

ANALISIS KOORDINASI SISTEM PROTEKSI SALURAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK TAMBANG BAWAH TANAH DEEP MILL LEVEL ZONE PT. FREEPORT INDONESIA

Hanna Bilin Wakerkwa¹, Marten Liga², Aris Sampe³

^{1,2,3} Fakultas Teknik/Universitas Cenderawasih/Indonesia
Email: hannabilinwakerkwa@gmail.com

Info Artikel

Histori Artikel:
Diterima 17 04, 2025
Direvisi 28 04, 2025
Disetujui 07 05, 2025

ABSTRACT

Deep Mill Level Zone (DMLZ) is one of the underground mining areas operated by PT Freeport Indonesia, with a production rate of approximately 83,000 tons per day as of September 2022. To support mining activities, the electrical system in the DMLZ underground mine relies on advanced electrical equipment, supplied through the Switchgear EBB DMLZ 34.5 kV – 13.8 kV, Ring Main Unit (RMU), and Mobile Substation. However, this electrical system is susceptible to faults, such as symmetrical faults, asymmetrical faults, and overloads, requiring an adequate protection system. This study aims to analyze the coordination of overcurrent protection (Over Current Relay, OCR) and ground fault protection (Ground Fault Relay, GFR) on feeder J05 U/G North Haulage using ETAP 19.0.1 software. The analysis results show that the pickup current (I_{pp}) and Time Multiplier Setting (TMS) settings for the OCR and GFR relays provide protection coordination that meets the IEC 60255 standard, with a grading time between 0.2 – 0.4 seconds. These findings indicate that the protection system applied is effective in safeguarding the electrical system at DMLZ.

Keywords: overcurrent protection, over current relay, ground fault relay, protection coordination, iec 60255, etap 19.0.1, deep mill level zone.

ABSTRAK

Deep Mill Level Zone (DMLZ) adalah salah satu area tambang bawah tanah yang dioperasikan oleh PT Freeport Indonesia, dengan hasil produksi mencapai sekitar 83.000 ton per hari pada bulan September 2022. Untuk mendukung kegiatan penambangan, sistem kelistrikan di tambang bawah tanah DMLZ mengandalkan peralatan bertenaga listrik canggih yang disalurkan melalui Switchgear EBB DMLZ 34,5 kV – 13,8 kV, Ring Main Unit (RMU), dan Mobile Substation. Namun, sistem tenaga listrik tersebut rentan terhadap gangguan, seperti gangguan simetris, gangguan tidak simetris, dan gangguan beban lebih, yang memerlukan sistem proteksi yang memadai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis koordinasi sistem proteksi arus lebih (Over Current Relay, OCR) dan proteksi gangguan tanah (Ground Fault Relay, GFR) pada feeder J05 U/G North Haulage dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1. Berdasarkan analisis, pengaturan arus pickup (I_{pp}) dan Time Multiplier Setting (TMS) pada relai OCR dan GFR menghasilkan koordinasi proteksi yang memenuhi standar IEC 60255 dengan grading time antara 0,2 – 0,4 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem proteksi yang diterapkan dapat berfungsi efektif dalam melindungi sistem kelistrikan di DMLZ.

Kata kunci: proteksi arus lebih, over current relay, ground fault relay, koordinasi proteksi, iec 60255, etap 19.0.1, deep mill level zone.

Penulis Korespondensi:

Hanna Bilin Wakerkwa,
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Cenderawasih,
Email: hannabilinwakerkwa@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Pengoperasian salah satu tambang bawah tanah oleh PT. Freeport Indonesia yaitu *Deep Mill Level Zone* memiliki target dalam memproduksi tambang sebanyak (\pm) 83.000 ton/hari. Pengoperasian tambang bawah tanah DMLZ menggunakan peralatan canggih bertena gas listrik yang bersumber dari saluran distribusi yaitu *Switchgear* EBB DMLZ bertena gas 13,8 kV, dengan penyulang *feeder* J05 U/G *North Haulage*. Dari beberapa penyulang tersebut selanjutnya, tenaga listrik disalurkan ke *Ring Main Unit* (RMU) 26A0005, *Mobile Substation* 220xxx, *Mobile Substation* 220261 dan *Mobile Substation* 220258 sampai pada beban di tambang bawah tanah DMLZ.

Untuk mendukung pengoperasian tambang bawah tanah DMLZ pada kegiatan produksi dan pengontrolan, perlu dirancang sistem saluran distribusi tenaga listrik yang aman, andal, dan stabil agar energi listrik dapat disalurkan secara kontiniu. Perlu diperhatikan berbagai macam gangguan dari arus berlebih yang dapat timbul dalam sistem saluran distribusi, seperti gangguan simetris, gangguan tidak simetris, gangguan beban lebih, dan gangguan hubung singkat. Dari gangguan-gangguan tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada mesin atau peralatan sampai mengancam keselamatan pekerja (Tasiam, 2017).

Dengan demikian, dibutuhkan sistem yang dapat memproteksi saluran distribusi tenaga listrik agar gangguan-gangguan akan arus berlebih yang timbul dapat terisolasi. Proteksi akan arus lebih yang digunakan berupa *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR).

Relai arus lebih OCR dan GFR bekerja dengan mendeteksi arus yang melewati peralatan saluran distribusi, jika $I_f > I_{pp}$ maka CB akan membuka sakelar dalam batas waktu yang ditentukan agar suatu saluran distribusi dapat terisolir. Relai bekerja saling terhubung antara relai sisi *incoming* dan relai sisi *outgoing*.

Sehingga, perlu adanya penyetelan akan proteksi relai arus lebih OCR dan GFR yang memungkinkan relai bekerja secara terkoordinasi dan tidak bekerja secara bersamaan.

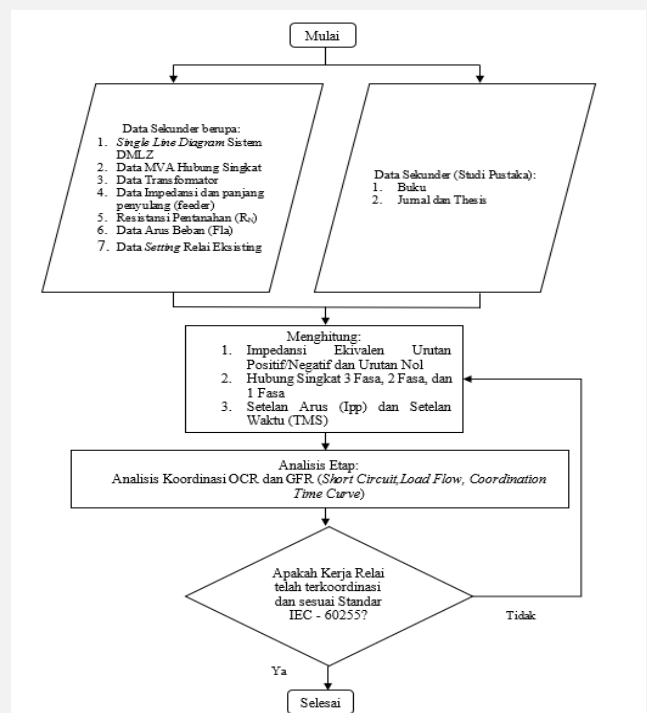
Saluran distribusi tenaga listrik di tambang bawah tanah DMLZ memiliki daya sebesar 15 MW dengan frekuensi 60 Hz dan bertena gas 13,8 kV tidak terlepas dari kondisi beban lebih dan hubung singkat. Berdasarkan data gangguan bahwa telah terjadi beberapa kali *trip*. Dengan demikian, sistem proteksi arus lebih OCR dan GFR yang digunakan memiliki setelan standar ANSI/IEEE dengan pemilihan jenis kurva *Very Inverse* dan *Extremely Inverse*.

Analisa ini bertujuan untuk menentukan setelan peralatan proteksi arus lebih OCR dan GFR pada masing-masing penyulang dan peralatan saluran distribusi RMU dan *Mobile Substation* menggunakan standar IEC - 60255. Selanjutnya membuat analisis terhadap hasil simulasi koordinasi antar relai OCR dan GFR dengan bantuan program ETAP 19.0.1.

Dari analisa ini diharapkan memberikan setelan arus (I_{pp}) dan waktu (TMS) yang tepat pada proteksi relai arus lebih OCR dan GFR sesuai data yang tersedia.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah observasi data, menghitung setelan arus dan waktu relai arus lebih OCR dan GFR, analisis simulasi koordinasi relai arus lebih OCR dan GFR.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

$$Z_2 = \frac{kV_2^2}{kV_1^2} Z_s$$

$$Z_s = \frac{13,8^2}{34,5^2} \times 2,3805$$

$$Z_s = 0,381 \Omega$$

Perhitungan Impedansi Transformator

Mencari reaktansi dalam ohm adalah dengan mencari besar nilai ohm dalam 100%. Reaktansi transformator tenaga 26TX0500A dan 26TX0500B memiliki daya 20 MVA adalah 7,05%.

$$Z_T = \frac{(kV_{L-L})^2}{MVA}$$

$$Z_T = \frac{13,8^2}{20}$$

$$Z_T = 9,522 \Omega$$

a. Reaktansi Urutan Positif dan Urutan Negatif ($X_{T1} = X_{T2}$)

$$X_{T1} = X_{T2} = Z (\%) \text{ dari transformator} \times Z_T$$

$$X_{T1} = X_{T2} = 7,05\% \times 9,522$$

$$X_{T1} = X_{T2} = 0,671 \Omega$$

b. Reaktansi Urutan Nol (X_{T0})

Transformator tenaga 26TX0500A dan 26TX0500B memiliki jenis belitan Dyn1 dimana kapasitas hubungan delta sama dengan kapasitas belitan wye.

$$X_{T0} = X_{T1}$$

$$X_{T0} = 0,671 \Omega$$

Perhitungan Impedansi Jaringan Distribusi

Panjang jaringan *feeder* J05 U/G *North Haulage* adalah 2,5 km.

a. Perhitungan Impedansi Urutan Positif dan Urutan Negatif ($Z_1 = Z_2$)

$$\text{Feeder J05} = (0,0647 + j0,0694) \Omega/\text{km} \times 2,5 \text{ kms}$$

$$= 0,162 + j0,174 \Omega$$

b. Perhitungan Impedansi Urutan Nol (Z_0)

$$\text{Feeder J05} = (0,1494 + j0,0425) \Omega/\text{km} \times 2,5 \text{ kms}$$

$$= 0,374 + j0,106 \Omega$$

Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan

a. Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan Urutan Positif dan Urutan Negatif ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$)

$$\text{Feeder J05} = j0,381 + j0,671 + 0,162 + j0,174$$

$$= 0,162 + 1,225 \Omega$$

b. Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan Urutan Nol (Z_{0eq})

$$\text{Feeder J05} = j0,381 + 0,671 + 0,162 + j0,174$$

$$= 300,374 + 0,777 \Omega$$

Perhitungan Arus Hubung Singkat

Dalam menentukan besar arus gangguan pada impedansi urutan positif, urutan negatif dan urutan nol. Maka dilakukan konversi nilai impedansi dari bentuk rectangular ke dalam bentuk polar.

$$Z_{1eq} \text{ Feeder J05} = \sqrt{(0,162^2 + 1,225^2)}$$

$$= 1,236 \Omega$$

$$Z_{0eq} \text{ Feeder J05} = \sqrt{(300,374^2 + 0,777^2)}$$

$$= 300,375 \Omega$$

Dalam menentukan nilai arus hubung singkat, maka dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai tegangan fasa - netral dari tegangan sisi sekunder yaitu 13,8 kV.

$$V_{L-N} = \frac{kV_{\text{sekunder}}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{L-N} = \frac{13800}{\sqrt{3}}$$

$$V_{L-N} = 7967,434 \text{ V}$$

a. Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Fasa

Tabel 2. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Fasa

Panjang Jaringan (%)	Feeder J05 - U/G North Haulage
0	7574,470
10	7450,710
20	7329,331
30	7210,373
40	1093,860
50	6979,802
60	6868,201
70	6759,048
80	6652,529
90	6548,021
100	6446,095

b. Perhitungan Arus Hubung Singkat 2 Fasa

Tabel 3. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat 2 Fasa

Panjang Jaringan (%)	Feeder J05 - U/G North Haulage
0	6559,491
10	6452,314
20	6347,201
30	6244,183
40	6143,282
50	6044,508
60	5947,862

70	5853,336
80	5760,917
90	5670,586
100	5582,318

c. Perhitungan Arus Hubung Singkat 1 Fasa

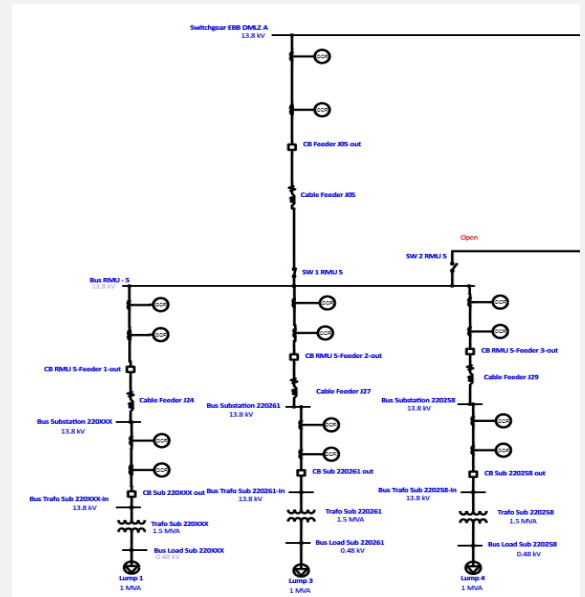
Tabel 4. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat 1 Fasa

Panjang Jaringan (%)	Feeder
	J05 - U/G North Haulage
0	79,119
10	79,100
20	79,081
30	79,062
40	79,043
50	79,024
60	79,004
70	78,985
80	78,965
90	78,945
100	78,925

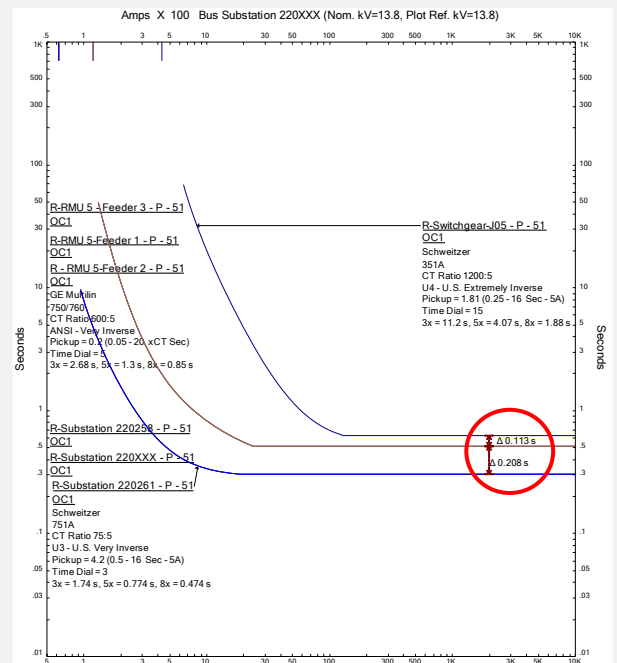
Penyetelan Koordinasi Relay Arus Lebih

Penyetelan Relai Arus Lebih (Over Current Relay)

Penyetelan relai arus lebih (OCR) *incoming feeder* J05 U/G North Haulage yang memiliki panjang saluran 2,5 kms. Terhubung ke RMU 26A0005 dan *Substation* 220xxx, *Substation* 220261, *Substation* 220258. Energi listrik yang didistribusikan menuju beban berupa Loading Point 7-8, Exhaust 3, dan Loading Point 17-18 lokasi kerja North Area. Untuk model jaringan *feeder* J05 U/G North Haulage dapat dilihat pada gambar 3.2 dan plot kurva TCC eksisting dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3. Analisa Jaringan Feeder J05 U/G North Haulage



Gambar 4. Kurva Koordinasi Relai Arus Lebih (OCR) Kondisi Eksisting

Dari gambar 4 kurva TCC koordinasi relai arus lebih kondisi eksisting dapat dilihat bahwa terdapat kesalahan koordinasi yang ditunjukkan pada waktu tunda antar relai (*Grading Time*) pada *outgoing* RMU 26A0005 dan *incoming feeder* J05 U/G North Haulage yang bernilai kurang dari 0,2 detik yaitu 0,113 detik. Setelah dilakukan analisa terhadap kurva TCC eksisting. Maka, dapat diketahui bahwa perlu adanya perhitungan ulang. Berikut adalah perhitungan *resetting* untuk masing-masing relai arus lebih.

Perhitungan Setelan Relai Arus Lebih (OCR), menentukan setelan Ipp dan TMS *incoming* – *outgoing*.

a. Relai Substation 220xxx, Substation 220261, dan Substation 220258

Model: Schweitzer 751A

Rasio CT: 75/5

Kurva: IEC – Standard Inverse

FLA Substation: 43,1 A

$I_{f\phi 3}$ Feeder J05: 7574,470 A

Perhitungan setelan Ipp

Faktor koreksi beban lebih (K): 1,05

$$I_{pp} = \frac{K \times FLA}{CTR}$$

$$I_{pp} = \frac{1,05 \times 43,1}{\frac{75}{5}}$$

$$I_{pp} = 3,017 \text{ A}$$

Perhitungan setelan TMS

Waktu Operasi: 0,3 detik

$$TMS = \frac{t \left(\left(\frac{I_{f\phi 3}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} + 0$$

$$TMS = \frac{0,3 \left(\left(\frac{7574,470}{45,255} \right)^2 - 1 \right)}{0,14} + 0$$

$$TMS = 0,23 \text{ detik}$$

b. Relai RMU 26A0005: Feeder 1 – Feeder 2 – Feeder 3

Model: GE Multilin 750/760

Rasio CT: 600/5

Kurva: IEC - Standard Inverse

FLA RMU: 43,1 A

$I_{f\phi 3}$ Feeder J05: 7574,470 A

Perhitungan setelan Ipp

Faktor koreksi beban lebih (K): 1,2

$$I_{pp} = \frac{K \times FLA}{CTR}$$

$$I_{pp} = \frac{1,2 \times 43,1}{\frac{600}{5}}$$

$$I_{pp} = 0,431 \text{ A}$$

Perhitungan setelan TMS

Waktu Operasi: 0,4 detik

$$TMS = \frac{t \left(\left(\frac{I_{f\phi 3}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} + 0$$

$$TMS = \frac{0,4 \left(\left(\frac{7574,470}{51,72} \right)^2 - 1 \right)}{0,14} + 0$$

$$TMS = 0,3 \text{ detik}$$

c. Relai Switchgear J05 U/G North Haulage

Model: Schweitzer 351A

Rasio CT : 1200/5

Kurva: IEC - Standard Inverse

$I_{f\phi 3}$ Feeder J05: 7574,470 A

Perhitungan setelan Ipp

Faktor koreksi beban lebih (K) : 1,3

$$I_{nom} = \frac{MVA}{kV}$$

$$I_{nom} = \frac{20000}{13,8 \times \sqrt{3}}$$

$$I_{nom} = 836,740 \text{ A}$$

$$I_{pp} = \frac{K \times I_{nom}}{CTR}$$

$$I_{pp} = \frac{1,3 \times 836,740}{\frac{1200}{5}}$$

$$I_{pp} = 4,532 \text{ A}$$

Perhitungan setelan TMS

Waktu operasi: 1,6 detik

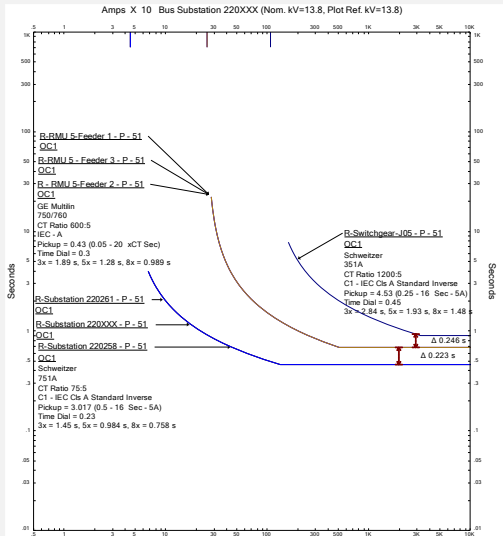
$$TMS = \frac{t \left(\left(\frac{I_{f\phi 3}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} + 0$$

$$TMS = \frac{1,6 \left(\left(\frac{7574,470}{1087,761} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} + 0$$

$$TMS = 0,45 \text{ detik}$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Setelan Ipp dan TMS Jaringan Feeder J05 U/G North Haulage

	Bus	OCR	
		Ipp (A)	TMS (s)
Incoming	Switchgear J05 U/G North Haulage	4,532	0,45
Outgoing	RMU 26A0005 – F1	0,431	0,3
	RMU 26A0005 – F2	0,431	0,3
	RMU 26A0005 – F3	0,431	0,3
	Substation 220xxx	3,017	0,23
	Substation 220261	3,017	0,23
	Substation 220258	3,017	0,23

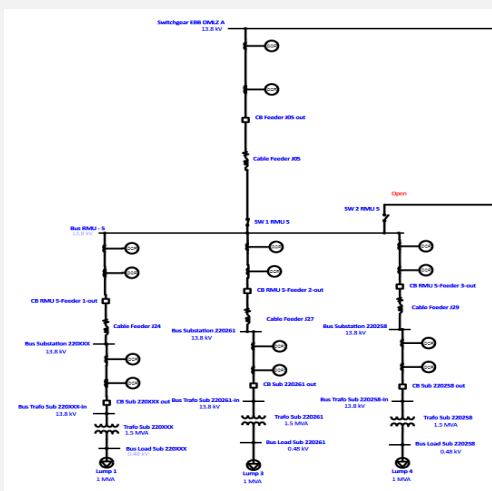


Gambar 5. Kurva Koordinasi Relai Arus Lebih (OCR) Kondisi *Resetting*

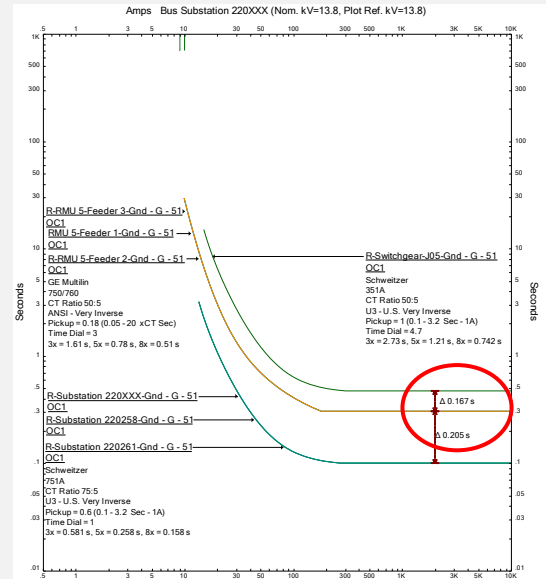
Setelah dilakukan penyetelan ulang terhadap jaringan eksisting dengan pemilihan standar kurva IEC-60255 dapat dilihat bahwa waktu tunda antar relai menjadi 0,223 detik dan 0,215 detik. Sehingga, relai primer dan relai sekunder tidak akan *trip* secara bersamaan.

Penyetelan relai arus lebih (Ground Fault Relay)

Penyetelan relai gangguan tanah *incoming feeder* J05 U/G *North Haulage* yang memiliki panjang saluran 2,5 kms. Terhubung ke RMU 26A0005 dan *Substation* 220xxx, *Substation* 220261, *Substation* 220258. Energi listrik yang didistribusikan menuju beban berupa Loading Point 7-8, Exhaust 3, dan Loading Point 17-18 lokasi kerja *North Area*. Untuk model jaringan *feeder* J05 U/G *North Haulage* dapat dilihat pada gambar 3.5 dan plot kurva TCC eksisting dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Analisa Jaringan *Feeder* J05 U/G *North Haulage*



Gambar 7. Kurva Koordinasi Relai Gangguan Tanah (GFR) Kondisi Eksisting

Dari gambar 7 kurva TCC koordinasi relai gangguan tanah kondisi eksisting dapat dilihat bahwa terdapat kesalahan koordinasi yang ditunjukkan pada waktu tunda antar relai (*Grading Time*) pada outgoing RMU 26A0005 dan *incoming feeder* J05 U/G *North Haulage* yang bernilai kurang dari 0,2 detik yaitu 0,175 detik. Setelah dilakukan analisa terhadap kurva TCC eksisting. Maka, dapat diketahui bahwa perlu adanya perhitungan ulang. Berikut adalah perhitungan *resetting* untuk masing-masing relai gangguan tanah. Perhitungan Setelan Relai Gangguan Tanah, menentukan setelan Ipp dan TMS *incoming - outgoing*.

a. Relai *Substation* 220xxx, *Substation* 220261, dan *Substation* 220258

Model: Schweitzer 751A
 Rasio CT: 75/5
 Kurva: IEC - Standard Inverse
 I_{f01} Feeder J05: 78,925 A

Perhitungan setelan Ipp

Faktor koreksi beban lebih (K): 12%

$$I_{pp} = \frac{K \times I_{f01}}{CTR}$$

$$I_{pp} = \frac{12\% \times 78,925}{\frac{75}{5}}$$

$$I_{pp} = 0,631 \text{ A}$$

Perhitungan setelan TMS

Waktu operasi: 0,2 detik

$$TMS = \frac{t \left(\left(\frac{I_{f01}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} + 0$$

$$TMS = \frac{0,2 \left(\left(\frac{78,925}{9,47106} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} + 0$$

$$TMS = 0,06 \text{ detik}$$

b. Relai RMU 26A0005: Feeder 1 – Feeder 2 – Feeder 3

Model: GE Multilin 750/760
 Rasio CT: 50/5
 Kurva: IEC – Standard Inverse
 $I_{f\phi 1}$ Feeder J05: 78,925 A

Perhitungan setelan Ipp

Faktor koreksi beban lebih (K): 12%

$$I_{pp} = \frac{K \times I_{f\phi 1}}{CTR}$$

$$I_{pp} = \frac{12\% \times 78,925}{\frac{50}{5}}$$

$$I_{pp} = 0,947 \text{ A}$$

Perhitungan setelan TMS

Waktu operasi: 0,5 detik

$$TMS = \frac{t \left(\left(\frac{I_{f\phi 1}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} + 0$$

$$TMS = \frac{0,5 \left(\left(\frac{78,925}{9,47106} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} + 0$$

$$TMS = 0,15 \text{ detik}$$

c. Relai Switchgear J05 U/G North Haulage

Model: Schweitzer 351A
 Rasio CT: 50/5
 Kurva: IEC - Standard Inverse
 $I_{f\phi 1}$ Feeder J05: 78,925 A

Perhitungan setelan Ipp

Faktor koreksi beban lebih (K): 12%

$$I_{pp} = \frac{K \times I_{f\phi 1}}{CTR}$$

$$I_{pp} = \frac{12\% \times 78,925}{\frac{50}{5}}$$

$$I_{pp} = 0,947 \text{ A}$$

Perhitungan setelan TMS

Waktu operasi: 1,2 detik

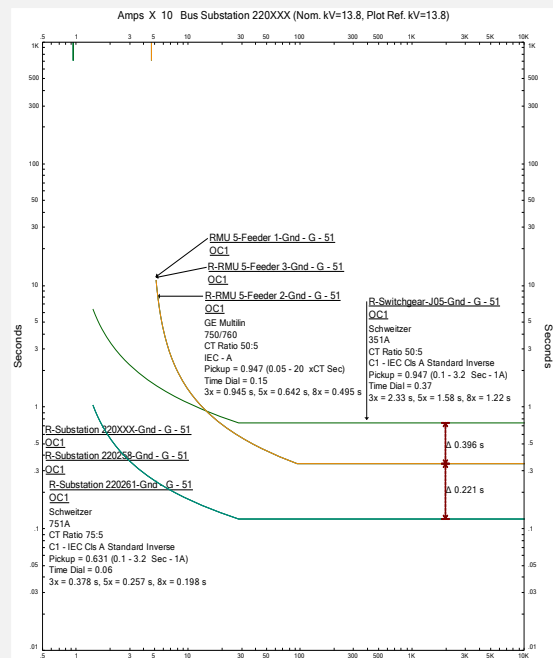
$$TMS = \frac{t \left(\left(\frac{I_{f\phi 1}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} + 0$$

$$TMS = \frac{1,2 \left(\left(\frac{78,925}{9,471} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} + 0$$

$$TMS = 0,37 \text{ detik}$$

Tabel 6. Hasil Perhitungan Setelan Ipp dan TMS Jaringan Feeder J05 U/G North Haulage

	Bus	GFR	
		Ipp (A)	TMS (s)
Incoming	Switchgear J05 U/G North Haulage	0,947	0,37
Outgoing	RMU 26A0005 – F1	0,947	0,15
	RMU 26A0005 – F2	0,947	0,15
	RMU 26A0005 – F3	0,947	0,15
	Substation 220xxx	0,631	0,06
	Substation 220261	0,631	0,06
	Substation 220258	0,631	0,06



Gambar 7. Kurva Koordinasi Relai Gangguan Tanah (GFR) Kondisi *Resetting*

Setelah dilakukan penyetelan ulang terhadap jaringan eksisting dengan pemilihan standar kurva IEC-60255 dapat dilihat bahwa waktu tunda antar relai menjadi 0,221 detik dan 0,396 detik. Sehingga, relai primer dan relai sekunder tidak akan *trip* secara bersamaan. Dapat dilihat bahwa relai yang terpasang dapat bekerja sesuai dengan penyetelannya, relai akan bekerja sesuai dengan titik gangguan sebagai relai utama maupun relai *back-up*. Adapun nilai *resetting* Ipp relai switchgear J05 U/G North Haulage dan relai RMU 26A0005 adalah 0,947 A yang membuat terpotongnya kurva koordinasi antara kedua relai.

4. KESIMPULAN

Analisis sistem proteksi dalam penelitian ini dilakukan pada feeder J05 U/G *North Haulage*. Sistem proteksi dirancang untuk mengatasi gangguan arus lebih yang terjadi pada peralatan saluran distribusi. Pada pengaturan sistem proteksi ini, waktu kerja relai diatur sesingkat mungkin agar sisi *outgoing*, yaitu *Substation* dan RMU, dapat bekerja terlebih dahulu, diikuti oleh sisi *incoming*, yaitu *feeder Switchgear*, yang memiliki waktu kerja yang lebih lambat dan berfungsi sebagai proteksi pembantu (backup). Hal ini bertujuan agar gangguan yang terjadi tidak meluas ke saluran atau feeder lainnya.

Arus hubung singkat 3 fasa pada jaringan distribusi dengan jarak 0% tercatat sebesar 7574,470 A, sedangkan arus hubung singkat 1 fasa dengan jarak 100% pada feeder J05 U/G *North Haulage* adalah 78,925 A. Penyetelan proteksi relai arus lebih OCR dan GFR pada *switchgear feeder* J05 U/G *North Haulage*, RMU 26A0005, serta substation 220xxx, 220261, dan 220258 menggunakan pemilihan jenis kurva IEC - *Standard Inverse*.

Koordinasi kerja antara relai arus lebih OCR dan GFR eksisting menunjukkan bahwa relai bekerja sesuai urutan yang diinginkan. Namun, interval kerja antar relai atau *grading time* yang masih kurang dari 0,2 hingga 0,4 detik dapat memperlambat respons sistem. Setelah dilakukan analisis lebih lanjut dan penyetelan ulang, relai bekerja secara terkoordinasi sesuai dengan titik gangguan yang terdeteksi, dengan *grading time* yang kini tidak kurang dari 0,2 hingga 0,4 detik. Selain itu, pemilihan jenis kurva IEC - *Standard Inverse* berhasil membuat waktu kerja relai menjadi lebih singkat dibandingkan dengan setelan kurva pada relai eksisting, sehingga relai dapat berfungsi lebih cepat, sensitif, dan selektif dalam mendeteksi serta memutuskan gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alstom Grid. 2011. Network Protection & Automation Guide: Protective Relays, Measurement and Control. Alstom. [tersedia dari: google scholar].
- [2] Badan Pusat Statistik. 2022. Jumlah Penduduk Pertengahan Tahun 2020-2022. [Internet]. [diakses 12 September 2022]. [tersedia: <https://www.bps.go.id/>].

- [3] IEEE std 141-1993. 1993. IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants. The Institute of Electrical and Electronic Engineering, Inc. New York.
- [4] IEEE std 242-2001. 2001. IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems. The Institute of Electrical and Electronic Engineering, Inc. New York.
- [5] iPower Solution. 2020. Manual Book Mobile Substation. Cairns, Queensland, Australia.
- [6] iPower Solution. 2020. Manual Book Ring Main Unit. Cairns, Queensland, Australia.
- [7] Nurcahyo M. 2019. Evaluasi Koordinasi Proteksi Over Current Relay (OCR) dan Directional Ground Relay (DGR) di Gardu Induk 150 kV Segoromadu. Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [8] Purnomo A. 2017. Analisis dan Perencanaan Sistem Koordinasi Proteksi Sistem Distribusi Kelistrikan Pada Pelabuhan Teluk Lamong Surabaya. Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [9] Mustafa D. 2018. Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Incoming, Outgoing dan Recloser Trafo 1 GI Sronдол. Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Semarang. Semarang.
- [10] PT. Freeport Indonesia, 2022. Sekilas Tentang Kami. [Internet]. [diakses 12 September 2022]. [tersedia dalam: <https://ptfi.co.id/id/about>].
- [11] Tasiam, F, J. 2017. Proteksi Sistem Tenaga Listrik. Teknosain. Yogyakarta. [tersedia dari: google scholar].