

## ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA SISTEM PROTEKSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR PADA MATA KULIAH PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK

Yoakim Simamora<sup>1</sup>, Mega Silfia Dewy<sup>2</sup>, Agnes Irene Silitonga<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> *Fakultass Teknik Universitas Negeri Medan*

[yoakimsimamora@unimed.ac.id](mailto:yoakimsimamora@unimed.ac.id)

**Abstrak:** *Pembaharuan setting rele arus lebih dan rele gangguan fasa ke tanah pada sistem proteksi di PLTA Jelok sangat diperlukan karena belum adanya pembaharuan nilai setting semenjak PLTA Jelok berdiri pada tahun 1935. Sistem proteksi yang cepat, handal, selektif dan ekonomis perlu ditingkatkan sesuai dengan nilai beban terbaru dan gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi. Dalam melakukan setting rele tersebut diperlukan pemilihan nilai arus pickup dan waktu kerja yang sesuai dengan batas perhitungan dari parameter arus beban penuh, arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum. Kemudian koordinasi antar rele dapat dianalisa menggunakan kurva plot arus terhadap waktu pada program ETAP 12.6. Setting rele pada penelitian ini dinyatakan handal karena kurva terletak dalam batas aman yaitu di sebelah kanan garis arus beban penuh dan inrush transformator serta di sebelah kiri garis damage curve.*

**Kata Kunci:** *Letakkan kata kunci Anda di sini, kata kunci dipisahkan dengan koma.*

**Abstract:** *Renewal setting of over current relay and ground fault relay in the PLTA Jelok's protection system is important because there is no change in the setting value since PLTA Jelok stood in the 1935. Fast, reliable, selective and economical protection system needs to be improved according to the latest load values and short circuit that may occur. For setting these relays, the required selection of the pickup current value and the working time based on the calculation limit of the full load current, maximum short circuit current and minimum short circuit current. Then the coordination of relays can be analyzed using the time-current plot curve on ETAP 12.6 program. Relays setting of this research are reliable because the curve location is on the right of full load ampere line and transformer inrush and also on the left of damage curve.*

**Keywords:** *Put your keywords here, keywords separated by commas.*

### PENDAHULUAN

Dalam sistem operasi tenaga listrik, pembangkit mempunyai peranan penting sebagai pemasok energi listrik. Energi listrik tersebut dihasilkan oleh generator yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Energi listrik tersebut kemudian disalurkan melalui transformator daya dengan menaikkan atau menurunkan level tegangannya sesuai dengan kebutuhan (Amalia Yunia Rahmawati, 2020). Namun dalam pengoperasian sistem tenaga listrik tidak selalu beroperasi normal, melainkan terkadang mengalami gangguan yang menyebabkan tingkat keandalannya berkurang. Gangguan yang mungkin terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan hubung singkat. Selain itu seiring dengan berjalannya waktu, kapasitas beban yang harus disuplai oleh sistem pembangkit mengalami kenaikan akibat beragamnya peralatan listrik yang digunakan. Faktor-faktor tersebut dapat menimbulkan aliran

arus yang besar melebihi arus nominal sehingga perlu dilakukan pembaharuan pada sistem proteksi (Ghanbari et al., 2021).

Sistem proteksi yang handal, selektif, cepat dan ekonomis adalah syarat penting dalam sistem kelistrikan pembangkit yang harus diperhatikan. Sistem pengaman dapat mencegah terjadinya kerusakan peralatan lain yang tidak mengalami gangguan serta membatasi antara daerah yang terganggu dengan daerah normal. Adanya koordinasi sistem proteksi sangat dibutuhkan dalam menangani gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi agar sesuai dengan urutan kerja peralatan proteksi sehingga tidak terjadi kesalahan kerja dari masing-masing rele dengan mempertimbangkan prioritas beban dan peralatan-peralatan yang terpasang (Alaee & Amraee, 2021). Keandalan dari sistem proteksi dapat ditingkatkan melalui analisa terhadap koordinasi dan *setting* rele-rele yang digunakan. Analisa tersebut dapat dilakukan dengan membuat simulasi koordinasi proteksi

menggunakan program *Electrical Transient Analysis Program* (ETAP 12.6). Melalui simulasi tersebut, dapat diketahui besarnya arus gangguan yang mungkin terjadi pada sistem kelistrikan saat terjadi gangguan hubung singkat untuk mengatur serta mengoptimalkan koordinasi rele pada sistem proteksi PLTA Jelok sehingga diperoleh sistem pengamanan yang handal, cepat, selektif serta ekonomis (Rezaei et al., 2019).

## METODE PENELITIAN

Perancangan penelitian ini hal-hal yang dilakukan adalah:

1. Studi Kepustakaan  
Dilaksanakan dengan mencari, mengumpulkan, mempelajari serta memahami acuan perpustakaan seperti buku-buku penunjang, jurnal, dan penelitian sebelumnya yang relevan untuk mendapatkan dasar-dasar teori mengenai penelitian.
2. Studi Lapangan  
Dilaksanakan dengan melakukan observasi secara langsung ke tempat penelitian yaitu PLTA Jelok dari bulan Februari – Maret 2020. Studi Lapangan terdiri dari beberapa kegiatan yaitu:
  - a. Wawancara, melakukan wawancara dan diskusi terhadap pihak terkait sehingga memperoleh data dan informasi untuk menyelesaikan penelitian ini.
  - b. Pengumpulan data, mengumpulkan berbagai data mengenai sistem kelistrikan PLTA Jelok meliputi *single line diagram* dan data peralatan lainnya seperti data beban, data transformator, data generator dan data rele.
  - c. Dokumentasi, mengabadikan data-data yang didapatkan untuk menjadi bahan materi penulisan laporan.
3. Studi Analisis  
Dilaksanakan dengan membuat pemodelan sistem kelistrikan PLTA Jelok pada program ETAP 12.6. Pemodelan sistem dilakukan untuk melakukan simulasi aliran daya dan hubung singkat, sehingga dapat diketahui besarnya arus gangguan hubung singkat. Nilai arus hubung singkat yang dibutuhkan adalah arus gangguan hubung singkat minimum (dua fasa) dan maksimum (tiga fasa) pada setiap busbar. Dari hasil simulasi yang didapatkan akan dilakukan perhitungan

dan analisa *setting* rele arus yang handal di PLTA Jelok menggunakan simulasi *star protective device coordination*.

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode penelitian kuantitatif dimana data-data yang digunakan disajikan dalam bentuk angka mulai dari pengambilan data, hasil perhitungan serta kurva karakteristik arus terhadap waktu dengan tujuan menemukan nilai *setting* rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah yang handal dan selektif pada PT Indonesia Power Mrica PGU Sub Unit PLTA Jelok.

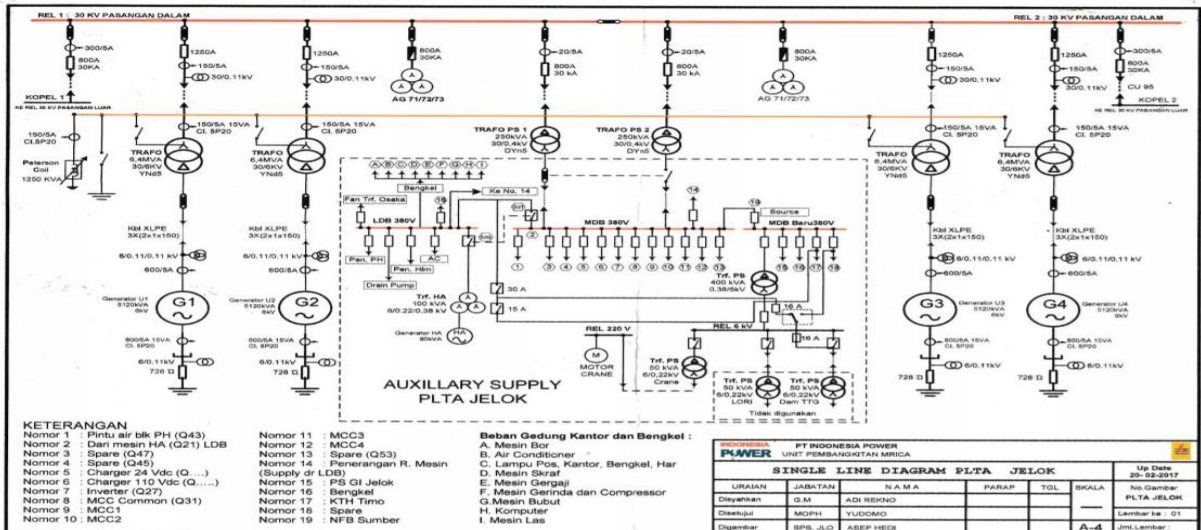
Pada penelitian yang bertujuan untuk mencari *setting* proteksi rele arus lebih dan rele gangguan tanah yang handal pada PLTA Jelok, objek atau titik perhatian dari penulis adalah :

1. Generator, adalah salah satu mesin listrik yang berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. PLTA Jelok memiliki 4 unit generator dengan kapasitas 4 x 5,49 MW dan 1 unit generator HA untuk pemakaian sendiri dengan kapasitas 1 x 72 kW.
2. Transformator, adalah salah satu mesin listrik yang berfungsi untuk mentransformasikan tegangan baik menaikkan ataupun menurunkan level tegangan. PLTA Jelok memiliki 4 unit MTR, 1 unit *three winding transformer* dan 4 transformator pemakaian sendiri untuk kebutuhan penunjang PLTA Jelok.
3. Koordinasi rele arus lebih berdasarkan simulasi ETAP 12.6.

Berdasarkan rancangan penelitian tersebut maka dapat disusun diagram alir penelitian sebagai berikut,



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian



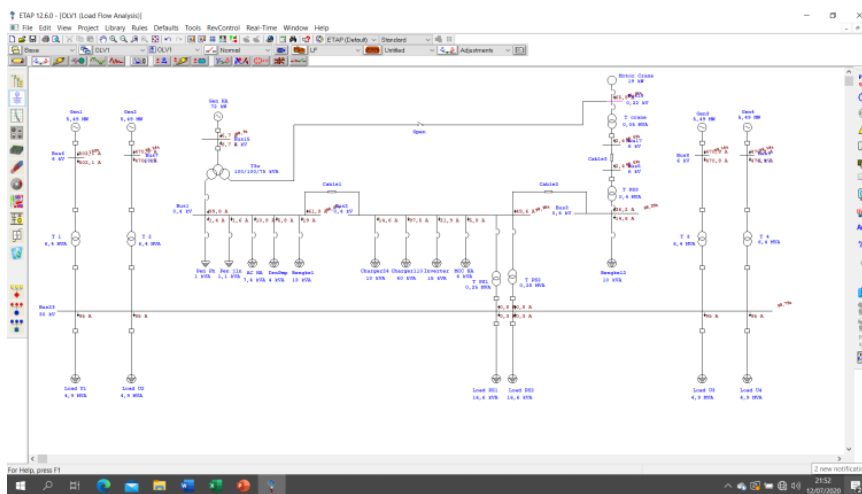
Gambar 2. Single Line Diagram PLTA Jelok

PLTA Jelok merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas sebesar 21,95 MW yang terdiri dari 4 unit pembangkit dengan masing-masing berkapasitas 5,49 MW. Tegangan listrik yang dihasilkan satu unit generator sebesar 6 kV yang kemudian dinaikkan melalui transformator utama (*main transformer* / MTR) menjadi 30 kV. Selanjutnya *output* daya PLTA Jelok akan digabungkan dengan PLTA Timo di serandang hubung 30 kV. Total daya dari kedua pembangkit ini yang akan disalurkan ke gardu induk tegangan tinggi 150 kV untuk sistem interkoneksi Jawa Bali.

PLTA Jelok juga memiliki 1 unit pembangkit (generator HA) berkapasitas 72 kW untuk menunjang kebutuhan PLTA Jelok itu sendiri. Sistem pemakaian sendiri PLTA jelok dalam operasinya dilengkapi dengan beberapa transformator yaitu *three winding transformer*,

transformator *crane* dan transformator PS. *Three winding transformer* (Trafo HA) adalah trafo jenis *step down* 6/0,4/0,22 kV, sedangkan trafo *crane* adalah trafo khusus beban motor *crane* dengan level tegangan 0,22/6 kV. Transformator PS berjumlah tiga buah yaitu 2 buah trafo PS 1 dan PS 2 jenis *step up* dari tegangan 0,4 kV menjadi 30 kV dan 1 buah trafo PS 3 jenis *step down* dari tegangan 6 kV menjadi 0,4 kV. Sehingga dalam sistem pemakaian sendiri PLTA Jelok terdapat 4 level tegangan yang berbeda, yaitu 0,22 kV, 0,4 kV, 6 kV dan 30 kV.

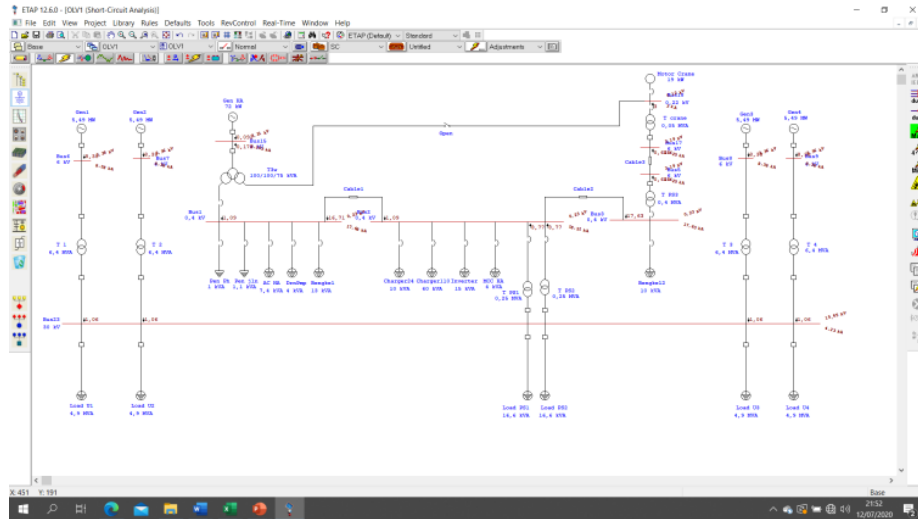
Untuk menemukan sistem koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah yang handal pada PLTA Jelok dapat dilakukan simulasi pada program ETAP 12.6. Sebelum melakukan *setting* rele, terlebih dahulu harus membuat pemodelan *single line diagram* yang kemudian akan disimulasikan untuk mendapatkan hasil akhirnya.



Gambar 3. Analisis Aliran Daya

Setelah pemodelan selesai dibuat, maka akan dilakukan simulasi aliran daya untuk mengetahui apakah sistem berjalan baik dengan spesifikasi data peralatan yang digunakan. Melalui simulasi aliran daya ini dapat diketahui

nilai pembebanan, tegangan bus, arus cabang dan aliran daya yang mengalir pada sistem kelistrikan PLTA Jelok. Selain melakukan analisa aliran daya, diperlukan pula analisa hubung singkat.



**Gambar 4.** Analisis Hubung Singkat

Analisa hubung singkat dilakukan guna memperoleh nilai arus hubung singkat yang terjadi pada setiap bus dalam tipikal yang telah ditentukan penulis. Arus hubung singkat yang digunakan dalam perhitungan nilai *setting* rele arus lebih dan arus gangguan ke tanah adalah arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum. Arus hubung singkat maksimum adalah arus hubung singkat 3 fasa, sedangkan arus hubung singkat minimum adalah arus hubung singkat fasa ke fasa (2 fasa).

Batas penentuan arus *pickup* pada rele arus lebih waktu terbalik adalah rele tidak boleh bekerja saat beban maksimum. *Setting* arus dari rele ini harus lebih besar dari arus beban penuh dari peralatan yang akan diamankan, sehingga *setting* rele ini merupakan pelindung dari beban lebih. Pada rele arus lebih waktu terbalik terdiri dari dua bagian *setting* yaitu *setting pickup* dan *setting time dial* (Aghdam et al., 2016).

Untuk mengetahui *setting pickup* digunakan persamaan berikut :

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{1,05 \times FLA}{CT \text{ Ratio}} < Tap < \frac{1,4 \times FLA}{CT \text{ Ratio}} \dots\dots\dots(2)$$

Dalam *input rating* rele OCR di simulasi ETAP 12.6 yang digunakan untuk nilai *pickup* adalah nilai tap (*Iset* sekunder) (Saleh et al., 2015).

*Setting time dial* digunakan untuk menentukan waktu operasi rele. Dalam menentukan nilai setelan waktu didasarkan pada

desain pabrik pembuat rele. Pada PLTA Jelok menggunakan setelan waktu *standard inverse* dengan persamaan sebagai berikut (Lim & Lim, 2019):

$$t = \left[ \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \right] \times \frac{TD}{2,97} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

t = waktu operasi (s)

I = arus maksimum (A)

*Iset* = arus setting (A)

TD = *time dial* (detik)

Batas penentuan arus *pickup* pada rele arus lebih waktu seketika digunakan sebagai pelindung dari kejadian hubung singkat. Rele ini bekerja seketika apabila ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diperbolehkan (Zhan et al., 2016). Untuk menentukan *setting instantaneous pickup* dari rele arus lebih seketika dengan menggunakan nilai *Isc min* (*I<sub>sc2φ</sub>*) pada pembangkitan minimum dengan persamaan sebagai berikut (Lwin et al., 2019):

$$1,6 \times FLA < I_{>} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}} \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{1,6 \times FLA}{CT \text{ Ratio}} < Tap < \frac{0,8 \times I_{sc \text{ min}}}{CT \text{ Ratio}} \dots\dots\dots(5)$$

Dalam *input rating* rele OCR di simulasi ETAP 12.6 yang digunakan untuk nilai *pickup* adalah nilai tap (*Iset* sekunder) (Srivastava et al., 2018).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

PLTA Jelok adalah salah satu pusat listrik tenaga air yang dibangun oleh perusahaan listrik milik Belanda pada tahun 1935 guna memenuhi kebutuhan listrik daerah Susukan, Delik. PLTA Jelok beroperasi cukup baik dengan kapasitas total sebesar 20,48 MW yang dibangkitkan oleh 4 unit pembangkit. Masing-masing unit generator menghasilkan tegangan listrik sebesar 6 kV yang kemudian dinaikkan melalui transformator utama (*main transformer* / MTR) menjadi 30 kV. *Output* daya PLTA Jelok ini akan digabungkan dengan PLTA Timo di serandang hubung 30 kV. Total daya dari kedua pembangkit ini yang akan disalurkan ke gardu induk tegangan tinggi 150 kV untuk sistem interkoneksi Jawa Bali.

Dalam sistem kelistrikannya, PLTA Jelok juga membutuhkan 1 unit pembangkit (generator HA) berkapasitas 72 kW untuk menunjang kebutuhan operasional PLTA Jelok itu sendiri. Ada beberapa beban internal yang digunakan oleh PLTA Jelok dalam sistem pemakaian sendirinya, berupa beban penerangan, *air conditioner* (AC), *drain pump*, peralatan bengkel, charger baterai, inverter, *motor control center* (MCC) dan motor *crane*. Sistem pemakaian sendiri PLTA jelok dilengkapi dengan beberapa transformator yaitu *three winding transformer*, transformator *crane* dan transformator PS. *Three winding transformer* (Trafo HA) adalah trafo jenis *step down* 6/0,4/0,22 kV, sedangkan trafo *crane* adalah trafo khusus beban motor *crane* dengan level tegangan 0,22/6 kV. Transformator PS berjumlah tiga buah yaitu 2 buah trafo PS 1 dan PS 2 jenis *step up* dari tegangan 0,4 kV menjadi 30 kV dan 1 buah trafo PS 3 jenis *step down* dari tegangan 6 kV menjadi 0,4 kV. Gambar 4.1 adalah pemodelan *single line diagram* PLTA Jelok yang telah dibuat melalui program ETAP 12.6

Gangguan hubung singkat minimum terjadi ketika pembangkitan minimum. Nilai arus hubung singkat yang digunakan adalah ketika terjadi gangguan hubung singkat fasa ke fasa (2Ø) pada saat 30 cycle (*steady state*). Kondisi *steady state* dari arus gangguan hubung singkat dimana selang waktu terjadinya gangguan adalah 600 ms. Arus gangguan hubung singkat minimum digunakan sebagai acuan dalam pemilihan nilai *setting pickup* dari kurva rele arus lebih waktu instan (*instantaneous*). Karakteristik kurva instan adalah rele bekerja dalam waktu singkat sesuai *time delay* yang telah ditentukan sehingga gangguan dapat terselesaikan dengan cepat.

Berdasarkan hasil simulasi *short circuit analysis* minimum 30 cycle, nilai arus hubung

singkat yang didapati tertera pada tabel 4.8. Nilai arus yang digunakan adalah arus gangguan fasa ke fasa atau antar fasa.

**Tabel 1.** Arus hubung singkat minimum 30 cycle

No.	ID Busbar	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat 2Ø (kA)
1	Bus1	0,4	13,611
2	Bus2	0,4	14,187
3	Bus3	0,4	13,586
5	Bus5	6	0,434
6	Bus6	6	5,465
7	Bus7	6	5,465
8	Bus8	6	5,465
9	Bus9	6	5,465
10	Bus15	6	0,202
11	Bus17	6	0,434
12	Bus18	0,22	2,291
13	Bus23	30	1,431

\*NB : Nilai (..) adalah nilai hubung singkat ketika switch SW1 close.

Gangguan hubung singkat maksimum terjadi ketika pembangkitan maksimum. Nilai arus hubung singkat yang digunakan adalah ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa (3Ø) pada ½ cycle (kondisi *sub-transient*). Kondisi *sub-transient* dari arus gangguan hubung singkat dimana selang waktu terjadinya gangguan adalah 10 ms. Arus gangguan hubung singkat maksimum akan digunakan sebagai acuan dalam perhitungan nilai *time dial* dari kurva rele arus lebih waktu terbalik (*time overcurrent-inverse*). *Time dial* akan berpengaruh terhadap waktu kerja rele arus leih saat terjadi gangguan hubung singkat.

Berdasarkan hasil simulasi *short circuit analysis* maksimum, nilai arus hubung singkat yang didapati adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.** Arus hubung singkat maksimum ½cycle

No.	ID Busbar	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat 3Ø (kA)
1	Bus1	0,4	17,405
2	Bus2	0,4	18,216
3	Bus3	0,4	17,371
5	Bus5	6	0,531
6	Bus6	6	8,086

No.	ID Busbar	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat 3Ø (kA)
7	Bus7	6	8,086
8	Bus8	6	8,086
9	Bus9	6	8,086
10	Bus15	6	0,243
11	Bus17	6	0,531
12	Bus18	0,22	2,877 (7,736)
13	Bus23	30	3,440

\*NB : Nilai (..) adalah nilai hubung singkat ketika switch SW1 close.

Sebelum melakukan analisa koordinasi sistem proteksi rele arus lebih, perlu dilakukan pemilihan tipikal koordinasi yang mewakili keseluruhan sistem. Dengan pemilihan tipikal tersebut dapat mempermudah dalam menganalisa mengenai koordinasi pengaman pada PLTA Jelok. Beberapa tipikal yang dipilih dalam penentuan koordinasi rele pengaman adalah :

1. Tipikal 1

Koordinasi pengaman tipikal 1 yaitu dari Gen1 hingga Load U1. Tipikal ini merupakan saluran dari generator unit ke beban unit pembangkit. Saluran ini melalui MTR 1 dengan level tegangan 6/30 kV. Saluran ini mewakili ketiga unit pembangkit lain dengan kapasitas yang sama dalam menyuplai beban eksternal.

2. Tipikal 2

Koordinasi pengaman tipikal 2 yaitu dari Gen HA (pemakaian sendiri) menuju beban internal penerangan *power house*. Tipikal ini

merupakan saluran terpendek menuju beban internal terkecil. Saluran ini melalui *three winding transformer* dengan level tegangan 6 kV dan 0,4 kV.

3. Tipikal 3

Koordinasi pengaman tipikal 3 yaitu dari Gen HA (pemakaian sendiri) menuju beban internal terbesar berupa *charger* 110VDC. Saluran ini merupakan kelanjutan dari tipikal 2 dengan level tegangan yang sama yaitu 6 kV dan 0,4 kV.

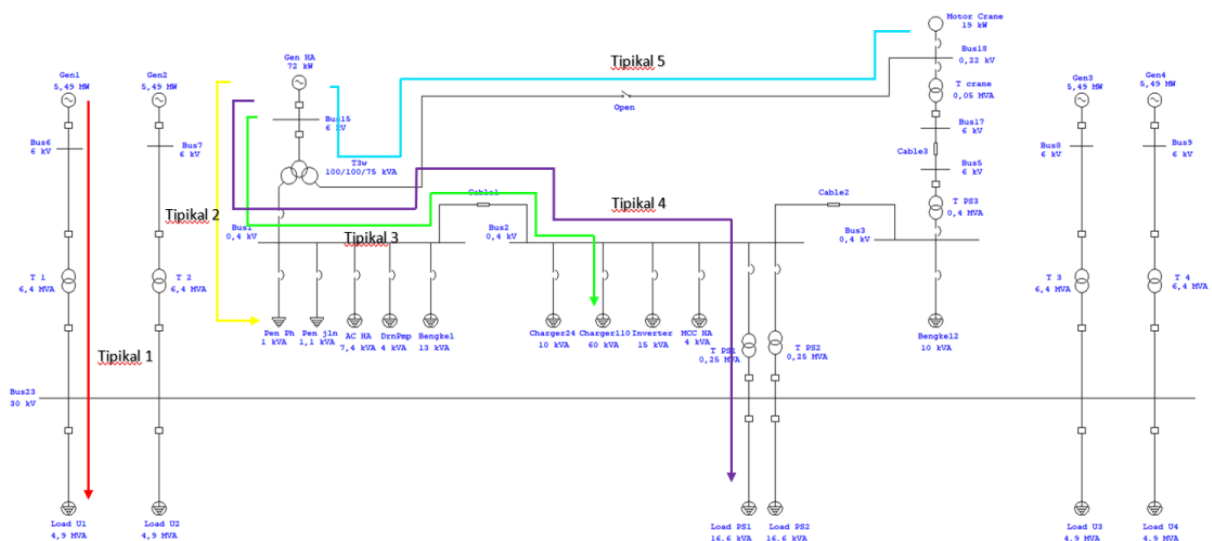
4. Tipikal 4

Koordinasi pengaman tipikal 4 yaitu dari Gen HA (pemakaian sendiri) menuju beban PS1 yang melewati trafo PS1 dengan level tegangan 0,4/30 kV. Saluran ini merupakan kelanjutan dari tipikal 2 dan 3 sehingga rating tegangan bus bervariasi dari 0,4 kV, 6 kV dan 30 kV.

5. Tipikal 5

Koordinasi pengaman tipikal 5 yaitu dari Gen HA (pemakaian sendiri) menuju beban motor *crane* (motor induksi). Saluran ini merupakan saluran terpendek menuju beban motor dengan melewati *three winding transformer* di sisi tersier. Level tegangan pada saluran ini adalah yang terkecil yaitu 0,22 kV.

Tipikal koordinasi yang dipilih dapat dilihat pada gambar 5. Pemilihan tipikal ini berdasarkan saluran untuk pelayanan konsumen, saluran terpendek ke beban internal dan saluran menuju beban internal dengan variasi level tegangan berbeda.

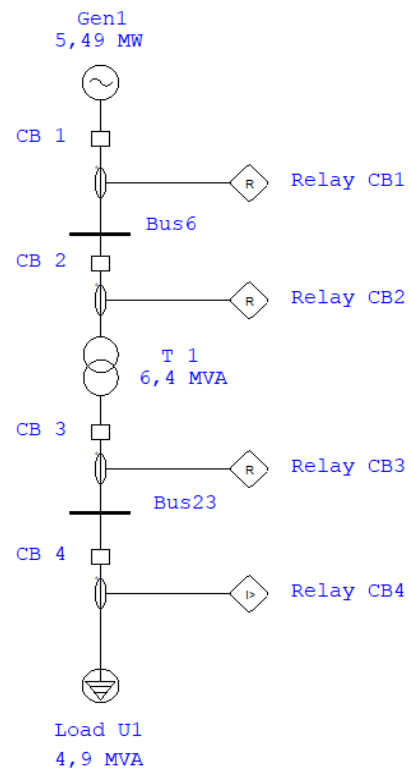


Gambar 5. Tipikal Koordinasi PLTA Jelok

Rele arus lebih berfungsi dalam mengamankan gangguan arus lebih fasa yang berupa beban lebih (*over load*) dan hubung singkat (*short circuit*). Dalam fungsinya sebagai pengaman beban lebih perlu dilakukan *setting* rele arus lebih waktu terbalik (*inverse*) dengan parameter *time overcurrent pickup (lowset)* dalam satuan ampere dan *time dial* dalam satuan detik. Sedangkan dalam fungsinya sebagai pengaman hubung singkat perlu dilakukan *setting* rele arus lebih waktu instan (*instantaneous*) dengan parameter *instantaneous pickup (highset)* dalam satuan ampere dan *time delay* dalam satuan detik.

*Setting* arus dan waktu pada masing-masing rele dilakukan agar rele dapat bekerja sesuai dengan urutannya dan tidak terjadi tumpang tindih atau *overlap* dimana rele tidak akan bekerja secara bersamaan antara rele yang satu dengan rele lainnya. Selain itu, adanya koordinasi rele ini diharapkan dapat mengisolasi gangguan agar tidak merusak peralatan yang lain. Berdasarkan standar IEEE 242, *grading time* adalah 0,2 - 0,4 detik.

Setelah melakukan perhitungan parameter-parameter yang dibutuhkan, maka akan dibuat kurva arus terhadap waktu (*time current curve*) pada program ETAP 12.6 yang akan dijadikan acuan terhadap pengkoordinasian kerja rele. Masing-masing tipikal akan diplot pada *Star Protective Device Coordination* agar dapat terlihat apakah koordinasi sudah berjalan dengan benar atau tidak. Dalam pengkoordinasiannya, rele arus lebih ini harus memperhatikan dua kondisi, yaitu pada saat *starting* motor dan *energizing transformer (inrush)*. Kondisi tersebut akan menimbulkan lonjakan arus yang cukup. Koordinasi pengaman tipikal 1 yaitu dari Gen1 hingga Load U1. Tipikal ini merupakan saluran dari generator unit ke beban unit pembangkit. Saluran ini melalui MTR 1 dengan level tegangan 6/30 kV. Saluran ini mewakili ketiga unit pembangkit lain dengan kapasitas yang sama dalam menyuplai beban eksternal.



Gambar 6. Tipikal Koordinasi 1

Berikut adalah data yang digunakan untuk rele CB1 :

<i>Manufacture</i>	: CEE Relays
Model	: RMST 7992
FLA Generator Unit 1	: 587 A
Isc Min kontribusi generator	: 5465 A
Isc Max kontribusi generator	: 8086 A
Tipe kurva	: Normal
Inverse	
CT Ratio	: 600/1

**Time Overcurrent Pickup (Inverse)**

Pickup Range	: 0,5 – 4 x CT sec
Step	: 0,1

Berdasarkan persamaan (1) dalam mencari nilai Iset primer *lowset* yaitu :

$$1,05 \times \text{FLA Gen U1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Gen U1}$$

$$1,05 \times 587 < \text{Iset} < 1,4 \times 587$$

$$616,35 < \text{Iset} < 821,8$$

$$\text{Iset} = 780 \text{ A}$$

Berdasarkan persamaan 3.2 dalam mencari nilai Iset sekunder *lowset* yaitu :

$$\frac{616,35}{600} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{821,8}{600} \text{ In}$$

$$1,027 \text{ In} < \text{Tap} < 1,370 \text{ In}$$

$$\text{Tap} = 1,3 \text{ In}$$

*Time dial*

Berdasarkan persamaan (3) dalam mencari nilai *time dial* yaitu :

Dipilih waktu operasi (t) = 2,21 detik

$$t = \left[ \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \right] \times \frac{TD}{2,97}$$

$$2,21 = \left[ \frac{0,14}{\left(\frac{8086}{780}\right)^{0,02} - 1} \right] \times \frac{TD}{2,97}$$

TD = 2,25

*Instantaneous Pickup*

Pickup Range : 2- 25 x CT

sec

Step : 0,5

Berdasarkan persamaan (4) dalam mencari nilai Iset primer *highset* yaitu :

$$1,6 \times \text{FLA Gen U1} < I_{\gg} < 0,8$$

$$\times \text{Iscmin kontribusi generator}$$

$$1,6 \times 587 < I_{\gg} < 0,8 \times 5465$$

$$939,2 < I_{\gg} < 4372$$

$$I_{\gg} = 4350 \text{ A}$$

Berdasarkan persamaan 3.5 dalam mencari nilai Iset sekunder *highset* yaitu :

$$\frac{939,2}{600} I_n < \text{Tap} < \frac{4372}{600} I_n$$

$$1,565 I_n < \text{Tap} < 7,287 I_n$$

$$\text{Tap} = 7,25 I_n$$

*Time delay*

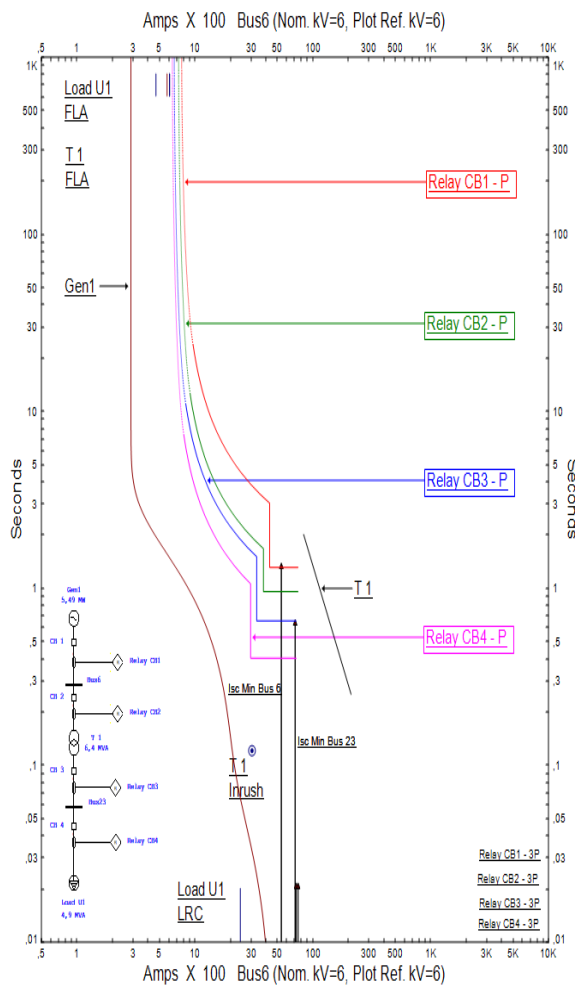
Dipilih *Time delay* = 1,3 s

tinggi, sehingga rele arus lebih harus mampu membedakan dari arus gangguan.

**Tabel 3.** Hasil *setting* tipikal 1

No	ID Rele	Model	CT Ratio		Setting	
1.	Rele CB1	CEE Relays RMST 7992	600/1	Overcurrent	Pickup (A)	1,3
					Amp Range (A)	1,3-780
					Waktu Operasi (s)	2,21
				Instantaneous	Time Dial	2,25
					Pickup (A)	7,25
					Amp Range (A)	7,25-4350
2.	Rele CB2	CEE Relays RMST 7992	700/1	Overcurrent	Pickup (A)	1,05
					Amp Range (A)	1,05-735
					Waktu Operasi (s)	1,15
				Instantaneous	Time Dial	1,2
					Pickup (A)	5,5
					Amp Range (A)	5,5-3850
3.	Rele CB3	CEE Relays RMST 7992	150/1	Overcurrent	Pickup (A)	0,9
					Amp Range (A)	0,9-135
					Waktu Operasi (s)	0,74
				Instantaneous	Time Dial	1,05
					Pickup (A)	4,5
					Amp Range (A)	4,5-675
4.	Rele CB4	CEE Relays RMST 7992	100/1	Overcurrent	Pickup (A)	1,3
					Amp Range (A)	1,3-130
					Waktu Operasi (s)	0,49
				Instantaneous	Time Dial	0,7
					Pickup (A)	6
					Amp Range (A)	6-600
					Time Delay (s)	0,4





**Gambar 7.** Kurva plot koordinasi tipikal 1

Dari hasil plot kurva tipikal 1 dapat dianalisa bahwa *setting* rele arus lebih sudah memenuhi kondisi aman dimana nilai pick-up keempat rele dalam batas *tap* perhitungan. Selain itu rele terletak di sebelah kanan titik *inrush* trafo 1. Titik *inrush* menunjukkan kondisi saat transformator sedang *energizing*. Kurva rele juga berada sebelum garis *damage curve* trafo 1 dimana garis tersebut menunjukkan kerusakan trafo akibat panas berlebih sehingga rele harus bekerja sebelum mendekati *damage curve* tersebut.

### PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan fasa ke tanah pada sistem proteksi PLTA Jelok dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut, Arus hubung singkat  $2\phi$  lebih kecil dibandingkan dengan arus hubung singkat  $3\phi$  karena nilai pembagi berdasarkan impedansi urutan positif

dan negatif. *Setting* koordinasi rele arus lebih pada penelitian ini dinyatakan aman karena kurva plot arus terhadap waktu setiap rele tidak tumpang tindih (*overlap*) dan berada dalam batas arus beban penuh, titik *inrush*, *damage curve* serta *manufacture* rele.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aghdam, T. S., Karegar, H. K., & Abbasi, A. (2016). Discussion on “Optimal Protection Coordination for Meshed Distribution Systems with DG Using Dual Setting Relays.” *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(3), 1756. <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2548878>
- Alaee, P., & Amraee, T. (2021). Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays in Meshed Active Distribution Network Using Imperialistic Competition Algorithm. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 9(2), 416–422. <https://doi.org/10.35833/MPCE.2019.000184>
- Amalia Yunia Rahmawati. (2020). *Evaluasi Koordinasi Proteksi Akibat Penambahan Pembangkit Dan Rekonfigurasi Jaringan Di Joint Operation Body Pertamina-Petrochina East Java (Job P-Pej)*, Tuban. 4(July), 1–23.
- Ghanbari, M., Gandomkar, M., & Nikoukar, J. (2021). *Protection Coordination of Bidirectional Overcurrent Relays Using Developed Particle Swarm Optimization Approach Considering Distribution Generation Penetration and Fault Current Limiter Placement Coordination de la protection des relais de surintensité*. 44(2), 143–155.
- Lim, S. H., & Lim, S. T. (2019). Analysis on Coordination of Over-Current Relay Using Voltage Component in a Power Distribution System with a SFCL. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 29(5), 1. <https://doi.org/10.1109/TASC.2019.2904668>
- Lwin, M., Guo, J., Dimitrov, N. B., & Santoso, S. (2019). Stochastic Optimization for Discrete Overcurrent Relay Tripping Characteristics and Coordination. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(1), 732–740.

<https://doi.org/10.1109/TSG.2017.275159>

6

Rezaei, N., Uddin, M. N., Amin, I. K., Othman, M. L., & Marsadek, M. (2019). Genetic Algorithm-Based Optimization of Overcurrent Relay Coordination for Improved Protection of DFIG Operated Wind Farms. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(6), 5727–5736. <https://doi.org/10.1109/TIA.2019.293924>

4

Saleh, K. A., Zeineldin, H. H., Al-Hinai, A., & El-Saadany, E. F. (2015). Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Using a New Time-Current-Voltage Characteristic. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30(2), 537–544. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2014.2341666>

Srivastava, A., Tripathi, J. M., Krishan, R., & Parida, S. K. (2018). Optimal Coordination of Overcurrent Relays Using Gravitational Search Algorithm with DG Penetration. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(2), 1155–1165. <https://doi.org/10.1109/TIA.2017.277301>

8

Zhan, H., Wang, C., Wang, Y., Yang, X., Zhang, X., Wu, C., & Chen, Y. (2016). Relay protection coordination integrated optimal placement and sizing of distributed generation sources in distribution networks. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(1), 55–65. <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.242066>

7