

# **ANALISIS SISTEM PROTEKSI RELAY ARUS LEBIH DAN GANGGUAN TANAH PADA GARDU HUBUNG SP 2 TANAH MIRING MENGGUNAKAN METODE KOORDINASI RELAY BERBASIS ETAP**

Soetjipto Soewono<sup>1</sup>, Enni Noprianti<sup>2</sup>

Institut Teknologi-PLN

[soetjipto@itpln.ac.id](mailto:soetjipto@itpln.ac.id) [eni1810020@itpln.ac.id](mailto:eni1810020@itpln.ac.id)

## **ABSTRACT**

*Short-circuit often occur in electricity sub-station SP-2 Tanah Miring, Merauke -Papua which caused by malfunction of Over Current Relay (OCR) and Ground Fault Relay (GFR). In enhancing the performance, it takes analysis of relay coordination using ETAP. At maximum load of feeder SP-9 (917 A) an OCR setting is 4.5 A with TMS 0.46 seconds, GFR setting is 4.58 A with TMS 0.17 seconds. At minimum load (324 A) OCR setting is 1.62 A with TMS 0.29 seconds as for the GFR set is 1.62 A with TMS 0.22 seconds. At the maximum load of feeder Kebun Cokelat (995 A) an OCR setting is 4.97 A with TMS 0.46 seconds as for GFR set is 4.97 A with TMS 0.17 seconds. At minimum load 100 A, OCR setting is 0.5 A with TMS 0.43 seconds while GFR setting is 0.5 A with TMS 0.35 seconds. Furthermore, if the minimum load reach 98 A then the coordination time of GFR and OCR is 0,5 second. This analysis found that relay prohibited to operate above 1100 A (maximum) and below 98 (minimum) due to if it working out of the load range then the coordination time would not meet the manual standard.*

**Key Word:**  $I_{FAULT}$ , OCR, GFR, Load, TMS

## **ABSTRAK**

*Gangguan hubung singkat sering terjadi di Gardu Hubung SP -2 Tanah Miring Merauke - Papua yang disebabkan oleh malfunction pada Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR). Dalam meningkatkan kehandalan relay dibutuhkan analisa pada sistem proteksi dengan metode koordinasi relay berbasis ETAP. Pada kondisi beban maximum untuk feeder SP-9 (917 A) settingan OCR adalah 4,5 A dengan tms 0,46 detik, settingan GFR adalah 4,58 A dengan tms 0,17 detik. Pada Beban minimum (324 A) ditemukan settingan OCR sebesar 1,62 A, tms 0,29 detik. Adapun settingan GFR adalah 1,62 A, tms 0,22 detik. Pada kondisi beban maximum untuk feeder Kebun Coklat (995 A) settingan OCR adalah 4,97 A, tms 0,46 detik. Adapun settingan GFR adalah 4,97 A, tms 0,17 detik. Pada kondisi beban minimum 100 A ditemukan settingan OCR sebesar 0,5 A, tms 0,43 detik, settingan GFR adalah 0,5 A, tms 0,35 detik. Saat beban minimum mencapai 98 A maka besar settingan waktu koordinasi OCR dan GFR adalah 0,5 detik. Analisa ini mengemukakan bahwa relay tidak diijinkan beroperasi pada beban di atas 1100 dan dibawah 98 A pada beban minimum karena di luar dari range beban maka kinerja relay tidak memenuhi standard yang tertera pada manual book (0,5 detik).*

**Kata Kunci :**  $I_{FAULT}$ , OCR, GFR, Beban, TMS

## 1 PENDAHULUAN

Sistem distribusi jaringan listrik sangat rentan terhadap gangguan – gangguan yang dapat menyebabkan interkoneksi daya listrik dari pembangkit ke konsumen. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dibutuhkan suatu tindakan pemasangan sistem proteksi yang handal sehingga kontinuitas distribusi listrik ke konsumen tetap stabil. Sistem proteksi adalah suatu sistem pengamanan terhadap peralatan listrik, yang diakibatkan karena adanya gangguan teknis, gangguan alam dan penyebab gangguan lainnya[1]. Adapun yang dimaksud dengan sistem proteksi yang bersifat handal adalah sistem proteksi yang dapat mengeliminasi gangguan dalam waktu minimum dengan memisahkan/mengisolasi bagian sistem yang terganggu dengan sistem lainnya agar terus beroperasi secara normal[2]. Ada beberapa komponen sistem proteksi pada gardu hubung, diantaranya adalah *relay*. Pengecekan maintenance pada setingan *relay* harus selalu dilakukan secara berkala agar tidak terjadi kegagalan koordinasi yang mungkin terjadi pada sistem. Jika di temukan suatu deviasi pada saat maintenance maka *relay* harus mengalami settingan ulang agar kinerja *relay* tersebut selalu dalam keadaan optimal. Aspek koordinasi *relay* merupakan hal yang sangat penting diperhatikan dalam meninjau kinerja *relay*[3]. Tujuan pentingnya koordinasi *relay* adalah untuk menentukan karaktersistik dan settingan peralatan proteksi agar saat terjadi gangguan hubung singkat peralatan tersebut tidak rusak[4]. Koordinasi *relay* menentukan keandalan suatu sistem proteksi, salah satu koordinasi yang harus dijaga adalah koordinasi OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*). OCR dan GFR merupakan jenis *relay* yang dapat memproteksi sistem distribusi karena adanya gangguan hubung singkat dan arus beban lebih (*overload*).[5] Talitha P. Sari, dkk dalam jurnalnya menyatakan bahwa dalam pencapaian optimisasi proses produksi suatu pembangkit listrik dibutuhkan kontinuitas sistem distribusi dimana salah satu bagian utama dari kontinuitas tersebut adalah terpasangnya *relay* sebagai sistem proteksi apabila terjadi kelebihan arus (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*) [6] .

Menurut data primer dari PT.PLN UIW Area Merauke menyatakan bahwa gangguan yang paling terbanyak adalah gangguan hubung singkat di Gardu hubung SP 2 Tanah Miring. Oleh karena itu dibutuhkan analisis settingan *relay* . Gardu hubung SP 2 Tanah Miring merupakan rayon Kuprik Merauke yang memiliki dua *feeder* antara lain adalah *feeder* SP 9 dan *feeder* Kebun coklat. Sistem proteksi pada gardu hubung SP 2 Tanah Miring menggunakan *relay* proteksi *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR), dimana OCR dan GFR ini terakhir kali di tinjau dan *disetting* pada tahun 2010. Kecenderungan melihat data jumlah pelanggan dan daya tersambung yang mengalami pertambahan atau kenaikan tiap tahunnya dan melihat OCR dan GFR yang mengalami waktu tunda (*delay*) terlalu lama apabila terjadi gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi, maka setting *relay* terpasang perlu *disetting* ulang. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka peneliti melakukan analisis penelitian dengan metode koordinasi *relay* berbasis ETAP 12.6.1. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besar arus gangguan hubung singkat berdasarkan simulasi perhitungan arus hubung singkat pada gardu hubung SP 2 Tanah Miring, menentukan nilai setting *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay* pada beban maximum dan minimum serta mengetahui batas kerja *relay* pada beban maximum dan minimum berdasarkan standard range beban dengan mengacu pada standar *relay* terpasang.

## 2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

### 2.1 Persamaan Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan dapat menyebabkan arus listrik yang cukup besar sehingga dapat merusak peralatan listrik yang ada di sekitar. Perhitungan besar arus hubung singkat dapat dilihat sebagai berikut [7] :

2.1.1 Hubung singkat 3 phasa

$$I_{hs} \text{ 3ph} = \frac{VL-N}{Z_1} \quad (1)$$

2.1.2 Hubung singkat 2 phasa

$$I_{hs} \text{ 2 ph} = \frac{VL-N}{Z_1+Z_2} \quad (2)$$

2.1.3 Hubung singkat 1 phasa

$$I_{hs} \text{ 1 ph} = \frac{3VL-N}{Z_1+Z_2+Z_0} \quad (3)$$

### 2.2 Impedansi Sumber

Impedansi di bus 20 kV diperoleh dengan persamaan sebagai berikut [8] :

$$X_s = \frac{KV^2}{MVA \text{ hubung singkat}} \quad (4)$$

### 2.3 Impedansi Trafo

Impedansi trafo diperoleh dengan persamaan berikut [9] :

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{KV^2}{MVA} \quad (5)$$

### 2.4 Impedansi Penyulang

Besarnya impedansi penyulang tergantung pada besar impedansi per kilo meter (km) dari penyulang. Dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi tiang yang digunakan untuk jaringan SUTM. Besaran impedansi penyulang selanjutnya dihitung menggunakan persamaan berikut [10] :

$$Z = (R + jX) \quad (6)$$

### 2.5 Impedansi Ekivalen

Perhitungan impedansi ekivalen adalah perhitungan besarnya nilai impedansi positif ( $Z_{1eq}$ ), negatif ( $Z_{2eq}$ ) dan nol ( $Z_{0eq}$ ) dari titik gangguan sampai ke sumber . Berikut persamaan impedansi ekivalen [11] :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1 \text{ feeder}} \quad (10)$$

### 2.6 Over Current Relay

OCR adalah suatu *relay* dimana bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya. Setelan relay yang terpasang di gardu hubung dihitung berdasarkan arus beban

maksimum. Untuk *standard inverse* diset sebesar  $(0,1 - 1,1) I_{maks}$ . [12] Penyetelan waktu minimum dari relay arus lebih (terutama di penyulang tidak lebih kecil dari  $(0,3 + 0,4) = 0,7$  detik). Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya setting TMS relay OCR sisi penyulang 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 100 % panjang penyulang. Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan  $t = (0,3 + 0,4) = 0,7$  detik. Jadi persamaan untuk mencari tmsnya adalah [13] [14] :

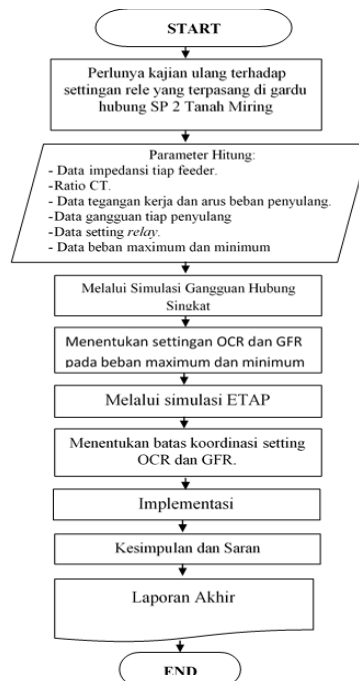
$$t = \frac{0,14TMS}{\left( \frac{I_{FAULT}}{I_{SET}} \right)^{0,02} - 1} \quad (11)$$

## 2.7 Ground Fault Relay

GFR merupakan relay yang berfungsi untuk mengamankan sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan ke tanah serta mendeteksi bila terjadi hubung singkat ke tanah. Penentuan setting waktu kerja berdasarkan granding time antara peralatan proteksi sesuai IEC 60255 sebesar  $t (0,3)$  . jadi, tms untuk relay GFR adalah sebagai berikut [15] :

$$t = \frac{0,14TMS}{\left( \frac{I_{FAULT}}{I_{SET}} \right)^{0,02} - 1} \quad (12)$$

Berikut adalah diagram alur penelitian :



**Diagram 1.** Alur Penelitian

Perhitungan impedansi ekuivalen pada *feeder* SP 9 dan Kebun Coklat dihitung berdasarkan impedansi sumber, reaktansi trafo, dan nilai tahanan pentanahan untuk mencari besar nilai impedansi urutan positif ( $Z_{1eq}$ ), negatif ( $Z_{2eq}$ ) dan nol ( $Z_{0eq}$ ) dari titik gangguan sampai ke sumber. Hal tersebut dilakukan karena dari titik gangguan sampai ke sumber tersambung secara seri. Urutan positif ( $Z_{1eq}$ ) dan negatif ( $Z_{2eq}$ ) adalah hasil penjumlahan dari positif ( $Z_{1eq}$ ) dan negatif ( $Z_{2eq}$ ), kemudian untuk urutan nol ( $Z_{0eq}$ ) dihitung mulai dari titik gangguan yang disimulasikan pada jarak koordinasi 25%, 50%, 75% dan 100 % sampai ke trafo tenaga Gardu Hubung SP 2. Hasil perhitungan ini

selanjutnya menjadi variabel untuk menghitung besar gangguan hubung singkat pada *feeder* SP 9 dan Kebun Coklat

### 3.3 Arus Hubung Singkat

Hasil simulasi perhitungan gangguan hubung singkat pada *feeder* SP 9 dan Kebun Coklat ditunjukkan pada **Tabel 3**:

**Tabel 3.** Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat

No	Lokasi Gangguan	3 Fasa (A)	2 Fasa (A)	1 Fasa (A)
1	25%	1652,26	1430,9	271,94
2	50%	1422,08	1231,5	261,29
3	75%	1236,05	1070,4	251,14
4	100%	1086,93	941,3	241,51

Perhitungan hasil gangguan hubung singkat dihitung berdasarkan masing-masing jenis gangguan hubung singkat. Untuk gangguan hubung singkat 3 fasa dihitung berdasarkan impedansi urutan positif ( $Z_{1eq}$ ) dan tegangan fasa-netral sistem 20 kV pada *feeder* SP 9 dan Kebun Coklat. Gangguan hubung singkat 2 fasa dihitung berdasarkan jumlah impedansi urutan positif ( $Z_{1eq}$ ) dan impedansi urutan negatif ( $Z_{2eq}$ ) beserta tegangan fasa-fasa sistem 20 kV pada *feeder* SP 9 dan Kebun Coklat. Gangguan hubung singkat 1 fasa dihitung berdasarkan jumlah impedansi urutan positif ( $Z_{1eq}$ ), impedansi urutan negatif ( $Z_{2eq}$ ) dan impedansi urutan nol ( $Z_{0eq}$ ) yang disimulasikan pada jarak koordinasi 25%, 50%, 75% dan 100% sehingga dihasilkan besaran gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa seperti yang tertera pada **Tabel 3**. Untuk menentukan setting *relay* pada *feeder* SP 9 dan Kebun Coklat dipilih jarak koordinasi 100% pada sistem 3 fasa dengan arus sebesar 1086,93 A untuk OCR dan pada sistem 1 fasa dengan arus sebesar 241,51 A untuk GFR. Pemilihan sistem 3 fasa dan 1 fasa bertujuan untuk mengetahui kehandalan koordinasi OCR & GFR pada jarak 1100% dengan besaran arus maksimum dan minimum.

### 3.4 Hasil Setting Relay Pada Beban Pokok Feeder SP 9 dan Kebun Coklat

Hasil perhitungan setting *relay* pada beban pokok SP 9 dan Kebun Coklat tertera pada **Tabel 4** berikut:

**Tabel 4.** Hasil Perhitungan Setting Waktu Koordinasi Relay Pada Beban Pokok

Nama Feeder	Setting Waktu Koordinasi Relay	
	OCR (detik)	GFR (detik)
SP 9	0,409	0,44
Kebun Coklat	0,41	0,403

Perhitungan setting *relay* dihitung berdasarkan besar arus gangguan hubung singkat. Besar beban *feeder* SP 9 yaitu 700 A dan besar beban Kebun Coklat adalah 1000 A. Saat terjadi gangguan hubung singkat pada jarak 100% *feeder* SP 9 dan *feeder* Kebun Coklat pada tegangan 1 fasa (241,5 A) dan 3 fasa (1086,93 A) maka waktu koordinasi *relay* bekerja semakin lambat. Perhitungan ini dihitung berdasarkan besar permintaan beban pada sisi konsumen dan belum dalam pengoperasiannya. Besar beban pokok pada *feeder* SP 9 adalah 700 A dan besar beban pokok pada *feeder* Kebun Coklat adalah 1000 A. Untuk mengetahui nilai settingan OCR dan

GFR yang akurat, maka OCR dan GFR dihitung berdasarkan kondisi beban maximum dan beban minimum dalam pengoperasiannya.

### 3.5 Hasil Analysis Setting Over Current Relay dan Ground Fault Relay Pada Beban Maximum dan Minimum Feeder SP 9 dan Kebun Coklat.

**Tabel 5** merupakan hasil perhitungan setting OCR dan GFR pada beban maximum dan minimum *feeder* SP 9 dan Kebun Coklat :

**Tabel 5 .** Hasil Setting Waktu Koordinasi Over Current Relay dan Ground Fault Relay Pada Beban Maximum dan Minimum

Nama Feeder	Jenis Relay	Setting Waktu Koordinasi Relay	
		I <sub>beban Max</sub> (Detik)	I <sub>beban Min</sub> (Detik)
SP 9	OCR	0,46	0,29
	GFR	0,17	0,22
Kebun Cokelat	OCR	0,46	0,43
	GFR	0,17	0,35

Hasil perhitungan **Tabel 5** menggunakan data kurva beban *feeder* SP 9 dan *feeder* Kebun Cokelat pada periode bulan Januari 2020 – Maret 2020. Data beban pada masing – masing feeder menyatakan bahwa beban maximum yang terjadi dari bulan Januari – Maret 2020 pada feeder SP 9 adalah sebesar 917 A dan pada feeder Kebun Cokelat adalah sebesar 995A. Sebaliknya, beban minimum pada feeder SP 9 terjadi sebesar 324 A dan pada feeder Kebun Coklat terjadi sebesar 100 A. **Tabel 5** menyatakan bahwa hasil perhitungan setting relay peneliti untuk feeder SP 9 dan Kebun Cokelat baik OCR maupun GFR memiliki setting waktu yang memenuhi standar yang tertera pada manual book (standard inverse) yang terpasangang yaitu  $\leq 0,5$  detik. Artinya, jika terjadi gangguan hubung singkat pada jarak 100% *feeder* SP 9 dan *feeder* Kebun Coklat pada tegangan 1 fasa dan 3 fasa dalam kondisi beban maximum dan minimum maka waktu kerja OCR dan GFR masih optimum.

### 3.6 Analisis Batas Kerja Relay Pada Beban Maximum dan Minimum feeder SP 9 dan Kebun Coklat

Untuk mengetahui batas kinerja relay OCR & GFR pada kondisi beban optimum dan minimum kedua *feeder* maka dibuat suatu simulasi perhitungan berikut:

**Tabel 6.** Perhitungan Batas Kinerja Relay Pada Beban Maximum dan Minimum

Beban Maximum (A)	Beban Minimum (A)	Setting Waktu Koordinasi OCR (Detik)	Setting Waktu Koordinasi Setting GFR (Detik)
1100	98	0,5	0,5

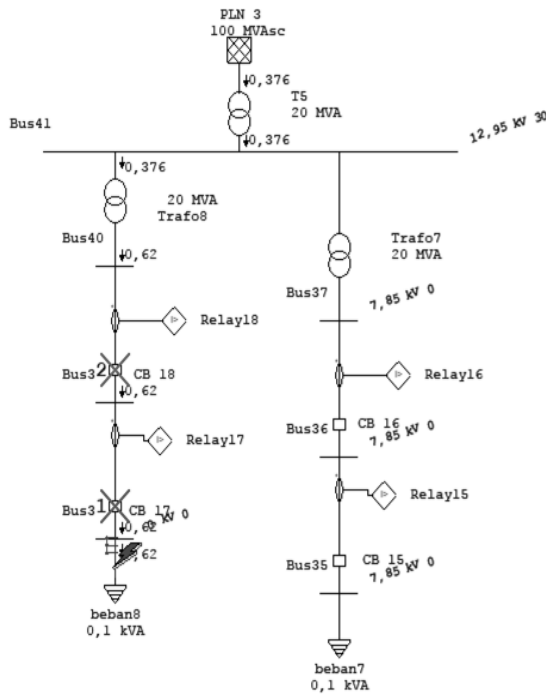
### 3.7 Simulasi Koordinasi OCR dan GFR Pada *Feeder* SP 9 dan *Feeder* Kebun Coklat Berbasis ETAP.

[illegible]

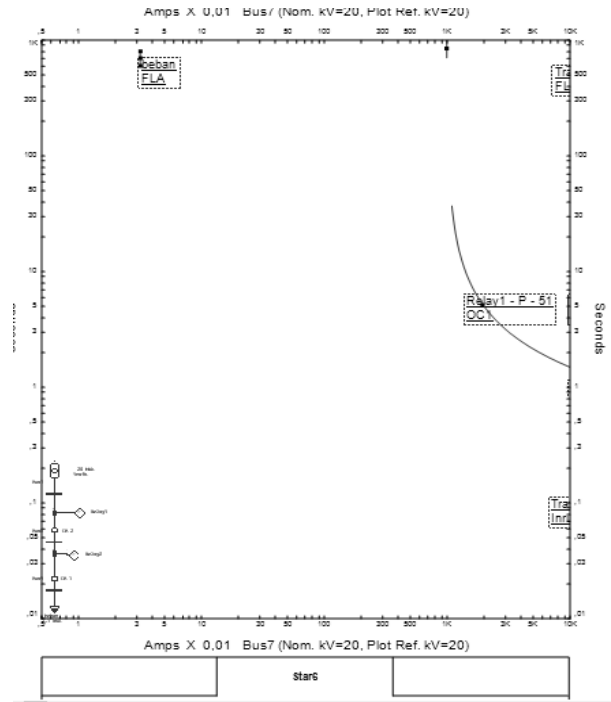
Tinjauan terhadap koordinasi *relay* pada beban maximum dilakukan dengan melihat nilai kurva hubung arus dan terhadap waktu ketika diberi beban sebesar 1100 A pada jarak koordinasi 100% pada tegangan 3 fasa berada pada Bus 1. Tinjauan ini menyatakan bahwa saat terjadi gangguan hubung singkat di Bus 1 maka relay 6 akan bekerja untuk mengkoordinasikan *Circuit Breaker* (CB 30) untuk mengisolasi sistem. Selanjutnya *relay* 7 akan mengkoordinasikan CB 31 untuk mengisolasi sistem lainnya. Berdasarkan tinjauan pada kurva arus –waktu menyatalan bahwa saat terjadi gangguan hubung singkat di Bus 1 dengan



tegangan 20Kv maka waktu koordinasi relay adalah sebesar 0,5 detik (masih memenuhi standard desain manual book).



**Gambar 4** Tinjauan Koordinasi Relay Pada Beban Minim Berbasis ETAP 12.6.1.



**Gambar 5** Kurva Arus-Waktu Koordinasi Relay Pada Beban Minimum

Tinjauan terhadap koordinasi *relay* pada beban minimum dilakukan dengan melihat nilai kurva hubung arus dan terhadap waktu ketika diberi beban sebesar 98 A pada jarak koordinasi 100% pada tegangan 3 fasa berada pada Bus 1. Tinjauan ini menyatakan bahwa saat terjadi gangguan hubung singkat di Bus 1 maka relay 17 akan bekerja untuk mengkoordinasikan *Circuit Breaker* (CB 17) untuk mengisolasi sistem. Selanjutnya *relay* 18 akan mengkoordinasikan CB 18 untuk mengisolasi sistem lainnya. Berdasarkan tinjauan pada kurva arus –waktu menyatakan bahwa saat terjadi gangguan hubung singkat di Bus 1 dengan tegangan 20Kv maka waktu koordinasi *relay* adalah sebesar 0,5 detik (masih memenuhi standard desain manual book).

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Simulasi gangguan hubung singkat diberikan pada jarak koordinasi 100% dengan besar arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada OCR sebesar 1086,93 A dan pada 1 fasa GFR sebesar 241,51 A. Pada kondisi beban maximum untuk feeder SP-9 (917 A) settingan OCR adalah 4,5 A dan tms 0,46 detik, settingan GFR adalah 4,58 A dengan tms 0,17 detik. Beban minimum (324 A) ditemukan settingan OCR sebesar 1,62 A, tms 0,29 detik, settingan GFR adalah 1,62 A, tms 0,22 detik. Kondisi beban maximum untuk feeder Kebun Coklat (995 A) settingan OCR adalah 4,97 A, tms 0,46 detik, settingan GFR adalah 4,97 A, tms 0,17 detik. Kondisi beban minimum 100 A ditemukan settingan OCR sebesar 0,5 A, tms 0,43 detik, settingan GFR adalah 0,5 A, tms 0,35 detik.

Pada saat beban minimum turun mencapai 98 A maka besar settingan waktu koordinasi OCR dan GFR sebesar 0,5 detik. Analisa ini mengemukakan bahwa *relay* tidak diijinkan beroperasi pada beban di atas 1100 dan dibawah 98 A pada beban minimum karena di luar dari *range* beban maka kinerja *relay* tidak memenuhi standard yang tertera pada manual book (0,5 detik). Beban maximum berada pada titik 1100 A sedangkan beban minimum berada pada titik 98 A. Artinya, di luar dari *range* beban tersebut maka kinerja *relay* tidak memenuhi standard.

Bila terjadi penambahan beban dan perluasan jaringan yang signifikan maka nilai setting OCR dan GFR harus disesuaikan dengan kondisi besaran beban.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Pujiantara, D. C. Riawan, A. Indrasaputra, T. P. Sari, and V. Raki Mahindara, "The automation of time dial setting calculation and inverse type curve selection for over current relay based on numerical computation in real industrial electrical system," *4th IEEE Conf. Power Eng. Renew. Energy, ICPERE 2018 - Proc.*, pp. 1–6, 2018.
- [2] T. S. Aghdam, H. K. Karegar, and A. Abbasi, "Discussion on 'Optimal Protection Coordination for Meshed Distribution Systems with DG Using Dual Setting Relays,'" *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 3, p. 1756, 2016.
- [3] A. M. Ibrahim, W. El-Khattam, M. ElMesallamy, and H. A. Talaat, "Adaptive protection coordination scheme for distribution network with distributed generation using ABC," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 320–332, 2016.
- [4] A. N. Standard, *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems Sponsor Industrial and Commercial Power Systems Department of the IEEE Industry Applications Society IEEE-SA Standards Board*, 2001st ed., vol. 2001. IEE-SA, 2001.
- [5] L. Sugesti, A. N. Afandi, and H. Putranto, "Setting Analysis of over Current Relay and Ground Fault Relay on Transformer Protection System of High Voltage Substation System," *2018 Electr. Power, Electron. Commun. Control. Informatics Semin. EECCIS 2018*, pp. 27–31, 2018.
- [6] 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.
- [7] K. J. Aryamantara, I. A. . Giriantari, and I. . Sukerayasa, "Analisis Hubung Singkat Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Kedonganan," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 2, p. 213, 2018.
- [8] A. E. P. Ismail, T. I. Yusuf, and E. H. Harun, "Studi Koordinasi Relai Arus Lebih dan Gangguan Tanah pada Penyulang Gardu Induk 20 kV Marisa," *J. Tek.*, vol. 16, no. 2, pp. 109–125, 2018.
- [9] Y. Yusmartato, "Analisa Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang LM5 Di Gardu Induk Lamhotma," *J. Electr. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 30–36, 2016.
- [10] S. H. Lim and S. T. Lim, "Analysis on Coordination of Over-Current Relay Using Voltage Component in a Power Distribution System with a SFCL," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 29, no. 5, p. 1, 2019.
- [11] M. Kusuma, "Evaluasi Koordinasi Proteksi Relay Arus Lebih dan Gangguan Tanah GIS Kandang Sapi Penyulang Garden 1, Garden 2, Aeon 1, Aeon 2, Ladang , Lapindo, dan Blethok Menggunakan ETAP 12.6.0," *TRANSIENT*, vol. 6, no. 4, pp. 1–7, 2017.
- [12] S. Xie, X. Wang, C. Qu, X. Wang, and J. Guo, "Impacts of different wind speed simulation methods on conditional reliability indices," *Int. Trans. Electr. energy Syst.*, vol. 20, pp. 1–6, 2015.
- [13] X. Y. Wang, X. G. Wang, D. H. Chen, S. Su, and X. N. Lin, "Optimal protection coordination based on dual directional over-current relays for ring network distribution power systems," *Adv. Power Energy Eng. - Proc. 8th Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC 2016*, pp. 75–81, 2016.
- [14] S. Electric, "Sepam™ Series 20 & 40 Relays," in *User Manual Electrical Network Protection*, 2017, p. 35,73.
- [15] M. Y. Shih and A. Conde, "Implementation of Directional Over-current Relay Coordination Approaches in Electrical Networks," *Electr. Power Components Syst.*, vol. 43, no. 19, pp. 2131–2145, 2015.