



Coordination Analysis of Ground Fault Relay Setting for 1 Phase Ground Short Circuit

Analisa Koordinasi Setting Ground Fault Relay Terhadap Hubung Singkat 1 Fasa Tanah

Muhammad Sany Aji Saputro^{1*}, Supriyadi Prasetyono², Moch Ghozali³

¹²³Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember
E-Mail: ¹Saniaji0799@gmail.com, ²shabri_prasetyo@yahoo.com, ³rbm_gozali@yahoo.com

Received Aug 03rd 2021; Revised Oct 23th 2021; Accepted Oct 25th 2021
Corresponding Author: Muhammad Sany Aji Saputro

Abstract

Various kinds of disturbances in the electric power system, one of which is a phase to ground fault. As a result of this phase-to-ground fault, the electric power system becomes abnormal. The Gajahmada feeder is a feeder that often experiences a single phase short circuit to ground. The safety system used to isolate disturbances to the Gajahmada feeder is the Ground Fault Relay (GFR) relay, to overcome the above problems, it is necessary to reset the Gajahmada feeder in order to create a reliable protection system and then make a comparison between the PLN GFR protection system and the resetting results. It is already done. The results of the analysis of the relay working time obtained from the PLN setting are 0.1 s in typical 1A and 0.1 s in typical 1B. The setting of the relay working time obtained from the resetting results is 0.05 s for a typical 1A and 0.15 s for a typical 1B. In this case, it can be seen that the results of resetting that have been carried out are more effective and coordinated to create better protection coordination for Gajahmada feeder.

Keyword: 1 Phase Ground Fault, GFR, Protection System, Reset

Abstrak

Berbagai macam gangguan pada sistem tenaga listrik, salah satunya gangguan fasa ke tanah. Akibat dari gangguan fasa ke tanah ini menyebabkan sistem tenaga listrik menjadi tidak normal. Hubung singkat 1 fasa ke tanah merupakan gangguan yang sering terjadi di penyulang Gajahmada. Sistem proteksi yang digunakan untuk menangani gangguan pada penyulang Gajahmada ini adalah *relay Ground Fault Relay* (GFR), untuk mengatasi masalah diatas maka diperlukan resetting ulang pada *feeder* Gajahmada agar menciptakan sistem proteksi yang handal dan kemudian melakukan perbandingan antara sistem proteksi GFR PLN dengan hasil *resetting* yang sudah dilakukan. Hasil analisa waktu kerja *relay* yang didapat dari *setting* PLN yaitu sebesar 0,1 s pada tipikal 1A dan 0,1 s pada tipikal 1B. *Setting* waktu kerja relai yang didapat dari hasil *resetting* yaitu sebesar 0.05 s pada tipikal 1A dan 0,15 s pada tipikal 1B. Dalam hal ini dapat dilihat hasil *resetting* yang sudah dilakukan lebih efektif dan terkoordinasi untuk menciptakan koordinasi proteksi yang baik pada penyulang Gajahmada.

Kata Kunci: Gangguan 1 Fasa Tanah, GFR, *Resetting*, Sistem Proteksi

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik memiliki sebuah proteksi yang dimana proteksi ini berguna mengatasi gangguan sistem, untuk mengatasi kemungkinan kerusakan peralatan dan memperkecil daerah yang mengalami gangguan maka dibutuhkan sistem proteksi. Gangguan pada sistem tenaga listrik memiliki beberapa macam, salah satunya gangguan fasa ke tanah. Pada gangguan fasa ke tanah ini menyebabkan sistem tenaga listrik menjadi tidak normal[5]. Berdasarkan *information* diatas maka sistem proteksi yang digunakan untuk membatasi gangguan agar tidak terjadi kerusakan pada peralatan. Sehingga dilakukanlah koordinasi relai yang tepat untuk mengurangi atau membatasi kerusakan jika terjadi gangguan[1].

Pada sistem transmisi dan distribusi baik tegangan tinggi maupun menengah terdapat sistem yang rumit dimana dibutuhkan sejumlah besar relai proteksi bekerja satu sama lain untuk menciptakan kinerja yang dapat diandalkan dan dapat memproteksi dengan aman sistem distribusi dan transmisi[2]. Relai merupakan suatu peralatan proteksi yang memiliki tingkat selektif yang baik, dimana kemampuan selektif ini digunakan supaya

dapat meningkatkan sistem keandalan yang tinggi sehingga dapat mengisolir gangguan seminimal mungkin dengan cepat dan tepat[7].

Dunia tenaga listrik sistem proteksi merupakan sistem terpenting untuk menjaga keandalan dan kontinuitas distribusi tenaga listrik. Pada sistem proteksi diharuskan selektif dan dapat mendeteksi daerah yang terjadi gangguan secara pasti[3]. Terdapat berbagai jenis relai yang digunakan dalam dunia kelistrikan, salah satu jenis relai yang digunakan dalam gangguan adalah *Ground Fault Relay* (GFR). Pada penyulang atau distribusi sering terjadi kendala trip-nya PMT, padahal arus *setting* relai belum melewati nilai setingan. Ada beberapa kendala yang menyebabkan kejadian tersebut, menurut operator lapangan penyebabnya bisa saja dikarenakan perubahan karakteristik relai, adanya perubahan beban, perubahan impedansi saluran, kurang tepat atau selektif waktu awal setting arus hubung singkat[4]. Dalam relai gangguan tanah memiliki prinsip kerja dimana ketika setting pengaman mengalami kenaikan arus yang berlebih dan memiliki jangka waktu tertentu bekerja apabila terdapat gangguan hubung singkat dari fasa ke tanah[5].

Penulis akan membahas salah satu dari penyebab kemungkinan terjadinya permasalahan diatas yaitu melakukan analisa pada *feeder* Gajahmada untuk dilakukan reseting ulang relai agar menciptakan sistem proteksi yang handal. Satu fasa ketanah merupakan analisa hubung singkat yang dilakukan. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian kali ini adalah *Electrical Tansient Analysis Program* (ETAP) 16.0.0.

2. Bahan dan Metode

Prinsip kerja dari relai GFR ini sendiri adalah pada saat keadaan normal dengan beban seimbang arus-arus fasa I_r , I_s , dan I_t (I_b) sama besar sehingga kawat netral tidak memiliki arus dan relai gangguan tanah tidak dialiri arus. Tetapi apabila mengalami ketidakseimbangan arus maka bakal muncul arus urutan nol pada kawat netral, arus urutan nol inilah yang bakal mengaktifkan relai GFR[5].

Setting Arus

$$I_{set(prim)} = (25\% - 40\%) \times I_f \quad (1)$$

Nilai tersebut merupakan nilai primer, untuk memperoleh nilai setelan sekunder untuk penyetelan relai GFR, maka perlu menghitung dengan memakai rasio CT yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga, dengan rumus berikut [5]:

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(prim)} \times 1 / (\text{Ratio CT}) \quad (2)$$

Setting Waktu

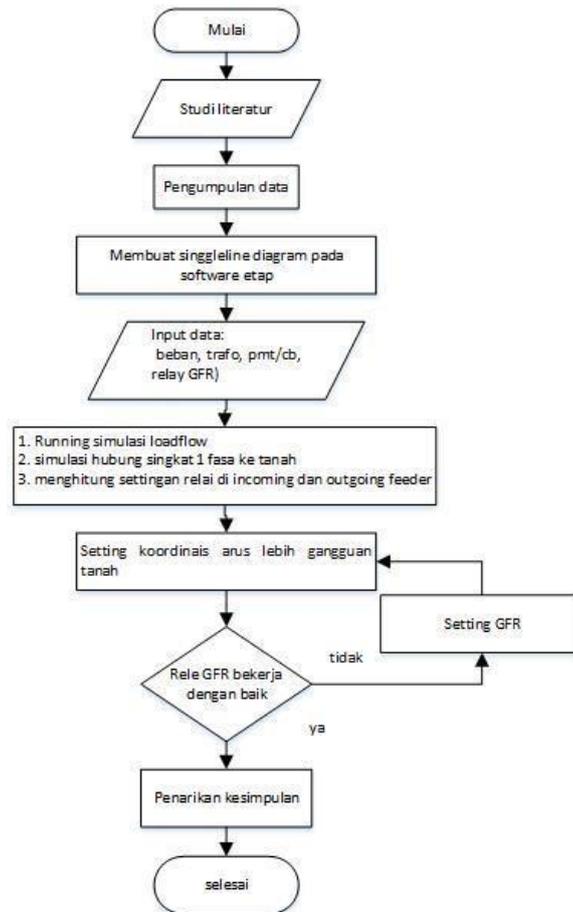
Pada setting TMS merupakan setting waktu pada relai proteksi yang dapat mempengaruhi waktu kerja relai pada suatu relai proteksi saat terjadinya gangguan. Untuk rumus yang dimanfaatkan buat menghitung nilai dari setting TMS pada relai OCR dan relai GFR adalah sama, yang membedakannya adalah relai GFR lebih sensitive dibandingkan dengan nilai relai OCR[2]. Hal ini dilakukan agar setiap gangguan hubung singkat yang memiliki arus kecil, maka relai OCR tidak dapat mendeteksi adanya gangguan tersebut dan disinilah peran dari relai GFR untuk mendeteksi arus gangguan yang tidak bisa terdeteksi pada arus OCR. Berikut merupakan rumus dari setting waktu relai GFR[1]:

$$t = \frac{\beta}{\left(\left(\frac{I_f}{I_{set\ primer}}\right)^\alpha - 1\right)} \times TM \quad (3)$$

Sehingga :

T	= Waktu kerja relai (detik)
TMS	= Time Multiplier Seting (0.05-1)
Ifault	= Arus gangguan fasa(A)
Iset	= Arus setting (A)

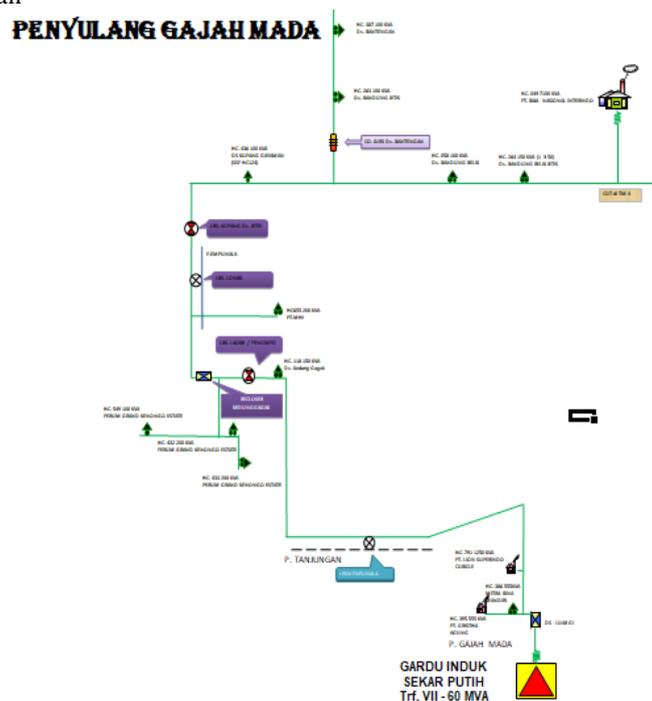
Mulai melakukan study literatur, dilakukan proses pengumpulan data, membuat *Single Line Diagram* PLN Mojokerto pada *Software* ETAP. 5. Dilakukan input data : *Transformator*, *Beban*, *PMT/CB*, *Relay GFR*, serta 6. Menjalankan *running* simulasi aliran daya untuk mengetahui keadaan *system* PLN Mojokerto. Melakukan *Short Circuit* satu fasa ke tanah, dan menghitung *setting* relai GFR. 7. Mensetting koordinasi relai gangguan tanah (GFR) serta bilamana relai tidak terkoordinasi dengan benar maka relai melakukan penyetelan ulang kembali ke *point*[3]. Dan jika relai sudah terkoordinasi dengan baik, maka dilakukan analisis data dan penarikan kesimpulan. Lalu 9. Melakukan analisis hasil dan penarikan kesimpulan.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Alat dan bahan dibutuhkan untuk menyelesaikan penelitian ini:

1. Sistem Kelistrikan



Gambar 2. Single Line Diagram penyulang Gajahmada

5. Analisa Aliran Daya

Pada *Load Flow* di *Software ETAP* memiliki fungsi untuk memperkirakan *factor* daya pada cabang-cabang, tegangan bus dan daya yang melewati pada sebuah system tenaga listrik yang sudah didesain. Selain itu terdapat kegunaan dari ETAP diantaranya dapat sebagai *voltage regulated* atau *swing* dan *undergulated* dengan beberapa hubungan generator dan *powergrid*.

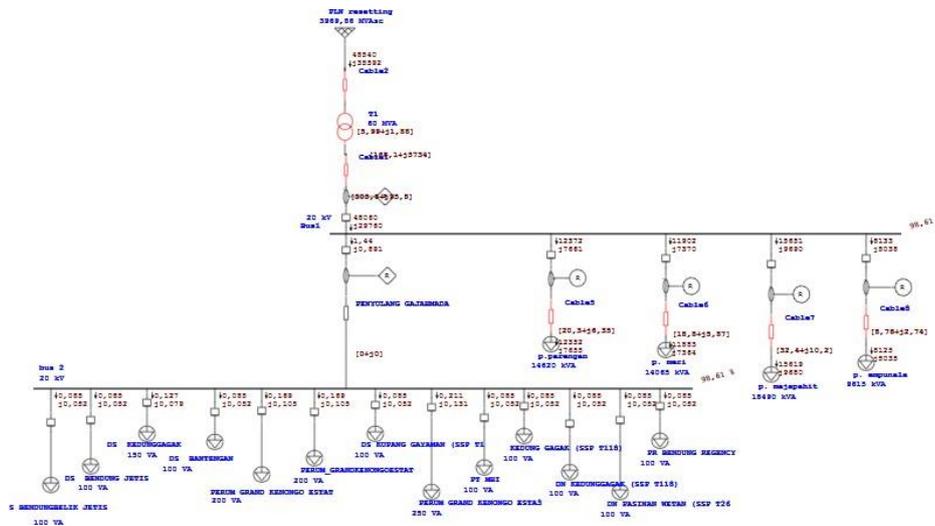
6. Analisa Hubung Singkat

Pada *short circuit analysis* memiliki fungsi sebagai koordinasi proteksi, melakukan simulasi dengan kondisi konstan serta pengetesan dinamis instrumen. Proteksi *star devie coordination analysis* mengambil keputusan efisiensi, keandalan dan stabilitas sistem, serta mendukung kebutuhan desain[6].

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Analisa Aliran Daya

Pada analisis aliran daya dilakukan supaya mengetahui nilai daya saat beroperasi dan melihat bahwa simulasi *single line* diagram berfungsi baik. Hasil simulasi aliran daya memakai *software ETAP Power Station*.



Gambar 4. Analisa aliran daya PLN Mojokerto Sekar Putih pada *Software ETAP Power Station*

Bisa terlihat dari analisa aliran daya disistem 20kV PLN Mojokerto Sekar Putih system sudah benar, terlihat dari beberapa bus dalam keadaan yang baik

3.2. Analisa Hubung Singkat

Pada analisa hubung singkat kali ini PLN Mojokerto memakai metode pentanahan *Neutral Grounding Resistor* (NGR), dengan besar impedansi pentanahan sebesar 500 Ω, yang dimana NGR ini berfungsi untuk meminimalisir arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah. Untuk mencari nilai arus gangguan hubung singkat maka diperlukan rumus:

$$\begin{aligned}
 I_f &= \frac{\text{Nominal KV}}{\sqrt{3}} : 500 \\
 &= \frac{20000}{\sqrt{3}} : 500 \\
 &= 23,09 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dari arus gangguan hubung singkat yang diperoleh nantinya akan dimanfaatkan sebagai perhitungan waktu kerja relai atau *time dial* (t), yang dimana nilai dari time dial ini digunakan untuk menentukan *Setting Ground Fault Relay*.

3.3. Perhitungan dan Setting Relai GFR

a. *Setting Ground Fault Relay* pada Tipikal 1A

Pada setting koordinasi Tipikal 1A ini terdapat 5 buah relai yang digunakan. Dari 5 relai tersebut memiliki jenis relai yang sama yaitu jenis relai ALSTOM P127, yang dimana dari 5 relai melindungi *feeder* gajahmada, *feeder* Parengan, *feeder* Majapahit, *feeder* Meri, *feeder* empunala. Berikut merupakan perhitungan *Setting Ground Fault Relay* pada tipikal 1A

Jenis relai = ALSTOM P127
 Kurva= Standard Inverse
 Rasio CT = 600/5
 $I_f = 23,09 \text{ A}$

Setting arus GFR tipikal 1A:

$$\begin{aligned} I_p &= 25\% \times I_f \\ &= 0,25 \times 23,09 \text{ A} \\ &= 5,975 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_s &= I_p \times \text{rasio CT} \\ &= 5,975 \times 5/600 \\ &= 0,0497 \text{ A} \end{aligned}$$

Setting waktu GFR tipikal 1A:

$$\begin{aligned} t &= \frac{\beta}{\left(\left(\frac{I_f}{I_{set \text{ primer}}}\right)^\alpha - 1\right)} \times TMS \\ &= \frac{0,14}{\left(\left(\frac{23,09}{5,975}\right)^{0,02} - 1\right)} \times 0,025 \\ &= 0,12 \text{ s} \end{aligned}$$

b. *Setting Ground Fault Relay* tipikal 1B

Setelan *Ground Fault Relay* pada tipikal 1B memiliki 1 buah relai, yang dimana relai ini berfungsi sebagai proteksi dari trafo tenaga. Pada tipikal 1B ini harus lebih besar disbanding tipikal 1A, hal ini berfungsi sebagai backup Ketika relai pada feeder tidak bisa bekerja atau arus gangguan terlalu besar. Berikut perhitungan *Setting Ground Fault Relay* pada tipikal 1B:

Jenis relai = ALSTOM P127
 Kurva = *Standard Inverse*
 Rasio CT = 800/5
 $I_f = 23,09 \text{ A}$

Setting arus GFR tipikal 1B:

$$\begin{aligned} I_p &= 30\% \times I_f \\ &= 0,3 \times 23,09 \text{ A} \\ &= 7,17 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_s &= I_p \times \text{rasio CT} \\ &= 7,17 \times 5/800 \\ &= 0,045 \text{ A} \end{aligned}$$

Setting waktu GFR tipikal 1B:

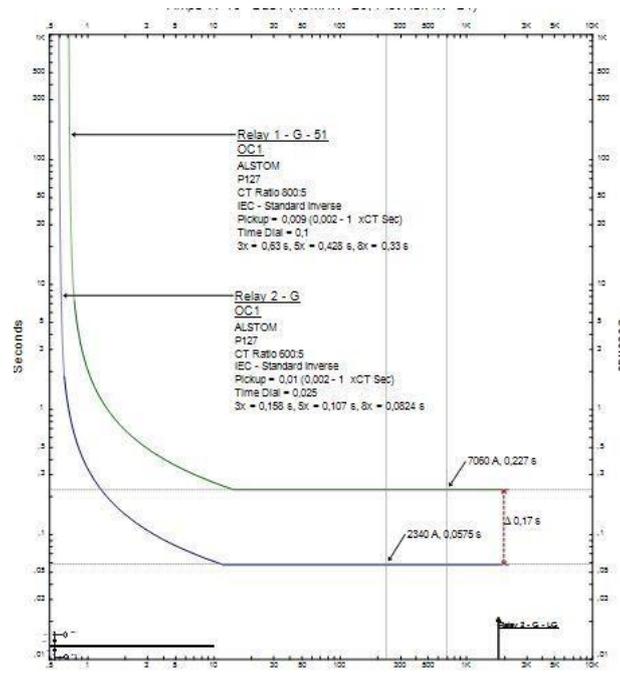
$$\begin{aligned} t &= \frac{\beta}{\left(\left(\frac{I_f}{I_{set \text{ primer}}}\right)^\alpha - 1\right)} \times TMS \\ &= \frac{0,14}{\left(\left(\frac{23,09}{7,17}\right)^{0,02} - 1\right)} \times 0,1 \\ &= 0,59 \text{ s} \end{aligned}$$

Tabel 3. Hasil perhitungan *resetting* waktu kerja relai GFR

Tipikal Relai	Kurva	Rasio CT	Iprimer (A)	Isekunder (A)	t (s)	TMS (s)
tipikal 1A	Standard Inverse	600/5	5,975	0,0497	0,12	0,025
tipikal 1B	Standard Inverse	800/5	7,17	0,045	0,59	0,1

3.4. Kurva Kerja Relai GFR

a. Koordinasi *resetting* GFR pada *feeder* Gajahmada



Gambar 5. Kurva Koordinasi Relai GFR *resetting Feeder* Gajahmada *Software ETAP Power Station*

Hasil perhitungan yang telah dimasukkan dan disimulasikan pada *Software ETAP*, untuk pemutus pertama saat terjadi gangguan adalah relai 2 diwaktu 0,575 s, serta relai yang bekerja kedua merupakan relai 1 diwaktu 0,227 s. Terdapat juga time diferensial antara relai 2 dan relai 1 sebesar 0,17 s yang dimana sudah mendekati *standart PLN*. Dapat kita lihat pada *resetting* ulang pada *feeder* gajahmada ini telah terkoordinasi dengan bagus dimana relai 2 menjadi pengaman utama yang melakukan trip pertama kali ketika mengalami gangguan pada penyulang gajahmada serta relai 1 berfungsi menjadi cadangan.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

Line-to-Ground (Symmetrical) fault on connector between bus 2 & PENYULANG GAJAHMADA. Adjacent bus: bus 2

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 07-14-2021

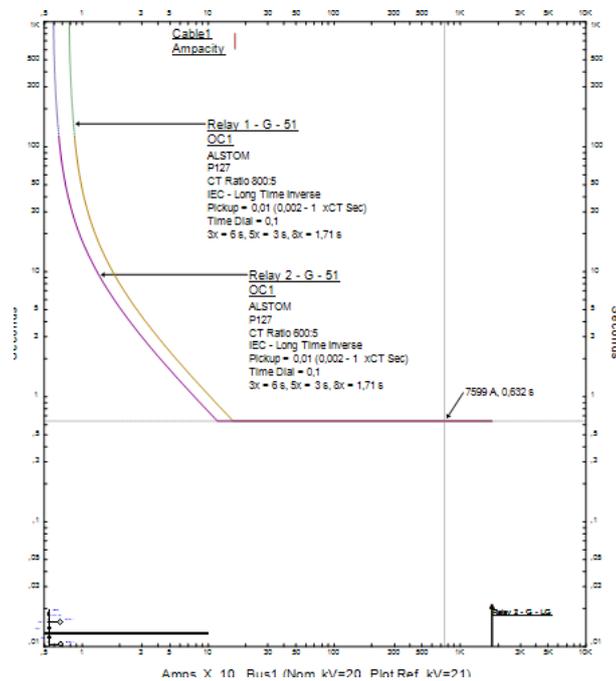
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
56,7	Relay 2	17,433	56,7		Ground - OC1 - 51
122	CB4		65,0		Tripped by Relay 2 Ground - OC1 - 51
227	Relay 1	17,433	227		Ground - OC1 - 51
310	CB3		83,3		Tripped by Relay 1 Ground - OC1 - 51
567	Relay 2	17,433	567		Phase - OC1 - 51
632	CB4		65,0		Tripped by Relay 2 Phase - OC1 - 51
1190	Relay 1	13,061	1190		Phase - OC1 - 51
1273	CB3		83,3		Tripped by Relay 1 Phase - OC1 - 51
2166	Relay 4	1,083	2166		Phase - OC1 - 51
2193	Relay 3	1,126	2193		Phase - OC1 - 51
2250	cb6		83,3		Tripped by Relay 4 Phase - OC1 - 51
2261	Relay 5	1,422	2261		Phase - OC1 - 51
2276	cb5		83,3		Tripped by Relay 3 Phase - OC1 - 51
2298	Relay 6	0,741	2298		Phase - OC1 - 51
2345	cb7		83,3		Tripped by Relay 5 Phase - OC1 - 51
2391	cb8		83,3		Tripped by Relay 6 Phase - OC1 - 51

Gambar 6. *Sequence of Operating relai GFR resetting* pada Penyulang Gajahmada

Pada gambar 6 untuk sistem kerja relai ketika mengalami gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah lalu relai 2 dengan kondisi relai ground 51 aktif dan memberi perintah terhadap CB4 untuk trip pertama kali. Kemudian dilanjutkan dengan relai 1 dengan kondisi relai ground 51 aktif dan memberi perintah CB3 untuk trip. Selanjutnya diikuti dengan relai 2 dengan kondisi relai *phase* 51 aktif dan memerintahkan CB4 untuk trip. Dari penjelasan diatas bahwa relai GFR pada penyulang gajahmada ini sudah terkoordinasi dengan benar dan baik. Situasi ini disebabkan ketika mengalami gangguan 1 fasa ke tanah pada *feeder* Gajahmada relai 2 sebagai pengaman utama *feeder* harus bekerja dengan kondisi ground 51 yang aktif dan memerintahkan CB4 untuk

aktif. Relai 1 sebagai *backup* bekerja ketika relai 2 *ground* tidak dapat mengatasi gangguan yang terjadi dengan kondisi *ground* aktif dan memerintahkan CB3 untuk trip.

b. Koordinasi PLN GFR pada *feeder* Gajahmada



Gambar 7. Kurva Koordinasi Relai GFR PLN *Feeder* Gajahmada *Software* ETAP *Power Station*

Pada data PLN Mojokerto yang telah dimasukkan dan menyimulasikan pada *software* ETAP, untuk pemutus pertama saat terjadi gangguan adalah relai 2 diwaktu 0,632 s, serta relai yang bekerja selanjutnya merupakan relai 1 diwaktu 0,632 s. Lalu *time differential* antara relai 2 dan relai 1 sebesar 0 s. Dapat dilihat *setting* PLN pada penyulang Gajahmada ini kurang terkoordinasi dengan bagus dimana relai 2 berperan menjadi pengaman utama dan relai 1 sebagai *backup* memiliki waktu kerja yang sama 0,632 s ketika terjadi gangguan pada penyulang gajahmada, pada koordinasi diatas *time differential* memiliki nilai 0 s.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

Line-to-Ground (Symmetrical) fault on connector between CT4 & PENYULANG GAJAHMADA. Adjacent bus: Bus1

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 07-08-2021

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
300	Relay 2	18,087	300		Phase - OC1 - 51
365	CB4		65,0		Tripped by Relay 2 Phase - OC1 - 51
632	Relay 1	18,087	632		Ground - OC1 - 51
632	Relay 2	18,087	632		Ground - OC1 - 51
697	CB4		65,0		Tripped by Relay 2 Ground - OC1 - 51
700	Relay 1	13,551	700		Phase - OC1 - 51
715	CB3		83,3		Tripped by Relay 1 Ground - OC1 - 51
783	CB3		83,3		Tripped by Relay 1 Phase - OC1 - 51
945	Relay 3	1,168	< 945		Overload Phase - Thermal
945	Relay 4	1,124	< 945		Overload Phase - Thermal
945	Relay 5	1,476	< 945		Overload Phase - Thermal
945	Relay 6	0,769	< 945		Overload Phase - Thermal
1028	cb5		83,3		Tripped by Relay 3 Overload Phase - Thermal
1028	cb6		83,3		Tripped by Relay 4 Overload Phase - Thermal
1028	cb7		83,3		Tripped by Relay 5 Overload Phase - Thermal
1028	cb8		83,3		Tripped by Relay 6 Overload Phase - Thermal

Gambar 8. *Sequence of Operating relai* GFR *resetting* pada Penyulang Gajahmada

Gambar 8 untuk sistem kerja relai diatas ketika mengalami gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah lalu relai 2 dengan kondisi relai *phase* 51 aktif dan memberi perintah CB4 untuk trip pertama kali. Lanjut terdapat relai 1 dengan kondisi relai *ground* 51 yang aktif. Kemudian relai 2 dengan kondisi relai *ground* 51 aktif dan memerintahkan CB4 untuk trip. Dari sistem kerja diatas bahwa relai GFR *setting* PLN pada penyulang Gajahmada ini kurang terkoordinasi dengan baik dan benar. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan 1 fasa ke tanah pada *feeder* Gajahmada relai pengaman utama adalah relai 2 dengan kondisi *ground* 51 yang aktif dan diikuti relai 1 dengan kondisi *ground* 51 yang aktif.

3.5. Perbandingan *Setting* Relai GFR dengan PLN dan *Resetting*

Tabel 4. Kondisi Relai GFR Pada *Settingan* Awal (*Setting* PLN) dan Setelah *Resetting*

Tipikal Relai	ID	Relai	Arus Primer (A)		Arus Sekunder (A)		TMS (S)		Kurva		Rasio CT
			Re Setting	PLN	Re Setting	PLN	Re Setting	PLN	Re Setting	PLN	
Tipikal 1A	GFR	ALSTOM P127	5,975	6	0,0497	0,05	0,025	0,1	SI	LTI	600/5
Tipikal 1B	GFR	ALSTOM P127	7,17	8	0,045	0,05	0,1	0,1	SI	LTI	800/5

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang sudah terlaksana pada analisa setting ground fault relay dapat disimpulkan bahwa, sistem kerja kurva relai antara settingan awal (*setting* PLN) dengan hasil setelah melakukan *resetting* dapat diketahui, pada settingan PLN kurang terkoordinasi dengan baik dimana antara relai 2 dan relai 1 memiliki waktu kerja (t) yang sama yaitu 0,632 s dengan TMS sebesar 0,1 s, dan pada *time differential* antara relai 2 dan relai 1 tidak memiliki perbedaan, yang dimana *standard time differential* sendiri yaitu 0,2 s. Sedangkan setelah dilakukan *resetting* didapatkan nilai waktu kerja (t) yang lebih baik dimana pada relai 2 sebesar 0,0575 s dengan TMS 0,025 s dan pada relai 1 sebesar 0,227 s dengan TMS 0,1 s, lalu nilai dari *time differential* hasil *resetting* antara relai 2 dan relai 1 sebesar 0,17 yang dimana mendekati dengan *standard time differential* yaitu 0,2 s. Saat penyetulan relai proteksi disistem kelistrikan pada penyulang Gajahmada dapat dikoordinasikan makin bagus lagi dengan mengubah nilai TMS pada relai GFR menjadi 0,025 s pada relai utama dan 0,1 s pada relai backup, sehingga ketika terjadi gangguan hubung singkat dapat melakukan koordinasi proteksi dengan baik dan aman.

REFERENSI

- [1]. Amira, Amira, and Asnal Effendi. "STUDI ANALISA GANGGUAN HUBUNG SINGKAT 1 FASA KE TANAH PADA SUTT 150 KV UNTUK SETTING RELAY OCR (APLIKASI GI PIP-PAUH LIMO)." *Jurnal Teknik Elektro* 3.2 (2014).
- [2]. G. Arisantha and E. Hamdani, "Feeder Gardu Induk Garuda Sakti," pp. 1–7, 2017.
- [3]. H. Marta yudha, "Rele proteksi prinsip dan aplikasi," p. 234, 2008.
- [4]. Kurrahman, Harief Taufik, and Syamsir Abduh. "Studi tegangan tembus minyak kemiri sunan sebagai alternatif pengganti minyak transformator daya." *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* 13.2 (2016).
- [5]. Muhalan, Muhalan, and Budi Yanto Husodo. "Analisa Perhitungan dan Pengaturan Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Kubikel Cakra 20 KV Di PT XYZ." *Sinergi* 18.3 (2014): 165-170.
- [6]. Nasrul, Nasrul. "Setting Relai Gangguan Tanah (GFR) Outgoing GH Tanjung Pati Feeder Taram PT. PLN (Persero) Rayon Lima Pulu Kota." *Jurnal Teknik Elektro* 6.2 (2017): 180-188.
- [7]. Priyono, Sugeng, Juningtyastuti Juningtyastuti, and Tedjo Sukmadi. *Koordinasi Sistem Proteksi Trafo 30 MVA di Gardu Induk 150 kV Kranyak*. Diss. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, 2011..
- [8]. Sunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator Daya. *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 13(2)..
- [9]. S. Samadinasab and M. Bakhshipour, "Optimal Coordination of Overcurrent and Distance Relays Using Hybrid Differential Evolutionary and Genetic algorithms (DE-GA) Earthing System Design, Optimal Coordination of Overcurrent Relays View project Optimal Coordination of Overcurrent and Distance Relays Using Hybrid Differential Evolutionary and Genetic algorithms (DE-GA)," *Int. Electr. Eng. J.*, vol. 6, no. 8, pp. 1999–2008, 2015, [Online]. Available: <http://www.ieejournal.com/>.
- [10]. Tasiam, F. J. "Proteksi Sistem Tenaga Listrik." (2017).
- [11]. T. Nova, "Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator di Perusahaan " X ", vol. 1, no. 1, pp. 76–85, 2013.
- [12]. Y. Badruzzaman and R. Liddinillah, "Kinerja Ground Fault Relay (Rele Gangguan Tanah) pada Penyulang 4 dan Penyulang 6 Gardu Induk Sronol," pp. 215–224, 2013.
- [13]. 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.