

Analisis Kinerja Relai Arus Lebih pada PLTU Embalut PT. Cahaya Fajar Kaltim Unit 1×60 MW dengan Simulasi

Agung Prasetyo¹, Rusda^{2*}, Masing³

^{1,2,3} Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
Jl. Dr Ciptomangunkusumo Kampus Gunung Lipan Samarinda 75131
*rusda@polnes.ac.id

Abstract: Embalut power plant is one of the power plants that supply electricity in East Kalimantan. The plant which is operated by PT. Cahaya Fajar Kaltim, has one PLTU unit with a capacity of 2x25 MW and another with the capacity of 1x60 MW. As an electricity company that must keep continuity of electric supply to customers, a reliable electrical system is necessary. Such reliable system requires protection system to detect a problem and avoid electrical equipment damage. A proper protection system should isolate the affected area and prevent black out on the other area. A type of problem may occur is a short circuit. This study analyzes the performance of overcurrent relays in 1 × 60 MW power plant unit. The analysis was performed through ETAP 12.6.0 software which was also used to design the single line diagrams, calculate the setting currents of short circuit current, also to simulate the coordination of several overcurrent relays in the system. Adjustment of the current and time value in the overcurrent relay is obtained from the result of manual calculations. The results then are displayed in the form of a characteristic curve. Afterwards, a simulation is performed in a situation where three-phase short circuit occurs at BFWP 1.3 Bus, TR AUX.3 Bus and TR 3A.3 Bus. The results show that the overcurrent relays work properly and could overcome the problem quickly.

Keywords: protection system, overcurrent relay, overcurrent characteristic curve

Abstrak: PLTU Embalut merupakan salah satu pembangkit yang menyuplai daya listrik di Kalimantan Timur. Pembangkit listrik yang dikelola oleh PT. Cahaya Fajar Kaltim ini mempunyai satu unit PLTU yang berkapasitas 2x25 MW dan satu unit lagi yang mempunyai kapasitas 1x60 MW. Sebagai perusahaan listrik yang harus menjaga kontinuitas listrik ke konsumen diperlukan sistem kelistrikan yang handal. Sistem yang handal membutuhkan sistem proteksi untuk mendeteksi adanya gangguan dan dapat mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan listrik yang diakibatkan oleh gangguan. Sistem proteksi yang baik dapat mengisolir daerah yang mengalami gangguan dan mencegah putusnya aliran daya listrik di daerah lain. Salah satu jenis gangguan yang mungkin terjadi adalah hubung singkat. Penelitian ini melakukan analisa terhadap kinerja relay arus lebih pada pembangkit unit 1×60 MW. Analisa dilakukan dengan menggunakan software ETAP 12.6.0 yang juga digunakan untuk merancang single line diagram, menghitung besarnya arus hubung singkat, serta mensimulasi koordinasi relai arus lebih dalam sistem. Penyetelan nilai arus dan waktu pada relai arus lebih didapatkan dari hasil perhitungan manual kemudian hasilnya akan ditampilkan dalam bentuk plot kurva karakteristik. Setelah itu dilakukan simulasi terhadap terjadinya hubung singkat tiga fasa pada Bus BFWP 1.3, Bus TR AUX.3 dan Bus TR 3A.3. Hasil simulasi menunjukkan bahwa relai arus lebih bekerja dengan baik dan dapat mengatasi gangguan secepat mungkin

Kata kunci : sistem proteksi, relai arus lebih, kurva karakteristik arus lebih

I. PENDAHULUAN

PT. Cahaya Fajar Kaltim adalah perusahaan pembangkit listrik swasta IPP (Independent Power Producer) yang didanai dan dioperasikan langsung oleh pihak swasta. Tanggal 26 Maret 2003 merupakan awal berdirinya PT. Cahaya Fajar Kaltim yang bertempat di Tanjung Batu Tenggara, Kalimantan Timur.

PT. Cahaya Fajar Kaltim memiliki luas area 145 hektar dan dimanfaatkan untuk membangun dua unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU Embalut) dengan kapasitas masing-masing 2 x 25 MW yang mulai beroperasi pada tahun 2007 dan 1 x 60 MW yang mulai beroperasi pada tahun 2014. PLTU

Embalut menyuplai daya melewati penyulang PLN sistem interkoneksi Kalimantan 150 kV yang kemudian oleh PLN didistribusikan ke tempat tinggal penduduk, perkantoran, gedung - gedung, serta pabrik-pabrik. Untuk menjaga kontinuitas listrik pelanggan diperlukan keandalan sistem kelistrikan pada pembangkit.

Salah satu metoda yang dilakukan untuk memperoleh keandalan sistem adalah unjuk kerja sistem proteksi, Proteksi tersebut akan mengamankan saluran yang mengalami gangguan, sehingga gangguan tidak menyebar dan mengganggu kinerja peralatan lainnya.

Gangguan yang dapat terjadi berupa gangguan hubung singkat, di antaranya adalah hubung singkat fasa-fasa dan hubung singkat tiga fasa. Besarnya nilai arus gangguan hubung singkat pada tiap titik di dalam saluran dapat diperoleh dari hasil perhitungan secara otomatis menggunakan program ETAP 12.6.0 (Electrical Transient and Analysis Program). Arus hubung singkat yang didapatkan digunakan untuk menghitung secara manual penyetelan arus dan waktu pada relai arus lebih. Hasil dari perhitungan tersebut akan dimasukkan ke dalam input data relai pada program simulator ETAP 12.6.0 untuk melihat kurva karakteristik penyetelan dan koordinasi relai arus lebih sehingga dapat diketahui apakah sistem proteksi yang terpasang dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan.

A. Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Menurut [1] gangguan pada sistem tenaga listrik pada dasarnya ialah setiap keadaan sistem yang tidak normal, gangguan pada umumnya terdiri dari hubung singkat dan juga rangkaian terbuka (Open Circuit). Dengan adanya gangguan tersebut maka perlu dilakukan analisa gangguan, yang berfungsi untuk mengetahui kapasitas rating maksimum dari pemutus tenaga, untuk mengetahui distribusi arus gangguan pada sistem ketika terjadi gangguan, dan untuk mengetahui setting relai proteksi untuk menghadapi gangguan tersebut.

B. Relai Arus lebih (*Over Current Relay*)

Relai Arus Lebih (*Over Current Relay*) merupakan peralatan yang bekerja ketika terdapat arus yang mengalir melebihi penyetelan standarnya. Selain itu peralatan pengamannya harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan. Prinsip kerja pada dasarnya relai arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus. Selanjutnya relai arus lebih dapat menjatuhkan PMT dikedua sisi transformator tenaga. Relai arus lebih jenis definite time atau invers time dapat dipakai untuk proteksi transformator terhadap arus lebih. Berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan relai, baik karena gangguan hubung singkat atau overload untuk kemudian memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya [2].

Terdapat tiga jenis relai arus lebih berdasarkan karakteristik waktu yaitu sebagai berikut:

1. Relai arus lebih seketika (*Instantaneous*).
2. Relai arus lebih waktu tertentu (*Definite time*).
3. Relai arus lebih berbanding terbalik (*inverse time*).

C. Penyetelan Relai Arus Lebih Waktu Inverse (*Low Setting*)

Relai arus lebih waktu inverse ini terdapat dua parameter yang harus di setting yaitu setting pickup dan setting time dial. Pada setting pickup ini berfungsi untuk membatasi arus beban maksimum yang ada di peralatan sehingga tidak melebihi batas arus maksimum beban. Sehingga untuk menentukan setting pickup ini, arus dari relai harus lebih besar dari arus beban maksimum. Besarnya arus pickup ini ditentukan berdasarkan pemilihan tap.

Untuk menentukan besarnya tap dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{tap} = \frac{I_c}{C \cdot p} \dots\dots\dots (1)$$

Iset adalah arus pickup dalam Ampere. Menurut standart British BS 142-1983 batas penyetelannya adalah 1,05 - 1,3 Iset. FLA (full load ampere) merupakan arus beban maksimum dari peralatan. Sedangkan setting time dial berfungsi sebagai penentu waktu operasi relai. Untuk

menentukan time dial pada seting relai arus lebih waktu inverse dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [3]:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_s} \right)^\alpha - 1 \right]} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- Td : waktu operasi (detik).
- T : time dial.
- I : nilai arus (Ampere).
- Iset : arus pickup (Ampere).
- K : koefisien inverse 1 (lihat Tabel 1).
- α : koefisien inverse 2 (lihat Tabel 1).
- β : koefisien inverse 3 (lihat Tabel 1).

Tabel 1. Koefisien Invers Time Dial

Tipe Kurva	Koefisien		
	K	A	B
Standard Inverse	0,14	0,02	2,970
Very Inverse	13,50	1,00	1,500
Extremely Inverse	80,00	2,00	0,808
Long Time Inverse	120	1,00	13.33
Ultra Inverse	315.2	2.5	1

D. Penyetelan Relai Arus Lebih Waktu Instan (*High Setting*)

Relai arus lebih waktu instan berfungsi sebagai pengaman pada sistem tenaga listrik dari gangguan hubung singkat dari yang paling minimum. Untuk mengamankan sistem kelistrikan dari gangguan maka penyetelan arus pada relai waktu instan menggunakan arus hubung singkat minimum yaitu arus hubung singkat antar fasa (30 cycle).

$$I_{set} \leq 0.8 I_{sc \text{ min}} \dots\dots\dots (3)$$

Setting *time delay* pada relai arus lebih dapat langsung ditentukan. Berdasarkan IEEE 242-1986 waktu kerja relai sampai pemutus tenaga membuka adalah 0.2-0.4 s, dengan asumsi:

- Waktu terbuka circuit breaker (2 – 5 cycle) : 0.04 - 0.1 s
- Overtravel dari relai : 0.1 s
- Faktor keamanan : 0.12 - 0.22 s

Relai static dan relai digital berbasis microprocessor overtravel dapat diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0.2 sampai 0.4 detik. Interval waktu sangat berguna untuk digunakan sebagai pertimbangan dalam koordinasi antar relai [4].

E. Unjuk Kerja Relai

Apabila terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik, relai utama diharapkan bekerja dan mengisolir gangguan. Namun demikian, relai-relai yang daerah operasinya berada disekitar titik gangguan akan menerima sinyal gangguan dan mulai bekerja. Relai-relai ini tidak akan bekerja untuk memerintahkan PMT untuk trip apabila relai utama dapat bekerja secara benar. Informasi mengenai kerja relai cadangan ini tidak akan didapat apabila relai tidak trip, namun demikian relai ini tetap penting [5]. Unjuk kerja relai dapat digolongkan dalam tiga kategori utama, yaitu:

1) Operasi Benar

Operasi benar diperlihatkan oleh paling sedikit terdapat satu buah relai primer yang beroperasi dengan benar. Tidak ada satupun relai cadangan yang bekerja karena gangguan yang sama dan area gangguan dapat diisolir secepat yang diharapkan.

2) Operasi Salah

Operasi salah dapat terjadi akibat kesalahan atau kegagalan fungsi atau operasi salah yang dapat terjadi akibat kesalahan atau sistem proteksi yang tidak diharapkan, kondisi ini dapat menyebabkan pengisoliran yang tidak dibutuhkan. Alasan terjadinya operasi tidak benar dapat berupa satu atau beberapa kombinasi hal-hal berikut ini:

- a) Aplikasi relai yang salah.
- b) Penyetelan yang salah.
- c) Kesalahan personal.
- d) Masalah peralatan atau kegagalan relai, breaker, CT, PT, batere, wiring.

3) Tanpa Kesimpulan

Tanpa kesimpulan merujuk kepada kasus dimana satu atau beberapa relai nampaknya beroperasi yang dibuktikan dengan terbukanya PMT, tetapi tidak ada penyebab dapat dipastikan. Tidak ada bukti bahwa sistem mengalami masalah atau gangguan, tidak ada kerusakan peralatan. Kasus tanpa kesimpulan membutuhkan investigasi yang cukup lama dan pada umumnya kasus ini tidak dicatat dan dilaporkan. Namun demikian, penggunaan peralatan modern, seperti oscillograph dan data recording membuktikan atau menjadi kunci bukti terjadinya hal tersebut.

II. METODE PENELITIAN

A. Pengambilan Data

Sebelum melakukan analisis terhadap kinerja relai arus lebih pada kelistrikan PLTU Emblaut PT. Cahaya Fajar Kaltim Unit 1×60 mw, hal yang pertama kali dilakukan adalah pengambilan data peralatan berupa spesifikasi, tipe dan kondisi peralatan di lapangan.

Sistem kelistrikan PLTU Embalut PT. Cahaya Fajar Kaltim Unit 1×60 MW terdiri dari:

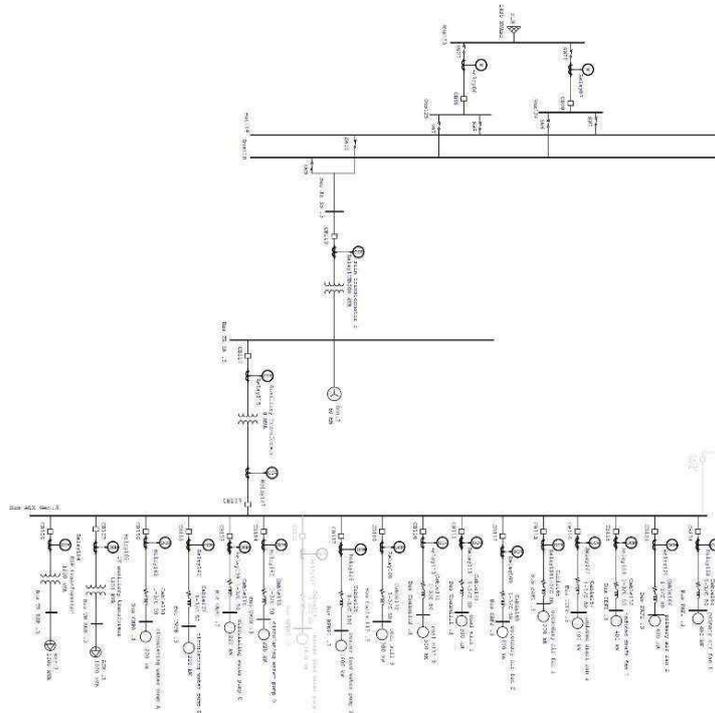
- Generator berkapasitas 1 x 60 MW
- Power Grid 150 kV PLN, 2439 MVA_{sc}
- 1 Trafo 10.5/150 kV berkapasitas 75000 KVA
- 1 Trafo Auxiliary HV 10.5/6.3 kV berkapasitas 8000 KVA
- 2 Trafo 6.3/400 kV berkapasitas 1250 KVA
- 1 Trafo Secondary untuk starting awal pembangkit

Data Relai Arus Lebih

Relai Arus Lebih kondisi eksisting pada PLTU Embalut PT. Cahaya Fajar Kaltim Unit 1×60 MW menggunakan tiga merek relai yaitu NARI, SIEMENS 7SJ6 dan Singfang. Relai NARI untuk mengamankan pada bagian Generator, Main Transformator dan Auxiliary Transformer. Relai Singfang untuk mengamankan beban motor dan Transformator pada pemakaian distribusi daya sendiri Sedangkan relai SIEMENS 7SJ64 untuk pengaman pada bagian penyulang PLN 150kV. Dikarenakan keterbatasan library pada program simulator ETAP 12.6.0 maka dalam skripsi ini relai NARI dan relai Singfang akan diasumsikan dengan menggunakan merek Relai Merlin Gerin SEPAM 1000 yang memiliki Karakteristik mirip dengan Relai NARI MGT.

Single Line Kelistrikan PLTU Embalut Unit 1×60 MW

Single Line Kelistrikan PLTU Embalut Unit 1×60 MW disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Single Line Kelistrikan PLTU Embalut Unit 1×60 MW

B. Pemodelan

Berdasarkan data yang diperoleh maka dibuat pemodelan suatu sistem kelistrikan setelah itu dilakukan simulasi aliran daya. Simulasi aliran daya dilakukan untuk melihat bahwa pemodelan sistem tersebut berjalan dengan normal dan sesuai dengan kondisi di lapangan. Sesudah dilakukannya simulasi tersebut maka dapat diambil data aliran daya dan hubung singkat pada tiap busnya. Data inilah yang digunakan sebagai dasar untuk melakukan penyetelan relai proteksi.

C. Perhitungan dan Simulasi

Melakukan perhitungan arus hubung singkat dengan menggunakan software ETAP 12.6.0, kemudian perhitungan penyetelan relai arus lebih, lalu dilakukan simulasi untuk melihat kerja koordinasi relai ketika terjadi suatu gangguan

D. Analisis Data

Menganalisis hasil korodinasi kerja relai simulasi mulai dari simulasi pertama sampai dengan ketiga.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tipikal Koordinasi

Dilakukan pemilihan beberapa tipikal koordinasi untuk memudahkan saat melakukan perhitungan penyetelan relai arus lebih yang mewakili dari jenis dan besarnya beban serta keseluruhan penyetelan relai. Adapun tipikal koordinasi yang dipilih, yaitu:

1. Tipikal 1: Jalur dari Generator. 3 menuju ke beban auxiliary melalui Transformator, setelah itu sampai ke motor Boiler Feed Water Pump 1.
2. Tipikal 2: Jalur dari Generator. 3 menuju ke beban auxiliary melalui Transformator, setelah itu sampai ke motor Primary Air Fan 1.
3. Tipikal 3: Jalur dari Generator. 3 menuju ke beban auxiliary melalui Transformator, setelah itu sampai ke motor Induced Draft Fan 1.
4. Tipikal 4: Jalur dari Generator. 3 menuju ke beban auxiliary melalui Transformator, setelah itu sampai ke motor Secondary Air Fan 1.
5. Tipikal 5: Jalur dari Generator. 3 menuju ke beban auxiliary melalui Transformator, setelah itu sampai ke motor Coal Mill 1.
6. Tipikal 6: Jalur dari Generator. 3 menuju ke beban auxiliary melalui Transformator, setelah itu sampai ke motor Circulating Water Pump D.
7. Tipikal 7: Jalur dari Generator. 3 menuju ke beban auxiliary melalui Transformator, setelah itu sampai ke Bus TR AUX.3.
8. Tipikal 8: Jalur dari Generator. 3 menuju ke penyulang PLN 150kV melalui Transformator step up, setelah itu sampai ke Bus 123.

B. Analisis Arus Hubung Singkat

Analisis arus hubung singkat dengan menggunakan bantuan software ETAP 12.6.0 ini dilakukan untuk menentukan penyetelan relai arus lebih. Terdapat dua parameter untuk perhitungan arus hubung singkat, yaitu hubung singkat minimum dan hubung singkat maksimum. Hubung singkat minimum adalah hubung singkat dua fasa pada saat 30 cycle. Sedangkan hubung singkat maksimum merupakan hubung singkat tiga fasa pada saat 1.5 cycle, 4 cycle dan $\frac{1}{2}$ cycle. Hasil perhitungan arus hubung singkat dapat dilihat pada **Tabel 2**.

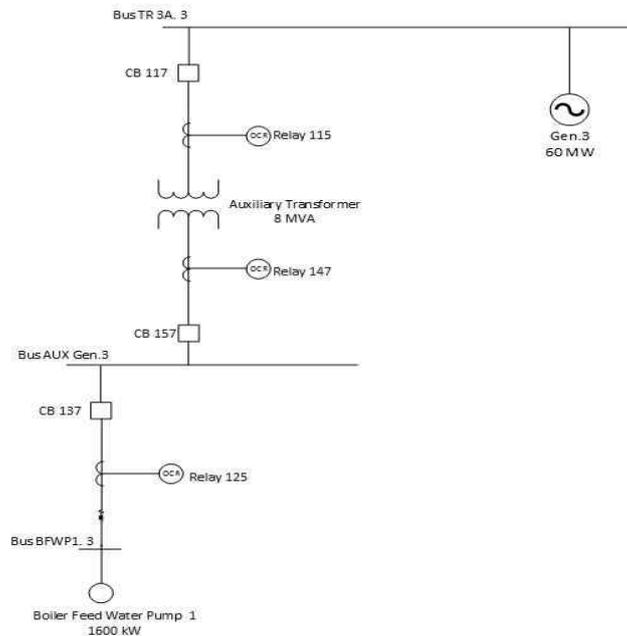
Tabel 2. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Dengan Software ETAP 12.6.0

NO	ID BUS	TEGANGAN (KV)	ISC.MIN 30 CYCLE (KA)	ISC.MAX $\frac{1}{2}$ CYCLE (KA)
1	BUS GEN #1	6.3	24.679	46.954
2	BUS GEN #2	6.3	24.752	47.190
3	BUS TR 3A #3	10.5	35.652	51.214
4	BUS TR 2A	6.3	24.752	47.190
5	BUS TR 1A	6.3	24.679	46.954
6	BUS AUX GEN #3	6.3	7.002	12.839
7	BUS AUX GEN #2	6.3	8.156	13.772
8	BUS AUX GEN #1	6.3	8.148	13.424
9	BUS TR 3B #3	150	0.652	0.979
10	BUS TR 2B	150	0.288	0.511
11	BUS TR 1B	150	0.288	0.511
12	BUS CONV1#1	0.4	22.476	34.35
13	BUSCWP3 #2	6.3	6.731	10.309
14	BUS BFWP1 #3	6.3	6.912	12.615

15	BUS123	150	0.598	1
16	BUS FWP3 #1	6.3	7.888	12.834
17	BUS FDF1 #1	6.3	7.904	12.866
18	BUS FANMILLF #2	6.3	7.954	13.293
19	BUS BUS ESP #2	0.4	18.742	29.253
20	BUS PAF1 #3	6.3	6.745	12.035
21	BUS IDF1 #3	6.3	6.613	11.617
22	BUS SAF1 #3	6.3	6.794	12.181
23	BUS COALMILL1 #3	6.3	6.858	12.394
24	BUS CWPDP #3	6.3	6.836	12.320
25	BUS TR AUX #3	0.4	21.074	32.559

C. Perhitungan Penyetelan Relai Arus Lebih Tipikal 1

Koordinasi relai arus lebih gangguan fasa yang terdiri dari tiga relai yaitu relai 125, 147 dan 115 yang dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Single Line Diagram Koordinasi Relai Tipikal 1

Relai 125

Merek : Marlin Gerin Sepam 1000
I_{sc min} Bus BFWP1. 3 : 6.912 kA
I_{sc max} Bus BFWP1. 3 : 12.615 kA
CT ratio : 300/5
 FLA Motor BFWP 1 : 181 A

Low Set Current setting (I_>)

$$\frac{1.05 \times \text{FLA BFWP 1}}{\text{CT}} I_n < I_t < \frac{1.3 \times \text{FLA BFWP 1}}{\text{CT}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 181}{300} I_n < I_s < \frac{1.3 \times 181}{300} I_n$$

$$0.63 I_n < I_s < 0.78 I_n$$

Dipilih Iset sebesar 0.75 I_n

$$I_s = 0.75 I_n \times 300 = 225 \text{ A}$$

Time Dial set

Dipilih waktu operasi, t_d = 4s

$$t_d = \left[\frac{k}{\left[\frac{1.3 \times I_{\text{Starting Motor}} \times \text{FLA}}{I_s} \right]^{\alpha} - 1} \right] \times \frac{T}{\beta}$$

$$4 = \left[\frac{0.14}{\left[\frac{1176.5}{225} \right]^{0.0} - 1} \right] \times \frac{T}{2.97}$$

$$T = 2.8$$

Dipilih time dial sebesar 2.8s

High set Current Setting (I>>)

$$\frac{1.3 \times I_{\text{Starting Motor}} \times \text{FLA}}{\text{CT}} I_n < I_s < \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min } B} \text{ BFWP} 1.3}{\text{CT}} I_n$$

$$\frac{1.3 \times 5 \times 181}{300} I_n < I_s < \frac{0.8 \times 6912}{300} I_n$$

$$3.92 I_n < I_s < 18.4 I_n$$

Dengan memperhatikan kurva STAR dipilih Iset sebesar 4 I_n

Time delay = 0.1 s

Relai 147

Merek : Marlin Gerin Sepam 1000

I_{sc min Bus AUX Gen. 3} : 7.002 kA

I_{sc max Bus AUX Gen. 3} : 12.839 kA

CT ratio : 1000/5

FLA Sekunder Trafo : 733.1 A

Low Set Current setting (I>)

$$\frac{1.05 \times \text{FLA Sekunder Trafo}}{\text{CT}} I_n < I_s < \frac{1.3 \times \text{FLA Sekunder Trafo}}{\text{CT}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 733.1}{1000} I_n < I_s < \frac{1.3 \times 733.1}{1000} I_n$$

$$0.76 I_n < I_s < 0.95 I_n$$

Dipilih Iset sebesar $0.92I_n$
 $I_s = 0.92 I_n \times 1000 = 920 \text{ A}$

Time Dial set

Waktu yang diinginkan, $t_d = 0.2 + 0.3 = 0.5 \text{ s}$

$$t_t = \left[\frac{k}{\left[\frac{I_{sc \text{ max Bus AUX Gen. 3}}}{I_t} \right]^\alpha - 1} \right] \times \frac{T}{\beta}$$

$$0.5 = \left[\frac{0.14}{\left[\frac{12839}{920} \right]^{0.0} - 1} \right] \times \frac{T}{2.97}$$

$T = 0.58$

Dipilih time dial sebesar 0.58s

High set Current Setting ($I \gg$)

$$I_{set} < \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min Bus AUX Gen. 3}}}{CT} I_n$$

$$I_{set} < \frac{0.8 \times 7002}{1000} I_n$$

$$I_{set} < 5.6 I_n$$

Dengan memperhatikan kurva STAR dipilih Iset sebesar $4.5 I_n$

Time delay = 0.5 s

Relai 115

Merek	: Marlin Gerin Sepam 1000
<i>I_{sc min} Bus TR 3A. 3</i>	: 35.652 kA
<i>I_{sc max} Bus TR 3A. 3</i>	: 51.214 kA
<i>I_{sc max} Bus AUX Gen. 3</i>	: 12.839 kA
<i>CT ratio</i>	: 800/5
<i>FLA Primer Trafo</i>	: 439.9 A

Low Set Current setting ($I >$)

$$\frac{1.05 \times \text{FLA primer Trafo}}{CT} I_n < I_t < \frac{1.3 \times \text{FLA primer Trafo}}{CT} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 439.9}{800} I_n < I_t < \frac{1.3 \times 439.9}{800} I_n$$

$$0.57 I_n < I_t < 0.71 I_n$$

Dipilih Iset sebesar 0.7

$$I_s = 0.7 I_n \times 800 = 560 \text{ A}$$

Time Dial set

Waktu yang diinginkan, $t_d = 0.5 + 0.3 = 0.8 \text{ s}$

Konversi HV *I_{sc max} Bus AUX Gen. 3*

$$= 12839 \text{ A} \times \frac{6.3}{1.5} = 7703 \text{ A}$$

$$t_i = \left[\frac{k}{\left[\frac{I_{sc \text{ max Bus AUX Gen. 3}}}{I_i} \right]^\alpha - 1} \right] \times \frac{T}{\beta}$$

$$0.8 = \left[\frac{0.14}{\left[\frac{7703}{560} \right]^{0.0} - 1} \right] \times \frac{T}{2.97}$$

T = 0.91

Dipilih time dial sebesar 0.91s

High set Current Setting (I_{>>})

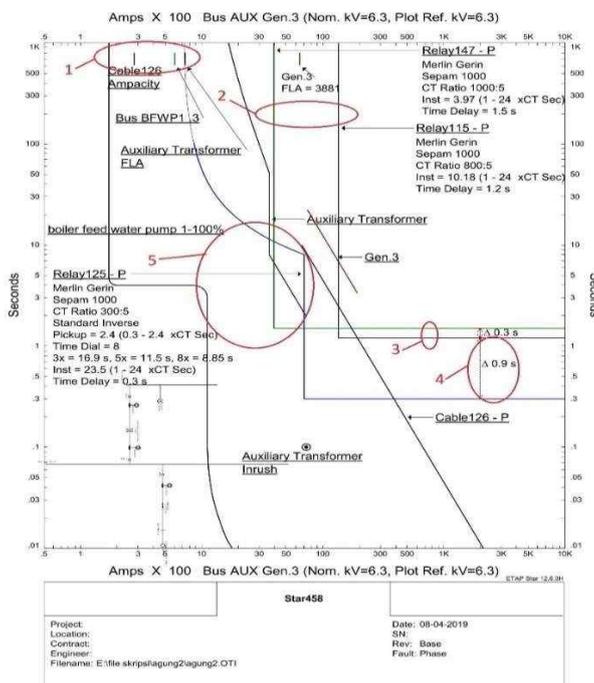
$$\frac{I_i \text{ m Bus AUX Gen. 3}}{CT} I_n < I_i < \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min B}}}{CT} T \frac{3A.3}{CT} I_n$$

$$\frac{7703}{800} I_n < I_{se} < \frac{0.8 \times 35652}{800} I_n$$

$$9.62 I_n < I_i < 35 I_n$$

Dengan memperhatikan kurva STAR dipilih Iset sebesar 9.65I_n, Time delay = 0.8s

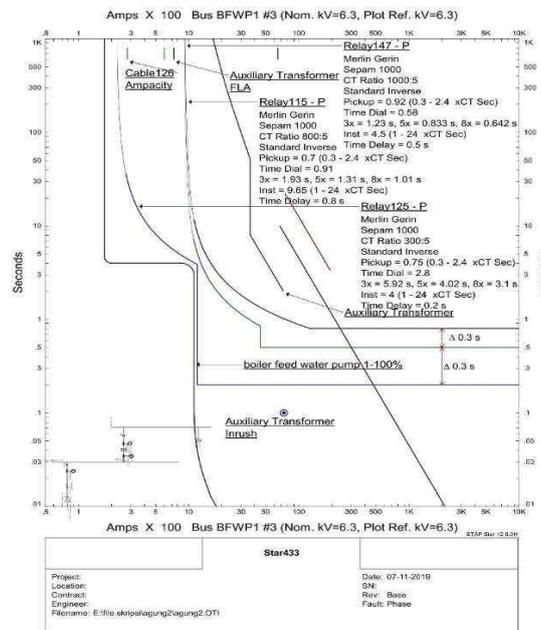
Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Data Lapangan Tipikal 1



Gambar 3. Plot Koordinasi Relai dengan Data Lapangan Tipikal 1

Pada Gambar 3 dimana hasil plot koordinasi relai arus lebih dengan data lapangan tipikal 1 terdapat beberapa koordinasi yang kurang baik, yaitu Pada relai 125 penyetelan arus pickup terlalu jauh dari FLA motor dimana sesuai dengan standar yaitu 1.05 – 1.3 Iset × FLA. Relai 147 dan 115 hanya

terdapat penyetelan instan saja, dimana pada penyetelan tersebut tidak melindungi Trafo ketika terjadi overload dan hanya melindungi ketika terjadi short circuit hal tersebut dapat diperbaiki dengan cara perhitungan ulang penyetelan relai. Pada relai 115 terdapat kesalahan koordinasi penyetelan waktu instan dan Jarak antar relai 125 dengan relai 147 adalah 1.2 s dan tidak sesuai dengan standar IEEE 242 dimana jarak antara relai adalah 0.2 sampai dengan 0.4 s. Penyetelan waktu invers dan arus instan pada Relai 125 terlalu jauh dari kurva star motor dan mengakibatkan relai tidak melindungi motor saat starting. **Gambar 4** menunjukkan plot koordinasi relai dengan hasil perhitungan tipikal 1



Gambar 4. Plot Koordinasi Relai dengan Hasil Perhitungan Tipikal 1

Dengan cara perhitungan setting relai yang sama dengan yang dilakukan pada tipikal 1 maka didapatkan hasil setting relai-relai dari delapan tipikal koordinasi yang ada, dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Penyetelan Relai

Relai	CT ratio	Curve	Tap (In)	Time Dial (s)	Instan (In)	Time Delay (s)
147	1000/5	SI	0.92	0.58	4.5	0.5
115	800/5	SI	0.7	0.91	9.65	0.8
125	300/5	SI	0.75	2.8	4	0.2
122	75/5	SI	0.75	2.96	4.8	0.2
103	75/5	SI	0.78	2.96	4.9	0.2
105	75/5	SI	0.57	2.98	3.6	0.2
111	50/5	SI	0.93	2.96	6	0.2
140	50/5	SI	0.65	2.96	4.2	0.2
102	200/5	SI	0.67	0.12	11	0.2
116	500/5	SI	0.68	0.23	1	0.5
86	800/5	SI	1.94	0.15	2.5	0.3

D. Melakukan Simulasi pada ETAP 12.6.0

Hasil setting koordinasi Relai Arus Lebih dengan perhitungan secara manual pada kelistrikan PLTU Embalut PT. Cahaya Fajar Kaltim, maka dilakukan suatu simulasi untuk melihat kerja koordinasi relai ketika terjadi suatu gangguan. Simulasi gangguan yang ada pada simulator ETAP berupa gangguan hubung singkat tiga fasa, gangguan hubung singkat fasa-fasa, gangguan hubung singkat fasa ke tanah dan gangguan hubung singkat fasa-fasa ke tanah, dari tiga jenis gangguan tersebut dipilih yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa yang memiliki arus gangguan hubung singkat terbesar yang bisa dengan cepat merusak suatu peralatan.

Koordinasi Kerja Relai Simulasi 1

Dilakukan simulasi koordinasi kerja relai ketika terjadi suatu gangguan hubung singkat tiga fasa di pemakaian distribusi daya sendiri Unit tiga pada Bus BFWP1.3.

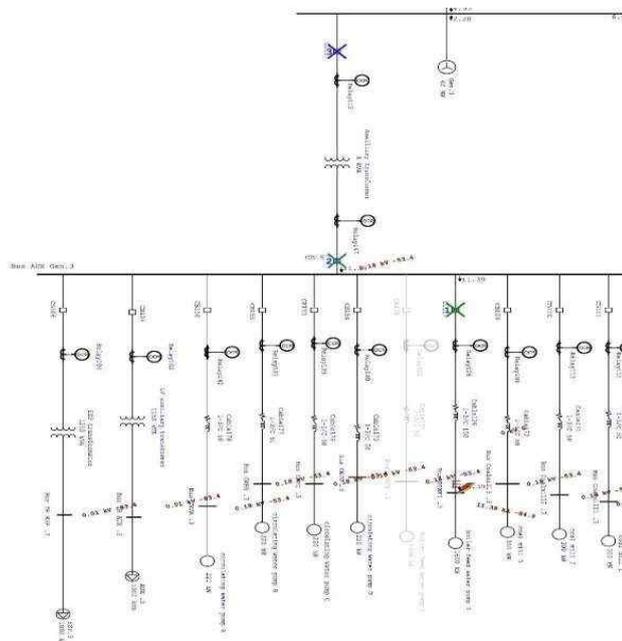
Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus BFWP1_3

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 08-02-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
200	Relay125	11.386	200		Phase - OC1 - 50
265	CB137		65.0		Tripped by Relay125 Phase - OC1 - 50
500	Relay147	11.386	500		Phase - OC1 - 50
570	CB157		70.0		Tripped by Relay147 Phase - OC1 - 50
834	Relay115	6.832	834		Phase - OC1 - 51
934	CB117		100		Tripped by Relay115 Phase - OC1 - 51

Gambar 5. Report Sequence Trip Simpatetik Simulasi 1



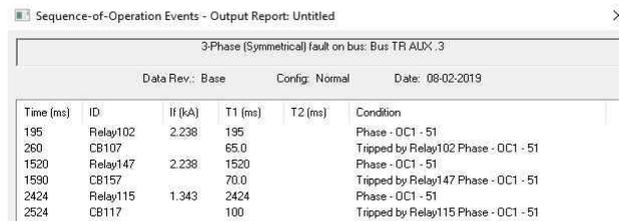
Gambar 6 Simulasi Koordinasi Relai Arus Lebih Simulasi 1

Analisis Hasil Koordinasi Kerja Relai Simulasi 1

Dari hasil simulasi koordinasi Relai Arus (Gambar 5, 6) Lebih terlihat bahwa terdapat gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus BFWP1 #3 maka Relai 125 akan mengintruksikan CB 137 untuk trip serta Relai 147 sebagai backup untuk menginstruksikan CB 157 trip dan relai 115 sebagai backup terakhir untuk mengintruksikan CB 117 untuk trip. Pada Gambar 4.19 dapat dilihat Relai 125 membaca bahwa terdapat gangguan hubung singkat tiga fasa sebesar 11.386 kA dan mengintruksikan CB 137 untuk trip setelah 200 ms atau 0.2s dan setelah CB 137 menerima intruksi untuk trip dari Relai 125 maka CB 137 membutuhkan waktu 65 ms untuk trip dengan total waktu kerja Relai 125 dan CB 137 Yaitu 265 ms. Relai 147 sebagai backup ketika Relai 125 dan CB 137 gagal mengamankan gangguan, Relai 147 akan mengintruksikan CB 157 untuk trip setelah 500 ms atau 0.5 s dan setelah CB 157 menerima intruksi untuk trip dari Relai 147 maka CB 157 membutuhkan waktu 70 ms untuk trip dengan total waktu kerja Relai 147 dan CB 157 Yaitu 570 ms. Dan sebagai backup terakhir yaitu Relay 115 yang menerima arus gangguan sebesar 6.832kA ketika relai 147 dan CB 157 gagal mengamankan gangguan maka relay 115 akan mengintruksikan CB 117 untuk trip pada waktu 834ms dan setelah CB 117 menerima intruksi trip dari relai 115 maka CB 117 membutuhkan waktu 100 ms untuk trip. dan koordinasi relai tersebut dapat dengan cepat mengamankan gangguan dan mencegah rusaknya suatu peralatan.

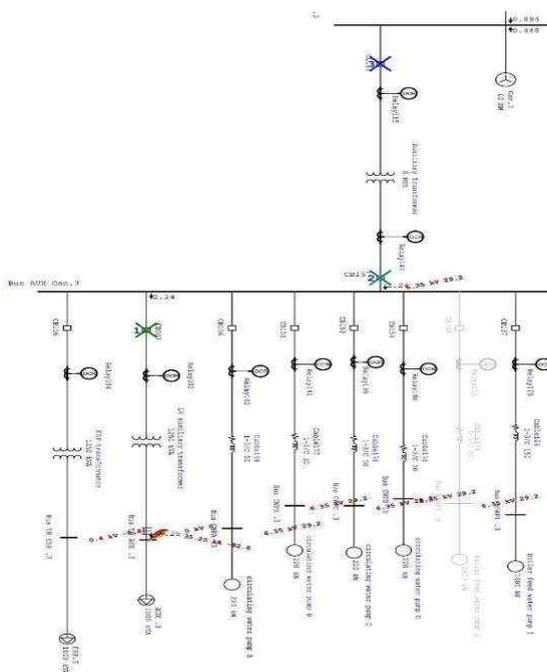
Koordinasi Kerja Relai Simulasi 2

Dilakukan simulasi koordinasi kerja relai ketika terjadi suatu gangguan hubung singkat tiga fasa di pemakaian distribusi daya sendiri Unit tiga pada Bus TR AUX .3.



Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
195	Relay102	2.238	195		Phase - OC1 - 51
260	CB107		65.0		Tripped by Relay102 Phase - OC1 - 51
1520	Relay147	2.238	1520		Phase - OC1 - 51
1590	CB157		70.0		Tripped by Relay147 Phase - OC1 - 51
2424	Relay115	1.343	2424		Phase - OC1 - 51
2524	CB117		100		Tripped by Relay115 Phase - OC1 - 51

Gambar 7. Report Sequence Trip Simpatetik Simulasi 2



Gambar 8. Koordinasi Relai Arus Lebih Simulasi 2

Analisis Hasil Koordinasi Kerja Relai Simulasi 2

Dari hasil simulasi koordinasi Relai Arus (Gambar 7,8), lebih terlihat bahwa terdapat gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus TR AUX .3 maka Relai 102 akan mengintruksikan CB 107 untuk trip serta Relai 147 sebagai backup untuk mengintruksikan CB 157 trip dan relai 115 sebagai backup terakhir untuk mengintruksikan CB 117 untuk trip. Pada Gambar 4.21 dapat dilihat Relai 102 membaca bahwa terdapat gangguan hubung singkat tiga fasa sebesar 2.238 kA dan mengintruksikan CB 107 untuk trip setelah 195 ms atau 0.195s dan setelah CB 107 menerima intruksi untuk trip dari Relai 102 maka CB 107 membutuhkan waktu 65 ms untuk trip dengan total waktu kerja Relai 102 dan CB 107 Yaitu 260 ms. Relai 147 sebagai backup ketika Relai 102 dan CB 107 gagal mengamankan gangguan, Relai 147 akan mengintruksikan CB 157 untuk trip setelah 1520 ms atau 1.52 s dan setelah CB 157 menerima intruksi untuk trip dari Relai 147 maka CB 157 membutuhkan waktu 70 ms untuk trip dengan total waktu kerja Relai 147 dan CB 157 Yaitu 1590 ms. Dan sebagai backup terakhir yaitu Relay 115 yang menerima arus gangguan sebesar 1.343 kA ketika relai 147 dan CB 157 gagal mengamankan gangguan maka relay 115 akan mengintruksikan CB 117 untuk trip pada waktu 2424 ms dan setelah CB 117 menerima intruksi trip dari relai 115 maka CB 117 membutuhkan waktu 100 ms untuk trip. dan koordinasi relai tersebut dapat dengan cepat mengamankan gangguan dan mencegah rusaknya suatu peralatan.

Koordinasi Kerja Relai Simulasi 3

Dilakukan simulasi koordinasi kerja relai ketika terjadi suatu gangguan hubung singkat tiga fasa di Bus TR 3A.3.

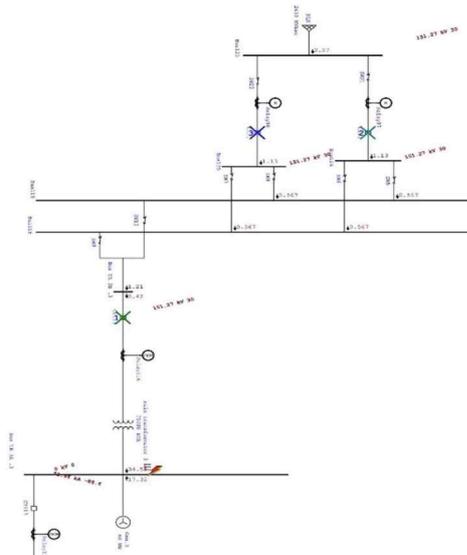
Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus TR 3A .3

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 08-03-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
270	Relay116	2,418	270		Phase - OC1 - 51
270	CB119		0.0		Tripped by Relay116 Phase - OC1 - 51
300	Relay86	1,134	300		Phase - OC1 - 50
300	Relay87	1,134	300		Phase - OC1 - 50
300	CB90		0.0		Tripped by Relay87 Phase - OC1 - 50
300	CB91		0.0		Tripped by Relay86 Phase - OC1 - 50

Gambar 9. Report Sequence Trip Simpatetik Simulasi 3



Gambar 10 Koordinasi Relai Arus Lebih Simulasi 3

Analisis Hasil Koordinasi Kerja Relai Simulasi 3

Dari hasil simulasi koordinasi Relai Arus (Gambar 9,10), lebih pada simulasi 3 terlihat bahwa terdapat gangguan hubung singkat tiga fasa pada Bus TR 3A.3, berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat bahwa Relai yang bekerja terlebih dahulu adalah Relai 116 yang menerima arus gangguan sebesar 2.418 kA lalu mengintruksikan CB 119 untuk trip secara setelah 270 ms atau 0.27 s. sebagai backup ketika relai 116 gagal bekerja maka relai selanjutnya yang bekerja adalah relai 86 dan relai 87 yang samasama menerima arus gangguan sebesar 1.134 kA, lalu mengintruksikan CB 90 dan CB 91 untuk trip secara bersamaan pada waktu 300ms atau 0.3 s. koordinasi relai tersebut sudah sesuai setandar dan dapat dengan cepat mengamankan gangguan dan mencegah rusaknya peralatan

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

- 1) Semakin jauh letak relai arus lebih dari pembangkit maka penyetelan arus dan waktu pada relai harus lebih kecil dari pada penyetelan relai di belakangnya yang lebih dekat dengan pembangkit agar terkoordinasi dengan baik dan ketika terjadi suatu gangguan maka relai terjauh dari pembangkit akan bekerja terlebih dahulu.
- 2) Penyetelan keterlambatan waktu relai sebesar 0.2-0.4 detik sesuai dengan standar IEEE 242-1986 dan penyetelan arus pick up relai sebesar 1.05-1.3 dari arus maksimum sesuai dengan British Standard 142-1983.

- 3) Terdapat penggantian CT pada relai 116, karena saat digunakan terlihat kurva terletak setelah arus hubung singkat pada Bus TR3B .3. Hal ini mengakibatkan relai kurang tanggap saat terjadi gangguan.
- 4) Dari hasil analisis kinerja relai arus lebih yang telah dilakukan pada PLTU Embalut PT. Cahaya Fajar Kaltim Unit 1×60 MW saat ini perlu dilakukan penyetelan arus, waktu dan koordinasi antar relai seperti penyetelan arus yang jauh dari FLA dan jarak keterlambatan waktu kerja relai yang tidak sesuai dengan standar yang ada, dengan cara perhitungan ulang penyetelan relai. sehingga setelah dilakukan perhitungan ulang didapatkan penyetelan arus, waktu dan koordinasi antara relai yang cukup baik, dibuktikan dengan hasil plot koordinasi yang sesuai dengan standar dan hasil simulasi ketika terjadi gangguan yang dapat berjalan dengan baik dan mampu bekerja mengatasi gangguan secepat mungkin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Wiliam D. Stevenson, Analisis Sistem Tenaga Listrik(edisi keempat), Erlangga, 1993.
- [2] M. T. Alawiy, Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Fakultas Teknik Elektro Universitas Islam Malang, 2006.
- [3] S. Electric, "Trip Curve," IEC-SIT-SIT-A10PU_1, p. 1, 2008.
- [4] R. Asri, "Studi Koordinasi Proteksi Pada Sistem Kelistrikan Bandara Internasional Juanda Surabaya," Jurnal Publikasi Online ITS, pp. 1-6, 2014.
- [5] H. M. Yudha, Rele Proteksi, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, 2008.