

Analisis Setting Relay Proteksi Pengaman Arus Lebih Pada Generator (Studi Kasus di PLTU 2X300 MW Cilacap)

Fitrizawati¹, Siswanto Nurhadiyono², Nur Efendi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto
Jalan Semingkir No.1, Purwokerto 53134, Indonesia
email : fitrizawati@gmail.com¹

Abstrak

Sistem proteksi sangat dibutuhkan pada bagian pembangkit, yaitu generator. Tujuan proteksi generator selain untuk menjaga keandalan dan stabilitas sistem tenaga listrik juga berfungsi sebagai tindakan preventif terhadap kerusakan generator, sehingga mengurangi biaya kerusakan peralatan. Dari sini akan dibahas bagaimana cara menentukan *setting* relai arus lebih dan relai beban lebih generator terhadap gangguan arus lebih yang kemungkinan terjadinya karena gangguan hubung singkat pada generator PLTU Cilacap. Untuk mempermudah perhitungan dan analisa gangguan, maka disimulasikan menggunakan *software ETAP Power Station 6.0*. Relai proteksi yang digunakan dan di *setting* adalah relai arus lebih dan relai beban lebih pada generator. Relai ini berfungsi memproteksi arus gangguan terhadap fasa - tanah, fasa - fasa, fasa - fasa tanah dan 3 fasa. Dengan mengetahui arus gangguan tersebut, maka diperoleh *setting* relai arus lebih generator dengan arus yang melewati relai 6,14 A dan waktu *delay* 0,216 detik. Sedangkan pengaman generator beban lebih terdiri atas dua bagian yaitu : *definite time-limit* dan *inverse time-limit*. *Definite time-limit* berfungsi untuk membunyikan alarm yang bekerja pada *settingan* arus 3,75 Ampere dan waktu 9 detik, sedangkan *inverse time-limit* akan memberikan *output* pemutusan PMT atau program *tripping* dengan penyetelan arus I_s 3,94 A dengan waktu tunda 100 detik, sedangkan penyetelan arus I_{up} 21,8 A dengan waktu tunda 0,92 detik.

Kata kunci :Gangguan hubung singkat, sistem proteksi, *over current relay*, generator.

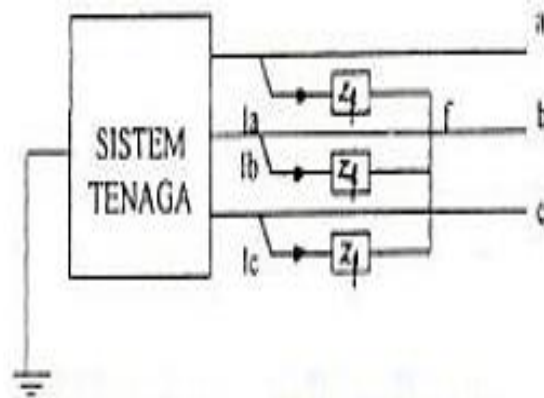
1. Pendahuluan

Dalam sistem tenaga listrik stabilitas dan keandalan merupakan hal yang paling prioritas dalam pelayanan pelanggan. Dalam pendistribusian listrik bila terjadi gangguan maka akan menyebabkan kerugian besar bagi para pelanggan, terutama bagi perusahaan industri. Karena itu untuk menjaga stabilitas dan keandalan sistem tenaga listrik sangat dibutuhkan sistem proteksi yang baik. Sistem proteksi tenaga listrik meliputi bagian pembangkit sampai dengan bagian distribusi. Sistem proteksi ini melingkupi peralatan-peralatan pada bagian sistem tenaga listrik keseluruhan. Sistem proteksi sangat dibutuhkan pada bagian pembangkit, yaitu generator. Dimana bagian hulu yang sangat vital sebagai sumber penghasil listrik wajib mendapatkan perlindungan terhadap berbagai macam gangguan yang dapat mempengaruhi keandalannya menghasilkan listrik. Tujuan proteksi ini selain untuk menjaga keandalan dan stabilitas sistem tenaga listrik juga berfungsi sebagai tindakan preventif terhadap kerusakan generator, sehingga mengurangi biaya kerusakan peralatan. Kemungkinan-kemungkinan terjadinya gangguan pada generator adalah sebagai berikut ^{[1][2]}.

Ada beberapa jenis gangguan hubung singkat dalam sistem tenaga listrik antara lain hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, 2 fasa ke tanah, dan satu fasa ke tanah^[3]. Sehingga hal inilah yang menjadi dasar bahwa besar arus hubung singkat hasil analisa ini dapat dijadikan salah satu pertimbangan dalam pemilihan peralatan proteksi yang tepat, sehingga bila gangguan hubung singkat itu benar – benar terjadi di dalam sistem, maka peralatan proteksi dapat bekerja mengamankan bagian sistem yang terganggu sesuai yang diharapkan.

1.1. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gambar 1.1 dibawah ini merupakan keadaan saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dengan impedansi gangguan Z_f .



Gambar 1.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa^[4]

Mengacu pada gambar diatas, apabila terjadi gangguan di ketiga fasanya, maka akan timbul arus gangguan yang sangat besar. Nilai arus gangguan hubung singkat tiga fasa yang diperoleh sebesar :

$$I_{f3\phi} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} \quad (1)^{[5]}$$

Keterangan:

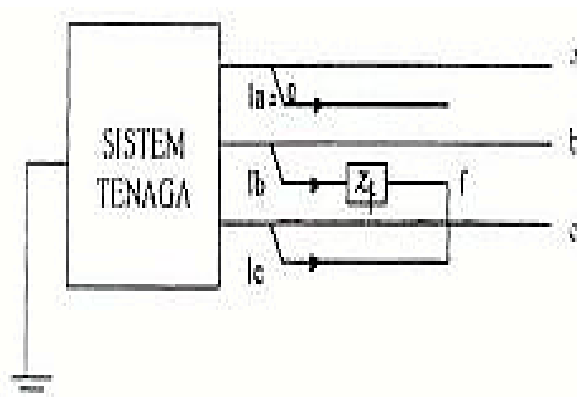
V_f adalah tegangan gangguan (Volt)

Z_1 adalah impedansi total urutan positif (Ohm)

Z_f adalah impedansi gangguan (Ohm)

1.2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Keadaan saat terjadi gangguan hubung singkat dua fasa dengan impedansi Z_f ditunjukkan pada gambar 1.2 berikut.



Gambar 1.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa^[6]

ITEKS
Intuisi Teknologi Dan Seni

Pada Gambar 2.2 diatas, dengan terjadinya gangguan dikedua fasanya, akan menimbulkan gangguan hubung singkat antar fasa. Maka dapat dicari nilai arus hubung singkat dua fasa sebesar :

$$I_{f2\phi} = \pm \frac{j\sqrt{3}V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (2)$$

Keterangan:

V_f adalah tegangan gangguan (Volt)

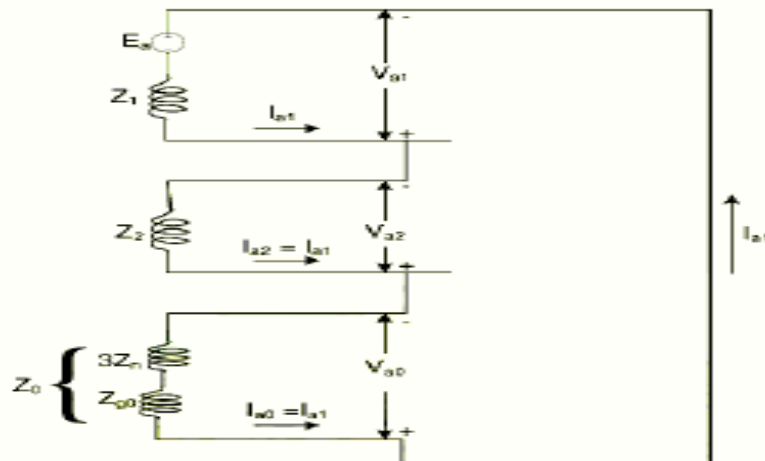
Z_1 adalah impedansi total urutan positif (ohm)

Z_2 adalah impedansi total urutan negatif (ohm)

Z_f adalah impedansi gangguan (ohm)

1.3. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gambar 2.3 dibawah ini menunjukan keadaan saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dengan impedansi pentanahan Z_n .



Gambar 1.3. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah^[7]

Gangguan hubung singkat pada Gambar 2.3, gangguan yang berhubungan dengan impedansi pentanahan. Biasanya arus gangguan ini relatif kecil yang memungkinkan dipakai untuk mensetting rele arus lebih. Nilai arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat diperoleh dengan cara :

$$I_{f-T} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_n} \quad (3)$$

Keterangan :

V_f adalah tegangan gangguan (Volt)

Z_1 adalah impedansi total urutan positif (ohm)

Z_2 adalah impedansi total urutan negatif (ohm)

Z_n adalah impedansi pentanahan (ohm)

Z_0 adalah impedansi total urutan nol

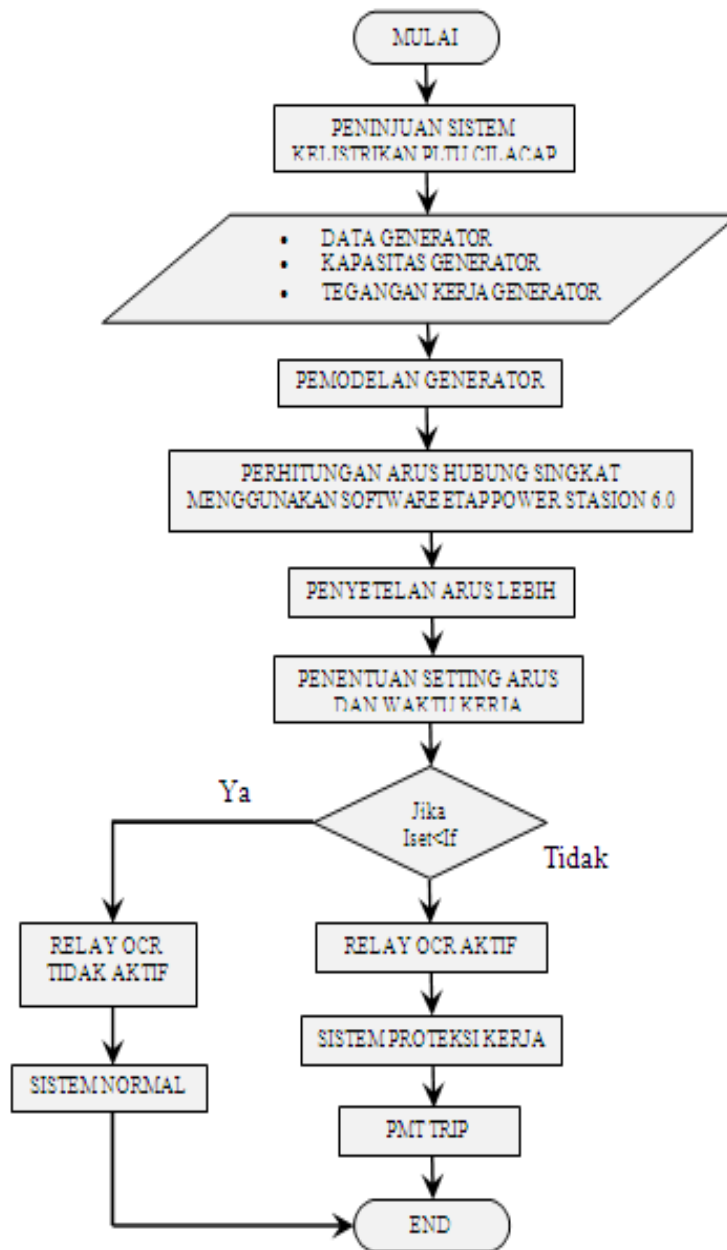
2. Metode Penelitian

2.1. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun peralatan yang dipakai selama penelitian ini antara lain laptop untuk menjalankan perangkat lunak , perangkat lunak berupa *Software ETAP power station 6.0* untuk menganalisis hasil simulasi arus hubung singkat.

2.1. Diagram Alir Penelitian

Metodologi penelitian merupakan proses ataupun langkah - langkah yang bertujuan supaya penentuan *setting* relai dapat dilakukan secara sistematis. Metode penelitian dapat dibuat dengan diagram alir. Dan dibawah ini adalah diagram alir pemecahan masalah *setting* relai arus lebih pada generator.



Gambar 2.1. Diagram alir penelitian *setting* relai arus lebih generator

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Analisa Perhitungan Setting Relai Arus Lebih

Menentukan *setting* waktu sesuai dengan karakteristik relai arus lebih *normally inverse* yaitu terlihat pada Tabel 3.1 standarisasi PLN 2005.

Tabel 3.1 Konstanta Karakteristik Relai Arus Lebih

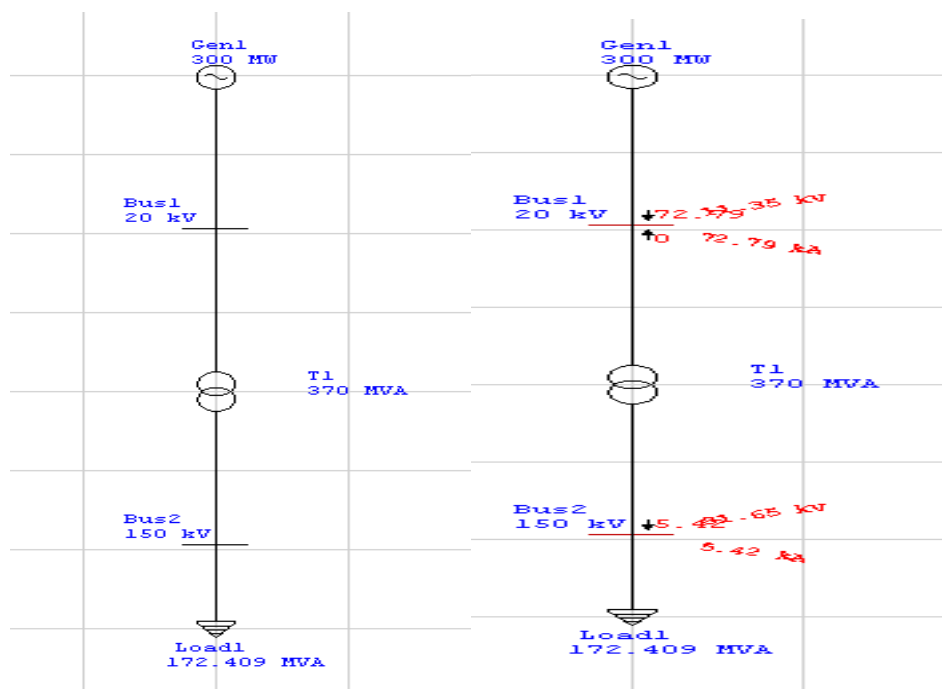
No	Deskripsi	k	C	α
1	<i>Definit time</i>	-	0-100	-
2	<i>Standart inverse</i>	0.14	0	0.02
3	<i>Very inverse</i>	13.5	0	1
4	<i>Extremely inverse</i>	80	0	2
5	<i>Long time inverse</i>	120	0	1

Maka *setting* waktunya :

$$t = \text{TMS (td)} \times \frac{k}{(I/I_s)^\alpha} + c \quad (3)$$

Tabel 3.2 Data Generator PLTU Cilacap

No	Spesifikasi	Parameter
1	Rated Power	353 MVA
2	Rated Voltage	20kV
3	Rated Current	10189 A
4	Power Factor	0,85
5	Xd	0,525 pu
6	Xd'	0,064 pu
7	Xd''	0,044 pu



Gambar 3.2. (a) Pemodelan pada ETAP, (b) Pemodelan gangguan pada ETAP

3.2 . Menentukan Arus Hubung Singkat Pada Generator

Sesuai perhitungan dengan menggunakan *software ETAP Power Station 6.0*, didapatkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dua fasa ke

tanah dan satu fasa ke tanah dalam keadaan *sub transient*, *transient* dan *steady-state* dalam tabel 3.3. berikut.

Tabel 3.3 Hasil Perhitungan Gangguan Hubung Singkat Generator

No	Gangguan	3 Fasa (kA)	2 Fasa (kA)	2 Fasa ke Tanah (kA)	1 Fasa ke Tanah (kA)
1	I_f''	68,8	55,1	73,2	72,7
2	I_f'		55,1	73,2	72,7
3	I_f	16,7	55,1	73,2	72,7

3.2. Menghitung Setting Rele Arus Lebih Pada Generator

Dari hasil perhitungan hubung singkat pada generator diatas maka kita dapat men-set waktu OCR sebagai proteksi pada generator. Maka *setting* relai arus lebih pada Generator PLTU Cilacap seperti pada Tabel 4.4 dibawah ini :

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Setting Relai Arus Lebih Pada Generator

No	Keterangan	Nilai
1	Arus nominal	10190 A
2	Ratio CT	15000 : 5 A
3	Arus yang melalui relai	3,39 A
4	Arus <i>setting</i> relai arus lebih	11209 A
5	Arus <i>pick up</i>	6,14 A
6	Waktu kerja relai	0,216 detik

3.3.. Analisis Perhitungan Setting Relai Beban Lebih

Neutral TA ratio $15000/5 = 3000$; Pengaman beban lebih *definite time-limit*. Arus kerja

$$I_{GI} = \frac{1,05}{0,95} \times 10189 = 11261,5 \text{ A}$$

$$I_{gl} = \frac{11261,5}{3000} = 3,75 \text{ A}$$

Sedangkan tunda waktu kerja sesuai dengan kemampuan generator menahan beban lebih beberapa saat dan supaya generator tidak langsung tripp.

Set $t_{11} = 9s$, waktu ini di-set sesuai dengan spesifikasi generator.

Pengaman beban lebih *inverse time-limit*, Calority coefficient K_1 , heat-dissipating coefficient K_2 , set $K_1 = 37$ $K_2 = 1,02$, Arus *starting* pembatas terendah untuk bagian *inverse time-limit*

$$I_s = 1,05 \times \frac{1,05}{0,95} \times 101189 = 11824,6 \text{ A}$$

$$I_s = \frac{11824,6}{3000} = 3,94 \text{ A}$$

Waktu tunda lama paling rendah untuk bagian *inverse time-limit*

$$(I_{s*}^{(2)} - K_2) \leq K_1$$

$$t_s \leq \frac{K_1}{I_{s*}^{(2)} - K_2} = \frac{37}{\left(\frac{11824,6}{10189}\right)^2 - 1,02} = 113,2s$$

$$I_{s*}^{(2)} = \left(\frac{I_s}{I_e} \right)^2 \quad (4)$$

set $t_s = 100s$

Arus pembatas tertinggi untuk bagian *inverse time-limit*, arus hubung singkat 3 phasa yang melewati generator ketika gangguan hubung singkat 3 phasa terjadi pada terminal generator adalah :

$$\begin{aligned} I_k^{(3)} &= \frac{1}{X''_3} \times \frac{100 \times 10^2}{\sqrt{3} \times 20} \\ &= \frac{1}{0,0441} \times \frac{100 \times 10^2}{\sqrt{3} \times 20} = 65459,2A \\ I_{up} &= \frac{65459,2}{3000} = 21,8 \text{ A} \end{aligned}$$

Arus ini harus lebih besar dari pada arus maksimum *out of step* generator.

1) Waktu tunda operasi pembatas tertinggi untuk bagian *inverse time-limit*

$$T_{up} = \frac{K1}{I_{up* - kz}^{(2)}} = \frac{37}{\left(\frac{65459,2}{10189} \right)^2 - 1,02} = 0,92s$$

3.4. Kurva Karakteristik Pengaman Beban Lebih

Tabel 3.5. Perhitungan waktu tunda relai pengaman generator beban lebih.

I_s	I_{hs} (ampere)	t_s (detik)
100%	3,94	113,80
150%	5,91	18,40
200%	7,88	8,47
250%	9,85	5,00
300%	11,82	3,33
350%	13,80	2,39
400%	15,77	1,80
450%	17,74	1,41
500%	19,71	1,13
550%	21,68	0,93
I_{up}	21,82	0,92

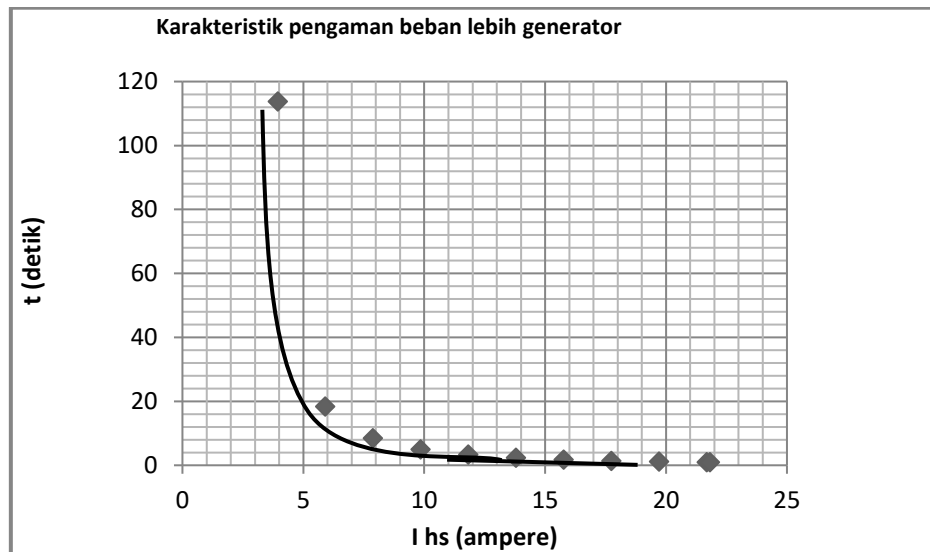
Keterangan :

I_s = Arus *starting* pembatas terendah untuk bagian *inverse time-limit* ;

I_{hs} = Arus hubung singkat yang terukur pada sisi sekunder trafo arus ;

I_{up} = Arus pembatas tertinggi untuk bagian *inverse time limit* ;

t_s = Waktu tunda lama paling rendah untuk bagian *inverse time-limit*.



Gambar 3.4. Kurva karakteristik pengaman beban lebih.

Perhitungan waktu tunda relai pengaman generator beban lebih pada saat
 $I_s = 150\%$

$$I_{s150\%} = \frac{150}{100} \times I_s = \frac{150}{100} \times 11824,6 = 17736,9 \text{ A}$$

$$I_{hs50\%} = \frac{I_{s150\%}}{\text{RatioCT}} = \frac{17736,9}{3000} = 5,91 \text{ A}$$

Demikian juga pada saat I_s 200%, 150% hingga I_{up} (arus maksimum hubung singkat 3 phasa) yang terjadi pada terminal generator. Hasil dari nilai arus dan waktu tersebut di sederhanakan dalam bentuk tabel 4.5. dari tabel tersebut maka dapat digambarkan dalam bentuk kurva. Gambar 4.3 adalah kurva dari hubungan arus kerja relai terhadap waktu tunda bekerjanya relai. Akhirnya, dari kurva yang terlihat diketahui jenis relai yang digunakan.

4. Kesimpulan Dan Saran

4.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Besar arus gangguan satu fasa ketanah yang terjadi sebesar 71465A dan gangguan fasa - fasa sebesar 53847A sehingga arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah yang digunakan dalam perhitungan *setting* relai proteksi arus lebih untuk memperoleh sensitivitas dan kehandalan relai, sehingga dengan arus gangguan terkecil relai proteksi dapat mendeteksi gangguan tersebut.
- Pada *setting over current relay* di generator unit 1 dengan arus pick up yang sama sebesar 6,14 A dan *setting waktu* 0,21detik.
- Sistem pengaman generator beban lebih di PT. Sumber Segara Primadaya PLTU 2 X 300 MW Cilacap ini merupakan jenis relai *extremely inverse*. Hal ini dapat dilihat dari kurva karakteristik pengaman tersebut ketika arus *starting inverse* dengan *basis* pengali 100% waktu tundanya 113,8 detik kemudian saat pengali 150 % waktu tundanya langsung turun dengan drastis 18,4 detik.
- Sistem pengaman generator beban lebih di PT.Sumber Segara Primadaya PLTU 2 X 300 MW Cilacap terdiri atas dua bagian yaitu : *definite time-limit* dan *inverse time-limit*. *Definite time-limit* berfungsi untuk membunyikan alarm yang bekerja pada *settingan* arus 3,75 Ampere dan waktu 9 detik, sedangkan *inverse time-limit* akan memberikan *output* pemutusan PMT atau program *tripping* dengan penyetelan arus I_s 3,94 A dengan

=====

waktu tunda 100 detik, sedangkan penyetelan arus I_{up} 21,8 A dengan waktu tunda 0,92 detik.

4.2.Saran

Setelah membuat tugas akhir berupa analisa sistem pengaman generator arus lebih di PT. Sumber Segara Primadaya PLTU 2 X 300 MW Cilacap ini, penulis mempunyai beberapa saran sebagai berikut:

- a. Relai pengaman arus lebih generator ini hanyalah satu dari 16 relai pengaman generator yang ada di PT. Sumber Segara Primadaya PLTU 2 X 300 MW Cilacap.
- b. Analisa sistem pengaman arus lebih generator ini belum terdapat koordinasi antar relai yang membentuk sistem proteksi generator dan juga koordinasi dengan pengaman yang bersebelahan seperti pengaman trafo utama dan pengaman busbar tegangan tinggi

5. Referensi

- [1] Author, 2005, "Electric System Operation Regulation, Inonesia Java Cilacap 2 X 300 MW CFFSPP Project Management Departement".
- [2] Author, 2005, "DGT 801 Digital Generator-Transformer Protection Technical Manual", Guodin Nanjing Automation CO.,LTD.
- [3] Arismunandar, Artono, 1979, "Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik",Jilid 2, PT. Pranadya Paramita, Jakarta.
- [4] Sumanto, MA, Drs., 1992, "Mesin Sinkron", Andi Offset, Yogyakarta.
- [5] William D. Stevenson, Jr, 1996, "Analisis Sistem Tenaga listrik (edisi keempat)", Erlangga, Jakarta.
- [6] Satria, Andika, 2011, " Laporan Tugas Akhir Perancangan dan Setting Relay proteksi Sebagai Pengaman Generator dan Transformator Untuk Gangguan Pada Sisi Busbar 6,6 kV dan 20 kV PLTA Tangka-Manipi", ITENAS, Bandung.
- [7] Istimaroh, Anaa, 2013, " Laporan Tugas Akhir Penentuan Setting Rele Arus Lebih Generator dan Rele Diferensial Transformator Unit 4 PLTA Cirata II", ITENAS, Bandung.