koordinasi proteksi arus lebih gangguan fasa, rele arus lebih gangguan tanah, dan rele diferensial ini dapat menjadi rekomendasi bagi perusahaan ini dalam melindungi sistem kelistrikan dengan tepat dan handal.

Kata Kunci—*Blackout*, Keandalan, Koordinasi Proteksi, Rele Proteksi.

I. PENDAHULUAN

DALAM melakukan proses produksi, suatu industri memerlukan konsistensi kualitas produk yang baik sebagai salah satu parameter yang harus dipenuhi. Untuk memenuhi parameter tersebut suatu industri harus didukung dengan sistem kelistrikan yang baik dan handal dalam menunjang pasokan energi listrik ke sektor-sektor penting. Apabila pasokan energi listrik mengalami gangguan, maka akan menimbulkan ketidakseimbangan sistem yang berakibat pada kerugian [1]. Gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan tidak bisa diperkirakan kapan dan waktu terjadinya sehingga perlu diimplementasikan suatu sistem koordinasi proteksi dengan tujuan meminimalisir risiko terjadinya gangguan pada sistem kelistrikan.

Sebagai salah satu perusahaan yang bergerak dibidang Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). PT Pembangkitan Jawa-Bali (PJB) Unit Pembangkitan Cirata memiliki berbagai macam rele proteksi sebagai pengaman ketika terjadi gangguan pada sistem kelistrikan. Namun, seiring dengan penambahan dan perubahan pada peralatan, rele proteksi tersebut perlu dilakukan evaluasi secara komprehensif demi menjaga keandalan dan selektivitas sistem proteksi tenaga listrik. Tanpa adanya proses evaluasi ini, dikhawatirkan rele proteksi tidak akan bekerja sebagaimana mestinya sehingga menyebabkan kerusakan dan penurunan *lifetime* peralatan pada sistem.

Berdasarkan kejadian di lapangan, kinerja dari sistem proteksi PT PJB Unit Pembangkitan Cirata belum dapat dikatakan sebagai sistem yang handal. Hal ini dikarenakan setiap terjadi gangguan pada sistem kelistrikan bagian bawah (sisi beban) maka akan terjadi *black out*. Kejadian ini diduga karena urutan pembukaan CB yang tidak sesuai oleh rele yang menyebabkan CB pada bagian bawah (sisi beban) tidak membuka/*trip* sehingga CB yang bekerja pada bagian atas akan membuka lebih cepat yang menyebabkan *black out*. Faktor menyebabkan kesalahan dalam urutan pembukaan CB adalah penyetingan rele yang kurang sesuai di setiap sistem kelistrikannya sehingga perlu dilakukan evaluasi.

Oleh karena itu, pada Tugas Akhir ini akan dilakukan evaluasi koordinasi proteksi yang berfokus pada rele arus lebih dan analisis pada rele diferensial pada PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata. Hasil evaluasi koordinasi tersebut akan digunakan sebagai solusi untuk menentukan sistem koordinasi rele proteksi yang tepat dan handal. Sehingga diharapkan ketika terjadi gangguan pada bagian bawah rele bekerja sebagaimana mestinya dan dapat mengamankan peralatan pada sistem kelistrikan.

II. TEORI PENUNJANG

A. Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik merupakan sebuah keadaan yang tidak normal dari suatu sistem tenaga listrik yang menyebabkan ketidakseimbangan sistem sehingga tidak bekerja sebagaimana mestinya. Dalam dunia sistem tenaga listrik, gangguan dapat dibedakan menjadi dua jenis menurut waktunya. Gangguan tersebut adalah gangguan permanen dan gangguan temporer [2].

1) Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan Hubung Singkat merupakan salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat terjadi ketika nilai arus yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi normal arus yang mengalir ke dalam sistem hal ini dapat disebabkan ketika satu penghantar terhubung dengan penghantar yang lain atau dengan ground [3]. Hubung singkat dibedakan menjadi dua yakni hubung singkat simetri dan asimetri. Hubung singkat simetri memiliki besar arus hubung singkat yang sama hanya berbeda pada fasanya sebesar 120 derajat [4]. Hubung singkat asimetri merupakan sebuah gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dimana nilai hubung singkat antar fasanya tidak sama [4].

2) Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter yang diperlukan dalam

setting koordinasi proteksi, Adapun persamaan untuk mendapatkan parameter tersebut adalah [3]:

1. Hubung singkat tiga fasa ini terjadi ketika ketiga fasanya saling terhubung. Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$I_{SC_{3ph}} = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (1)$$

2. Hubung singkat dua fasa atau biasa disebut fasa ke fasa merupakan hubung singkat yang terjadi pada sistem tiga fasa dengan dua fasanya yang terhubung satu sama lain. Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$I_{SC_{2ph}} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} \quad (2)$$

3. Hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan hubung singkat yang terjadi pada sistem tiga fasa yang menghubungkan salah satu fasanya dengan tanah (*ground*). Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$I_{SC_{1ph}} = \frac{3V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + 3Z_G} \quad (3)$$

B. Rele Pengaman

Rele pengaman merupakan peralatan dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengirimkan sinyal kepada *circuit breaker* (CB) untuk memutuskan jalur energi listrik suatu sistem kelistrikan. Secara umum rele pengaman terdiri dari tiga komponen dasar yakni elemen *sensing*, *comparison*, dan *control* [3].

1) Rele Arus Lebih (Over-current Relay)

Rele arus lebih umumnya digunakan untuk melindungi setiap elemen di sistem kelistrikan seperti sistem distribusi, sistem sub-transmisi, proteksi *feeder*, transformer, generator, dan motor. Secara umum rele ini mengisolasi gangguan seperti *overload*, *short circuit*, dan Gangguan ke tanah [5].

Dalam setting mengatur rele dibutuhkan beberapa parameter yang harus ditentukan:

1. Arus *pickup*, merupakan arus acuan rele ketika mulai beroperasi ketika terjadi suatu gangguan. Berdasarkan standar *British BS 142* arus *pickup* berada pada range persamaan:

$$1,05 \text{ FLA} \leq I_{set} \leq 1,4 \text{ FLA} \quad (4)$$

2. *Time Dial Setting* (TDS), menunjukkan waktu kerja yang diperlukan rele dalam sistem pengamanan. Nilai dari TDS dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_{op} = TDS \times \frac{k}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right) \times \beta} \quad (5)$$

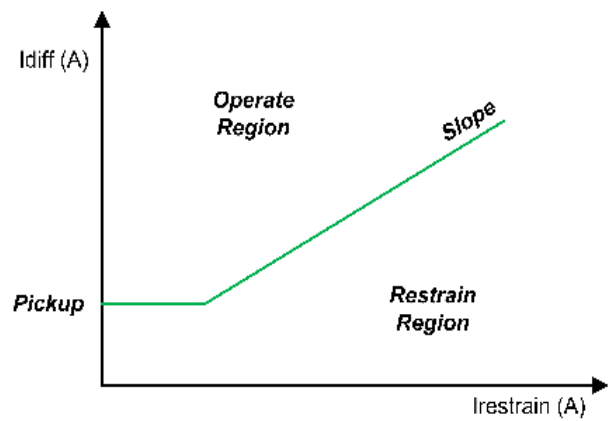
2) Rele Waktu Definite

Rele waktu Definite merupakan rele yang langsung bekerja sesuai dengan waktu yang ditentukan dengan nilai arus tertentu, jika *setting* melebihi batas pengaturan maka rele akan bekerja pada waktu yang sama. Adapun parameter yang harus diatur dalam rele ini berdasarkan standar *British 142* adalah [1]:

1. Arus *pickup*, merupakan arus yang menyatakan arus ketika rele akan bekerja dengan range:

$$1,6 \text{ FLA} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \text{ min}} \quad (6)$$

2. *Waktu delay*, waktu preposisi koordinasi rele yang satu



Gambar 1. Kurva karakteristik rele diferensial.

dengan rele backup. Ketika terjadi gangguan sensing rele tidak mendeteksi pada waktu bersamaan.

3) Rele Gangguan ke Tanah (Ground Fault Relay)

Dilihat dari presentase kejadian di lapangan, gangguan satu fasa ke tanah memiliki presentase yang paling tinggi dengan presentase kejadian 70%-80% dari total kejadian hubung singkat. Dalam melakukan *setting* rele proteksi gangguan ke tanah, digunakan kurva definit dengan pertimbangan arus gangguan disesuaikan dengan arus NGR dan diperhatikan *time grading* koordinasi antar rele [1]: Arus *pickup*, dapat ditentukan dengan persamaan:

$$10\% I_{sc \text{ LG}} \leq I_{set} \leq 50\% I_{sc \text{ LG}} \quad (7)$$

Jika pada sistem terdapat NGR maka arus *pickup* dapat ditentukan dengan cara:

$$10\% I_{NGR} \leq I_{set} \leq 50\% I_{NGR} \quad (8)$$

4) Rele Diferensial

Rele diferensial bekerja dengan prinsip keseimbangan dengan membandingkan dua besaran arus pada sisi primer dan sekunder pada *Current Transformer* (CT). Untuk menentukan besarnya nilai arus *restrain* (penahan), *slope* dan arus *setting* pada rele diferensial menggunakan persamaan berikut ini [6]:

$$I_d = I_1 - I_2 \quad (9)$$

$$I_r = \frac{|I_1| + |I_2|}{2} \quad (10)$$

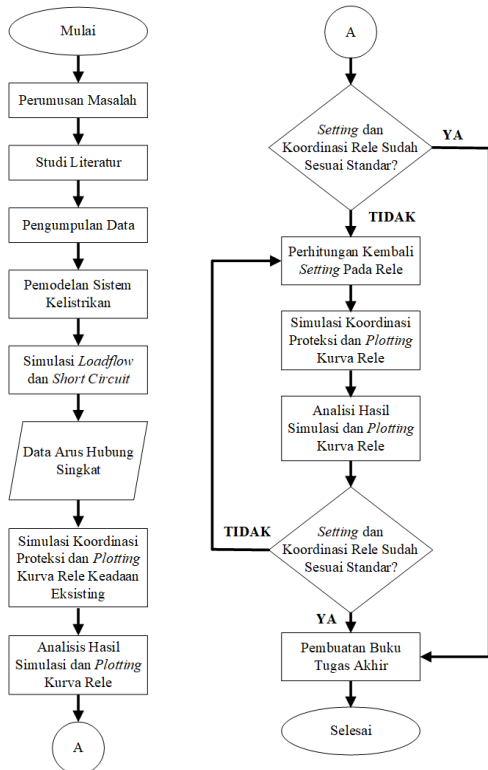
$$\text{Slope} = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \quad (11)$$

$$I_{\text{setting}} = \% \text{Slope} \times I_r \quad (12)$$

Pada Gambar 1, garis hijau kurva menunjukkan *setting* rele diferensial yang ditentukan sebelumnya. *Operate Region* atau daerah bagian atas merupakan daerah ketika rele bekerja, yakni rele mendeteksi adanya gangguan pada internal peralatan [7].

C. Koordinasi Proteksi Arus Lebih

Fungsi dari koordinasi proteksi adalah meminimalisir kerusakan peralatan serta melokalisir gangguan sesegera mungkin. Peralatan yang berperan penting dalam sistem koordinasi proteksi adalah rele, rele yang beroperasi pada suatu sistem kelistrik harus memenuhi aspek *selectivity*, *speed*, *sensitivity*, *reliability*, dan *Stability* [8].



Gambar 4. Diagram alir metode pengerjaan tugas akhir.

Berdasarkan standar IEEE Std. 242-2001, nilai CTI minimum untuk *setting* koordinasi rele jenis elektromekanik adalah 0,3 detik dan statik 0,2 detik [9].

III. METODOLOGI

A. Diagram Alir Pengerjaan

Gambar 2 adalah diagram alir yang menjelaskan metode pelaksanaan pengerjaan Tugas Akhir.

B. Sistem Kelistrikan di PT PJB Unit Pembangkitan Cirata

Kapasitas pembangkitan PT PJB Unit Pembangkitan Cirata ini mencapai 1008 MW yang terdiri dari delapan (8) unit pembangkit dengan masing-masing kapasitas pembangkitan 126 MW. Pola operasi di PT PJB Unit Pembangkitan Cirata dibagi menjadi dua, yakni pembangkitan sebagai suplai listrik untuk sistem transmisi dari pembangkit 16,5 kV dinaikkan menjadi 500 kV oleh *Main Transformer* (MTR) yang disalurkan menuju Gardu Induk Saguling kemudian disalurkan menuju sistem interkoneksi 500 kV JAMALI. Gambar 3 adalah gambaran *single line diagram* sistem kelistrikan secara keseluruhan.

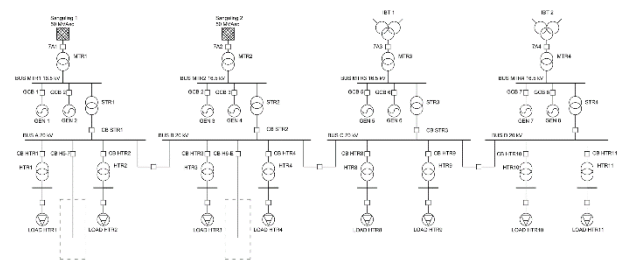
C. Sistem Proteksi di PT PJB Unit Pembangkitan Cirata

PT PJB Unit Pembangkitan Cirata terdapat beberapa jenis rele proteksi yang digunakan dalam melindungi sistem kelistrikan. Sehingga terdapat perbedaan nilai konstanta, cara *setting* dan jenis kurva yang tersedia di setiap rele.

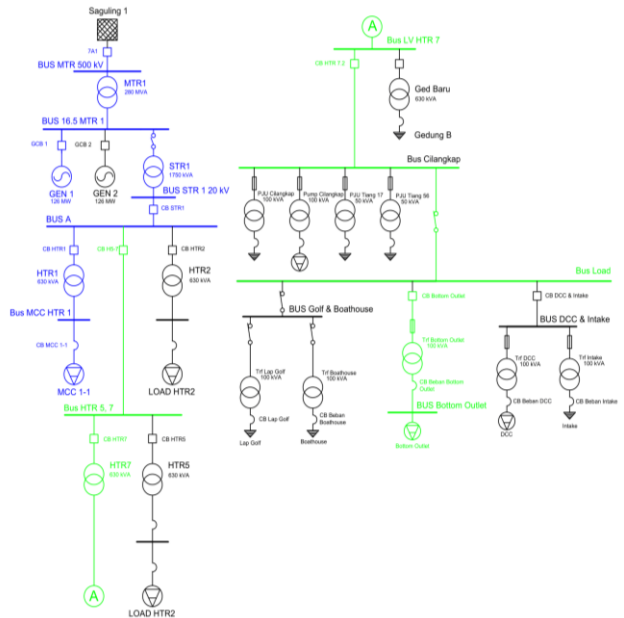
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemilihan Tipikal Koordinasi

Untuk mempermudah *setting* koordinasi proteksi arus lebih di PT PJB Unit Pembangkitan Cirata dilakukan dengan pemilihan beberapa tipikal koordinasi ketika terjadi gangguan. *Setting* Tipikal koordinasi disini merupakan perwakilan semua *setting* proteksi dengan feeder terpanjang



Gambar 2. Sistem kelistrikan PT PJB Unit Pembangkitan Cirata.



Gambar 3. Jalur koordinasi proteksi arus lebih tipikal 1 dan tipikal 2. dan pertimbangan kasus terjadi yang menyebabkan *black out* pada sistem kelistrikan. Gambar 4 merupakan gambaran Tipikal 1 dan Tipikal 2.

B. Arus Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Hubung singkat yang diperlukan dalam perhitungan meliputi data hubung singkat minimum dan maksimum: (1) Arus hubung singkat minimum ($I_{sc\ min}$ 30 Cycle). Nilai ini dibutuhkan untuk menentukan *setting* nilai *pickup* dari kurva rele arus lebih waktu instan. (2) Arus hubung singkat maksimum ($I_{sc\ max}$ 1/2 Cycle). Nilai ini dibutuhkan untuk menentukan maksimum arus gangguan yang dapat diamankan oleh rele untuk mempertimbangkan kurva instan backup agar tidak *miss* koordinasi.

C. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Untuk Tipikal 1 Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa berada di sektor 1 dari beban *Bottom Outlet* yang terdapat pada *bus bottom outlet* (0,4 kV) sampai dengan Bus A (20 kV). *Proposed* tipikal 1 diasumsikan terdapat penambahan peralatan dengan maksud penyempurnaan koordinasi proteksi. Adapun daftar rele pada tipikal 1 diberikan pada Tabel 1.

Dari data rele pada Tabel 1 selanjutnya dilakukan *plotting* pada kurva TCC seperti pada Gambar 5.

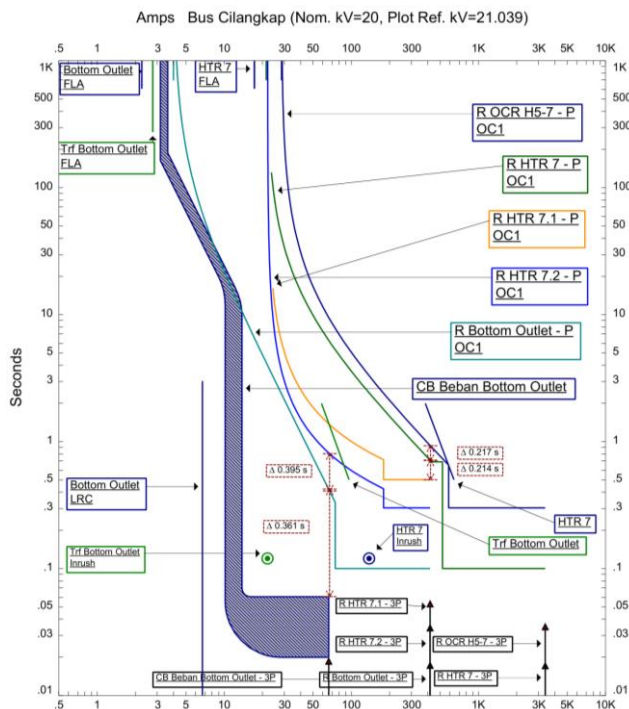
Berdasarkan hasil *plotting* kurva TCC pada Gambar 5 dapat dianalisis bahwa, ketika terjadi gangguan pada Bus *Bottom Outlet* dengan arus gangguan 3,33 kA (referensi 0,4 kV). Rele LVCB *CB Beban Bottom Outlet* bertindak sebagai proteksi primer, rele *R Bottom Outlet* bertindak sebagai proteksi sekunder dengan waktu operasi 0,421 detik

Tabel 2.
Proposed re-setting rele arus lebih gangguan fasa tipikal 1

ID Rele	Model	Rasio CT	Parameter
CB Beban Bottom Outlet	Merlin Gerin STR23SE	150/1	<i>LT Pickup</i> 1,0
			<i>LT Band</i> Fixed
			<i>ST Pickup</i> 4
			<i>ST Band</i> Fixed
			<i>Instan</i> Off
R Bottom Outlet	Schneider Electric	20/1	<i>Pickup</i> IEC EI
			Pickup 51 0,2
			Time Dial 1,45
			Pickup 50 3,75
			Time Delay 0,1
R HTR 7.2	VA TECH HYDRO GmbH	30/1	Kurva NI
			Pickup 51 0,73
			Time Dial 0,13
			Pickup 50 180
			Time Delay 0,3
R HTR 7.1	ALSTOM P122	30/1	Kurva IEC SI
			Pickup 51 0,73
			Time Dial 0,22
			Pickup 50 6
			Time Delay 0,5
R HTR 7	ALSTOM P122	30/1	Kurva IEC VI
			Pickup 51 0,73
			Time Dial 0,725
			Pickup 50 17,87
			Time Delay 0,1
R OCR H5-7	VA TECH HYDRO GmbH	30/1	Kurva VI
			Pickup 51 0,96
			Time Dial 0,825
			Pickup 50 20
			Time Delay 0,3

Tabel 1.
Proposed re-setting rele arus lebih gangguan fasa tipikal 2

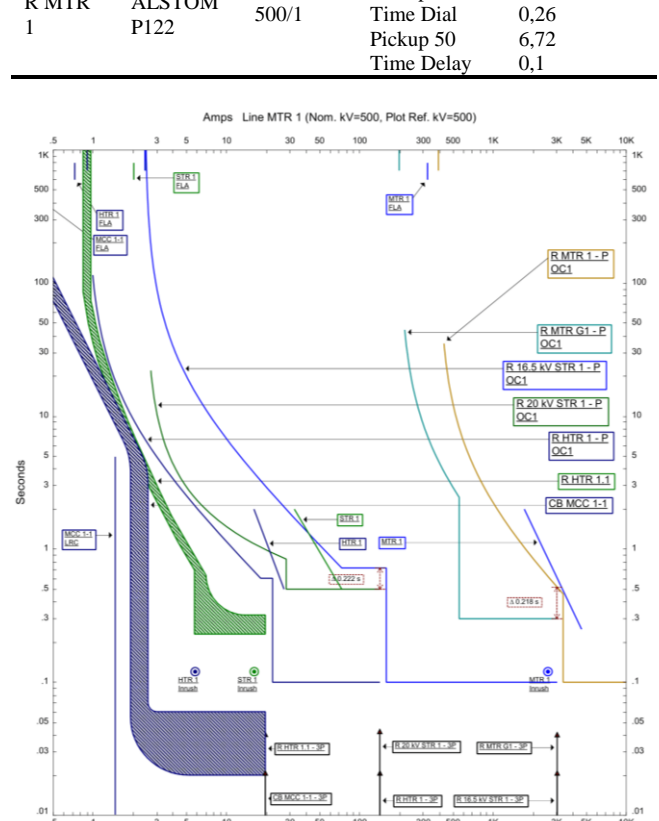
ID Rele	Model	Rasio CT	Parameter
CB MCC 1-1	Merlin Gerin STR23SE	400/1	<i>LT Pickup</i> 0,95
			<i>LT Band</i> Fixed
			<i>ST Pickup</i> 7
			<i>ST Band</i> Fixed
			<i>Instan Pickup</i> Off
R HTR 1.1	Merlin Gerin Micrologic 6.0	1000/1	Kurva 0,95
			Pickup 51 1
			Time Dial 8
			Pickup 50 0,3
			Time Delay Off
R HTR 1	ALSTOM P122	30/1	Kurva IEC VI
			Pickup 51 0,73
			Time Dial 0,85
			Pickup 50 18
			Time Delay 0,1
R 20 kV STR 1	ALSTOM P122	100/1	Kurva IEC SI
			Pickup 51 0,6
			Time Dial 0,3
			Pickup 50 6,85
			Time Delay 0,5
R 16.5 kV STR 1	VA TECH HYDRO GmbH	100/1	Kurva VI
			Pickup 51 0,74
			Time Dial 1,55
			Pickup 50 48
			Time Delay 0,1
R MTR G1	ALSTOM P122	6000/1	Kurva IEC VI
			Pickup 51 1
			Time Dial 0,33
			Pickup 50 2,82
			Time Delay 0,3
R MTR 1	ALSTOM P122	500/1	Kurva IEC VI
			Pickup 51 0,78
			Time Dial 0,26
			Pickup 50 6,72
			Time Delay 0,1



Gambar 6. Kurva TCC proposed re-setting tipikal 1. (CTI=0,361 detik), dan rele R HTR 7.2 bertindak sebagai proteksi tersier dengan waktu operasi 0,816 detik (CTI = 0,395 detik).

D. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Untuk Tipikal 2 Koordinasi rele mulai ari beban MCC 1-1 yang terdapat pada bus MCC HTR 1 (0,4 kV) sampai dengan Bus 16.5 MTR 1 (16,5 kV). Proposed tipikal 2 disini diasumsikan terdapat penambahan peralatan dengan maksud untuk penyempurnaan koordinasi proteksi. Tabel 2 adalah



Gambar 5. Kurva TCC proposed re-setting tipikal 2. daftar rele pada tipikal 2.

Dari data rele pada Tabel 2 selanjutnya dilakukan plotting pada kurva TCC yang diberikan pada Gambar 6.

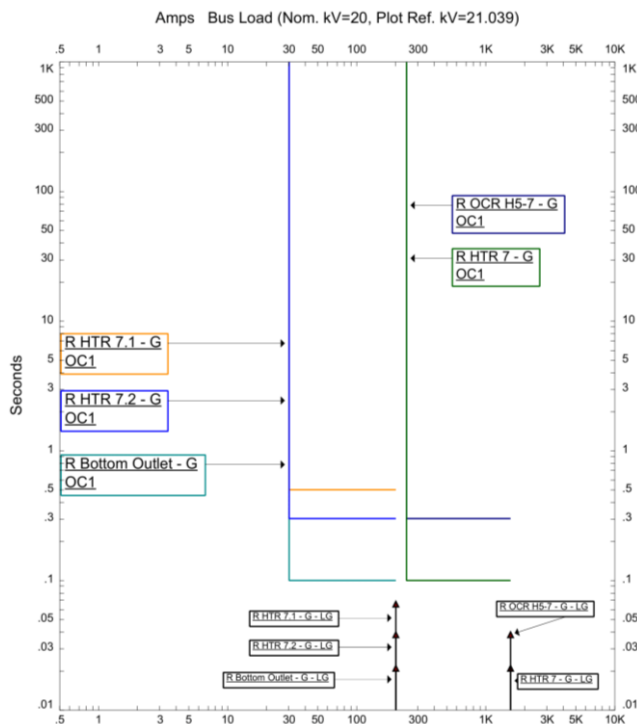
Berdasarkan hasil plotting kurva TCC pada Gambar 6 dapat dianalisis bahwa, ketika terjadi gangguan pada beban MCC 1-1 dengan arus gangguan 23,27 kA (ref 0,4 kV). Rele

Tabel 4.
Proposed re-setting rele arus lebih gangguan tanah tipikal 1

ID Rele	Model	Rasio CT	Parameter
R Bottom Outlet	Schneider Electric	20/1	Kurva <i>Definite Curve</i> Pickup 50 1,5 Time Delay 0,1
R HTR 7.2	VA TECH HYDRO GmbH	30/1	Kurva <i>Definite Curve</i> Pickup 50 1 Time Delay 0,3
R HTR 7.1	ALSTOM P122	30/1	Kurva <i>Definite Curve</i> Pickup 50 1 Time Delay 0,5
R HTR 7	ALSTOM P122	30/1	Kurva <i>Definite Curve</i> Pickup 50 8,3 Time Delay 0,1
R OCR H5-7	VA TECH HYDRO GmbH	30/1	Kurva <i>Definite Curve</i> Pickup 50 8,3 Time Delay 0,3

Tabel 3.
Proposed re-setting rele arus lebih gangguan tanah tipikal 1

ID Rele	Model	Rasio CT	Parameter
R Bottom Outlet	Schneider Electric	20/1	Kurva <i>Definite Curve</i> Pickup 50 1,5 Time Delay 0,1
R HTR 7.2	VA TECH HYDRO GmbH	30/1	Kurva <i>Definite Curve</i> Pickup 50 1 Time Delay 0,3
R HTR 7.1	ALSTOM P122	30/1	Kurva <i>Definite Curve</i> Pickup 50 1 Time Delay 0,5
R HTR 7	ALSTOM P122	30/1	Kurva <i>Definite Curve</i> Pickup 50 8,3 Time Delay 0,1
R OCR H5-7	VA TECH HYDRO GmbH	30/1	Kurva <i>Definite Curve</i> Pickup 50 8,3 Time Delay 0,3



Gambar 8. Kurva TCC rele arus lebih gangguan tanah tipikal 1.

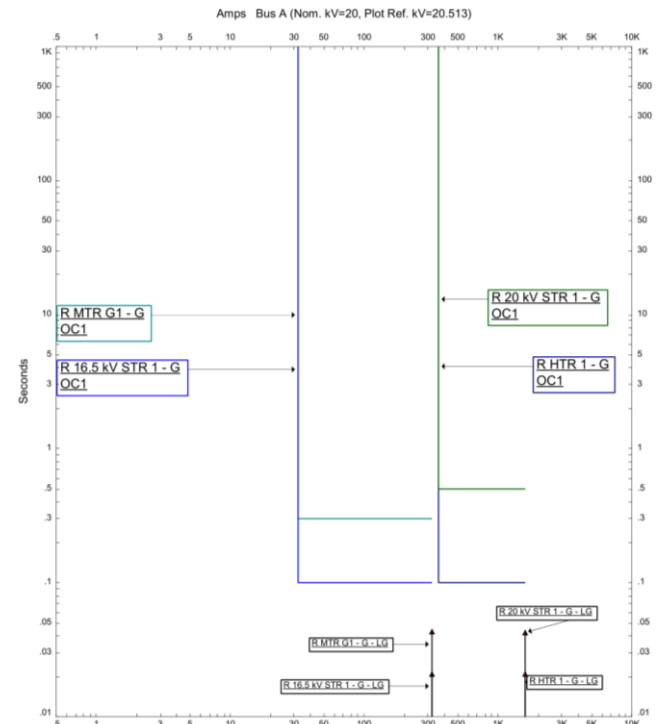
LVCB *CB MCC 1-1* bertindak sebagai proteksi primer dengan waktu operasi *fixed* (0,06 detik), rele *R HTR 1.1* bertindak sebagai proteksi sekunder dengan waktu operasi 0,3 detik (CTI = 0,2 detik), rele *R HTR 1* bertindak sebagai proteksi terseier dengan waktu operasi 0,584 detik (CTI = 0,284 detik), dan rele *R 20 kV STR 1* bertindak sebagai proteksi terakhir dengan waktu operasi 0,972 detik (CTI = 0,388 detik).

E. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 1

Jalur koordinasi sama dengan rele arus lebih gangguan fasa. Zona 1 (Zona dengan NGR Trafo *Trf Bottom Outlet* = 300 A) Zona 2 (Zona dengan NGR Trafo *STR 1* = 500 A). Adapun tabulasi *setting* rele diberikan pada Tabel 3.

Dari data rele pada Tabel 3 didapatkan *plotting* pada kurva TCC yang diberikan pada Gambar 7.

Berdasarkan hasil *plotting* kurva TCC pada Gambar 7 dapat dianalisis bahwa, ketika terjadi gangguan pada zona 1 Rele *R Bottom Outlet* bertindak sebagai proteksi primer dengan waktu operasi 0,1 detik, rele *R HTR 7.2* bertindak sebagai proteksi sekunder dengan waktu operasi 0,3 detik (CTI = 0,2 detik), rele *R HTR 7.1* bertindak sebagai proteksi



Gambar 7. Kurva TCC rele arus lebih gangguan tanah tipikal 2.

tersier dengan waktu operasi 0,5 detik (CTI= 0,2 detik).

Ketika terjadi gangguan pada zona 2. Rele *R HTR 7* bertindak sebagai proteksi primer dengan waktu operasi 0,1 detik, rele *R H5-7* bertindak sebagai proteksi sekunder dengan waktu operasi 0,3 detik (CTI = 0,2 detik).

F. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 2

Jalur koordinasi sama dengan rele arus lebih gangguan fasa. Zona 1 (Zona dengan NGR Trafo *STR 1* = 500 A): Zona 2 (Zona dengan NGR Generator Unit 1 & Unit 2 = 400 A. Adapun tabulasi *setting* rele diberikan pada Tabel 4.

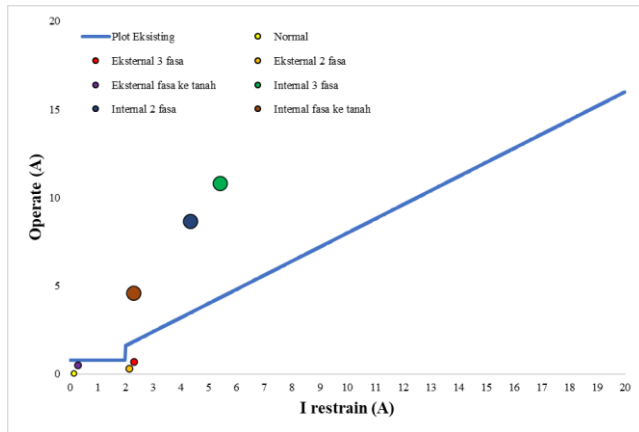
Dari data rele pada Tabel 4 didapatkan *plotting* pada kurva TCC yang diberikan pada Gambar 8.

Berdasarkan hasil *plotting* kurva TCC pada Gambar 8 dapat dianalisis bahwa ketika terjadi gangguan pada zona 1. Rele *R HTR 1* bertindak sebagai proteksi primer dengan waktu operasi 0,1 detik, dan rele *R 20 kV STR 1* bertindak sebagai proteksi sekunder dengan waktu operasi 0,5 detik (CTI = 0,2 detik).

Ketika terjadi gangguan pada zona 2. Rele *R 16.5 kV STR 1* bertindak sebagai proteksi primer dengan waktu operasi 0,1 detik, rele *R MTR G1* bertindak sebagai proteksi sekunder

Tabel 6.
Komparasi *setting* rele diferensial *diff STR 1*

Parameter	Data Eksisting	Data Resetting
Rasio CT (16,5 kV)	100/1	500/1
Rasio CT (20 kV)	100/1	300/1
Star value	0,3 A	0,8 A
Star value high set	3 A	3 A
Slope 1	30%	30%
Slope 2	60%	80%



Gambar 10. Kurva karakteristik re-setting rele diferensial *diff STR 1* dengan waktu operasi 0,3 detik ($CTI = 0,2$ detik).

G. Rele Diferensial *Diff STR 1*

Dilakukan komparasi antara data *eksisting* yang dianalisis untuk menentukan apakah rele ini sudah sesuai dalam hal proteksi trafo. Adapun data komparasi rele diferensial (*Diff STR 1*) untuk mengamankan trafo STR 1 diberikan pada Tabel 5.

Dari data pada Tabel 5 didapatkan plotting kurva karakteristik yang diberikan pada Gambar 9.

Dilihat dari Gambar 9 gangguan eksternal fasa ke tanah sudah berada di bawah kurva karakteristik rele diferensial *Diff STR 1*. Sehingga ketika terjadi gangguan di area tersebut rele tidak akan bekerja. Secara keseluruhan *setting* rele sudah selektif ketika terjadi tipe-tipe gangguan yang berbeda.

H. Rele Diferensial *Diff MTR 1*

Dilakukan komparasi antara data *eksisting* yang dianalisis untuk menentukan apakah rele ini sudah sesuai dalam hal proteksi trafo. Adapun data *setting* rele diferensial (*Diff MTR 1*) untuk mengamankan trafo MTR 1 diberikan pada Tabel 6.

Dari data pada Tabel 6 didapatkan plotting kurva karakteristik yang diberikan pada Gambar 10.

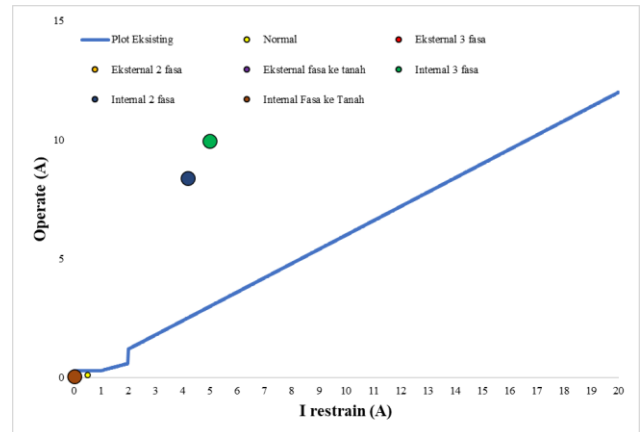
Terdapat gangguan yang tidak dapat dideteksi oleh rele diferensial yakni gangguan Internal fasa ke tanah. Hal ini dikarenakan konfigurasi belitan dari sistem yang diproteksi adalah Delta-Delta sehingga arus *groundfault* tidak bisa dideteksi. Untuk mengatasi hal ini sudah dilakukan *setting* pada rele ground (50N) yang sudah dibahas pada subbab sebelumnya.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil evaluasi *setting* koordinasi proteksi yang dilakukan berdasarkan analisis dan perhitungan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1) Secara kinerja sistem koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan fasa masih belum bisa dikatakan aman, dikarenakan terdapat

Tabel 5.
Setting Rele Diferensial *Diff MTR 1*

Parameter	Data Eksisting
Rasio CT (500 kV)	500/1
Rasio CT (16,5 kV)	6000/1
Star value	0,3 A
Star value high set	3 A
Slope 1	30%
Slope 2	60%



Gambar 9. Kurva karakteristik rele diferensial *diff MTR 1*.

nilai *setting* LVCB *downstream* yang masih dibawah arus starting beban dan nilai *setting highest* dari rele yang mengamankan *upcoming feeder* memiliki nilai yang relative lebih kecil daripada arus kontribusi. Dari sisi koordinasi masih belum memenuhi standar $CTI 0,2 - 0,4$ detik sehingga perlu dilakukan evaluasi untuk menghindari kemungkinan terjadinya *blackout* pada sistem ketika terjadi gangguan pada beban. (2) Urutan *Tripping* dari koordinasi proteksi arus lebih keadaan *eksisting* masih belum sesuai dan masih terjadi kemungkinan terjadi *blackout*. Setelah dilakukan *re-setting* pada rele arus lebih, didapatkan perubahan nilai parameter-parameter yang digunakan seperti *Overcurrent pickup*, *Instantaneous pickup*, *time dial*, *time delay*, dan pemilihan pada kurva. Penyesuaian dilakukan berdasarkan standar dengan tujuan koordinasi proteksi rele berjalan dengan baik dengan urutan *tripping* yang sesuai. (3) *Setting* koordinasi proteksi arus lebih gangguan fasa dan tanah dibedakan menjadi tipikal 1 dan tipikal 2. *Re-setting* dilakukan dengan prinsip *time grading* dan *current grading* dengan landasan pola operasi sistem kelistrikan yang radial. Sehingga didapatkan sistem yang terkoordinasi dengan baik berdasarkan standar dengan tujuan utama menyelesaikan masalah *blackout* ketika terjadi gangguan pada beban. (4) Berdasarkan kurva karakteristik *eksisting* pada rele diferensial *Diff STR 1*, terdapat tipe gangguan eksternal fasa ke tanah yang masuk kedalam daerah kerja rele diferensial yang akan menyebabkan *false trip* sehingga perlu dilakukan evaluasi. Untuk rele *Diff MTR 1* ketika terjadi gangguan internal fasa ke tanah rele ini tidak bisa mendeteksi karena berada di luar zona kerja rele. Untuk mengatasi hal ini maka digunakan rele arus lebih gangguan tanah untuk mengamankan ketika terjadi gangguan internal fasa ke tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Al Asyad, M. Pujiantara, and D. A. Asfani, "Evaluasi kegagalan koordinasi proteksi akibat hubung singkat pada kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan," *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 2, p. 14, 2020,

- doi: 10.12962/j23373539.v9i2.52576.
- [2] T. Gonen, *Modern Power System Analysis. 2nd Edition*. Boca Raton: CRC Press, 2013. ISBN: 9781466570818.
- [3] R. A. Gamboa, C. V. Aravind, and C. A. Chin, "System Protection Coordination Study for Electrical Distribution System," in *2018 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED), Selangor, Malaysia*, 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/SCORED.2018.8710793.
- [4] F. Yalçın and Y. Yıldırım, "A study of symmetrical and unsymmetrical short circuit fault analyses in power," *Sak. Univ. J. Sci.*, vol. 23, no. 5, pp. 879–895, 2019, doi: 10.16984/saufenbilder.540294.
- [5] T. P. Sari, A. Priyadi, M. Pujiantara, and M. H. Purnomo, "Enhancing the coordination of reverse power, overcurrent, under-frequency, and under-voltage relays using transient stability analysis in real plant applications," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–9, 2020, doi: 10.1016/j.asej.2019.06.001.
- [6] E. S. Nasution, F. I. Pasaribu, Y. Yusniati, and M. Arfianda, "Rele diferensial sebagai proteksi pada transformator daya pada gardu induk," *Reg. Dev. Ind. Heal. Sci. Technol. Art Life*, vol. 2, no. 1, pp. 179–186, 2019.
- [7] T. R. Firdausi, M. Pujiantara, and V. Lystianingrum, "Setting differential relay transformer (87T) dengan pertimbangan vector group pada PLTU Tenayan 2x110 MW," *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 2, pp. 108–114, 2020, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.53479.
- [8] P. S. R. Murty, "Relaying and Protection," in *Electrical Power Systems*, Boston: Butterworth-Heinemann, 2017, pp. 417–477. ISBN: 978-0-08-101124-9.
- [9] V. R. Mahindhara and M. Pujiantara, "Optimasi time dial setting (TDS) relay arus lebih menggunakan adaptive modified firefly algorithm pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 53–57, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16019.