



JURNAL SUTET

Volume 7 - Nomor 2

Juni - Desember 2017

ISSN : 2356-1505

PENGARUH RUGI-RUGI SALURAN PADA JARINGAN TRANSMISI TEGANGAN MENENGAH
PENYULANG E2 GARDU INDUK EMBALUT TENGGARONG

Juara Mangapul Tambunan; DjokoSusanto; Rima Isyana Restuwangi

FIRE SENSING SYSTEM

Aas Wasri Hasanah; Rinna Hariyati; Oktaria Handayani

PERANCANGAN RANGKAIAN PENGUAT DAYA DENGAN TRANSISTOR

Tasdik Darmana; Tony Koerniawan

STUDI PERAMALAN BEBAN RATA-RATA JANGKA PENDEK MENGGUNAKAN METODA
AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE (ARIMA)

Adri Senen; Titi Ratnasari

PERANCANGAN SISTEM KONTROL GLYCOL REGENERATION UNIT DENGAN DCS DeltaV
DI ONSHORE GAS PLANT

Muhamad Syahrudin; Rummi Santi Rama Sirait

RANCANG BANGUN RUANG PINTAR MINIMALIS TENAGA SURYA DENGAN SISTEM KONTROL
BERBASIS ARDUINO

Dwi Anggraini; Miftahul Fikri; Hendrianto Husada

PERANCANGAN KENDALI GARASI RUMAH BERBASIS WEB VIA WIRELESS LAN

Akhmad Syahrani; Eka Purwa Laksana; Nifty Fath

ANALISA PROTEKSI HILANG EKSITASI PADA GENERATOR SINKRON DI PLTGU MUARA TAWAR
GT UNIT 1.3

Ibnu Hajar; Usman Fadillah



9 772356 150005

SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN (STT-PLN)

JURNAL SUTET

VOL. 7

NO. 2

HAL.69-132

JUNI - DESEMBER 2017

ISSN : 2356-1505

ANALISA PROTEKSI HILANG EKSITASI PADA GENERATOR SINKRON DI PLTGU MUARA TAWAR GT UNIT 1.3

Ibnu Hajar¹, Usman Fadillah²

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik PLN Jakarta

¹ ibnu.hjr@gmail.com

²us.fadillah7@gmail.com

Abstract : *One of the operating disruptions that occur in the synchronous generator is the loss of excitation. Where this interference will cause the generated reactive power generator is reduced even lost so that the synchronous generator must absorb the reactive power of the system. If this condition occurs continuously can cause damage to the stator coil, will occur worsening insulation and the stator end iron so as to cause short circuit, or interruption of soil relations in the future. So to anticipate the impact of such disturbances required a protection system. The protection system used in PLTGU Muara Tawar GT unit 1.3 is a minimum reactance relay. This jurnal discusses how to determine the value of loss excitation protection setting using minimum reactance relay and offset relay mho so that synchronous generator can work optimally. From the research calculation the minimum reactance relay usage will work on XA-setting value zone (-2.55 p.u) with 0.5 seconds delay time, XB-setting (offset) of -0.1156 p.u with 0.5 seconds delay time. As for offset relay mho will work on zone 1 and zone 2 for offset value of -0.109 p.u with delay time 0.1 second. As for zone 1 for the base impedance (Z_b) of -1.0 p.u with a delay time of 0.1 seconds and zone 2 synchronous reactance value (X_d) of 2.423 p.u with a delay time of 0.5 seconds. From those results it is considered sufficient to detect the loss of excitation in the synchronous generator.*

Keywords: Synchronous generator, Excitation loss, Protection system, Offset, Synchronous Reactance

Abstrak : *Salah satu gangguan operasi yang terjadi pada generator sinkron adalah gangguan hilang eksitasi. Dimana gangguan ini akan menyebabkan daya reaktif yang dihasilkan generator berkurang bahkan hilang sehingga generator sinkron harus menyerap daya reaktif dari sistem. Jika kondisi ini terjadi terus menerus dapat menimbulkan kerusakan pada kumparan stator, akan terjadi pemburukan isolasi dan ujung inti stator sehingga menimbulkan hubung singkat, atau gangguan hubung tanah dikemudian hari. Maka untuk mengantisipasi dampak gangguan tersebut diperlukan suatu sistem proteksi. Sistem proteksi yang digunakan di PLTGU Muara Tawar GT unit 1.3 adalah relai minimum reactance. Pada jurnal ini membahas bagaimana cara menentukan nilai setting proteksi hilang eksitasi menggunakan relai minimum reactance dan relai offset mho sehingga generator sinkron dapat bekerja secara optimal. Dari hasil perhitungan penelitian penggunaan relai minimum reactance akan bekerja pada zona nilai XA-setting (reaktansi sinkron batas bawah) sebesar -2.55 p.u dengan waktu tunda 0.5 detik, XB-setting (offset) sebesar -0.1156 p.u dengan waktu tunda 0.5 detik. Sedangkan untuk relai offset mho akan bekerja pada zona 1 dan zona 2 untuk nilai offset sebesar -0.109 p.u dengan waktu tunda 0.1 detik. Sedangkan untuk zona 1 untuk nilai Impedansi basis (Z_b) sebesar -1.0 p.u dengan waktu tunda 0.1 detik dan zona 2 nilai reaktansi sinkron (X_d) sebesar -2.423 p.u dengan waktu tunda 0.5 detik. Dari hasil tersebut dianggap telah mencukupi untuk mendeteksi adanya gangguan hilang eksitasi pada generator sinkron.*

Kata kunci : generator sinkron, hilang eksitasi, sistem proteksi, offset, reaktansi sinkron

1. PENDAHULUAN

Generator sinkron merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik karena berperan dalam penyediaan energi listrik yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat, sehingga kinerja dan keandalannya perlu diperhatikan secara terus menerus. Dalam pengoperasian generator dibutuhkan adanya kestabilan untuk menjaga dalam penyediaan sumber tenaga listrik sehingga diperlukan suatu sistem proteksi yang sangat handal. Sistem proteksi harus dapat melindungi generator dari gangguan yang terjadi. Gangguan ini dapat berupa gangguan dari luar generator (jaringan kelistrikan) maupun gangguan dari dalam generator itu sendiri.

Salah satu hal yang dapat menyebabkan gangguan adalah sistem pengaturan eksitasi dimana dapat terjadi kondisi hilangnya eksitasi. Pada kondisi hilangnya eksitasi maka generator sinkron akan mengalami kehilangan sinkronisasi dan berputar diluar kecepatan sinkronnya sehingga generator bekerja sebagai generator asinkron (induksi). Hal ini akan berpengaruh terhadap kestabilan sistem, karena generator yang kehilangan eksitasi akan menarik daya reaktif (VAR) dari sistem. Kondisi tersebut jika sering terjadi dapat merusak komponen generator sinkron khususnya pada kumparan stator, akan terjadi pemburukan isolasi diujung kumparan stator yang menonjol keluar dari generator dan juga pada inti stator.

Maka untuk mengantisipasi dampak gangguan yang ditimbulkan akibat kondisi hilang eksitasi, perlu diterapkan sebuah sistem pengaman. Sistem pengaman yang diharapkan mampu merespon kondisi generator sinkron saat terjadi gangguan hilang eksitasi. Respon sistem pengaman ini berfungsi menghentikan operasi generator sinkron yang terhubung pada sistem tenaga. Sehingga dampak gangguan hilang eksitasi terhadap generator sinkron dan sistem tenaga dapat dihindari. Untuk mendeteksi adanya kondisi hilangnya eksitasi pada generator sinkron di PLTGU Muara Tawar dipergunakan relai reaktansi minimum atau relai mho (40). Dalam penggunaan proteksi relai hilang eksitasi ditemukan

permasalahan yang sangat mendasar, yaitu apakah setting dari relai reaktansi minimum atau relai mho tersebut sudah dapat melindungi daerah proteksi yang diamankan, relai reaktansi minimum atau relai mho harus sedini mungkin mendeteksi atau bekerja apabila terjadi gangguan dari kondisi hilangnya eksitasi.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Relai Hilang Eksitasi

Relai ini berfungsi sebagai pengaman generator jika terjadi hilangnya eksitasi generator yang diindikasikan dengan penyerapan daya reaktif yang berlebihan dari jaringan. Relai yang biasa digunakan untuk mendeteksi hilangnya eksitasi adalah relai *offset* mho atau reaktansi minimum. Relai hilang eksitasi merupakan Relai *offset* mho atau reaktansi minimum dengan karakteristik mendeteksi admitansi beban. Dengan sedikit modifikasi sehingga digunakan untuk mendeteksi hilang eksitasi. Admitansi merupakan kebalikan dari impedansi seperti yang ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R + jX}$$

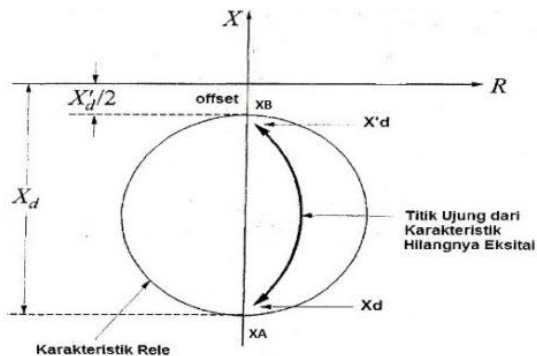
Dimana Y adalah Admitansi (ohm) dan Z adalah Impedansi (ohm) sedangkan R adalah Resistansi (ohm) dan X adalah Reaktansi (ohm).

Grafik karakteristik dari relai mho berupa diagram admitansi berbentuk garis lurus. Namun untuk relai hilang eksitasi digunakan karakteristik impedansi. Sehingga apabila diagram admitansi ditransformasikan ke diagram impedansi akan berupa lingkaran. Diagram impedansi yang berbentuk lingkaran ini selanjutnya disebut sebagai daerah kerja dari relai hilang eksitasi yang berada pada diagram R-X. Jadi relai hilang eksitasi memiliki daerah kerja yang berbentuk lingkaran. Sehingga relai hilang eksitasi penyettingan nilainya berdasarkan impedansi. Berdasarkan kurva kapabilitas keadaan *under excitation* berada dibawah garis *Minimum Excitation Limiter* (MEL) atau *Under Excitation Limiter* (UEL) yang

letaknya berada disumbu negatif dari sumbu MVAR. Karena MVAR identik dengan X maka pada diagram impedansi yang merupakan daerah kerja dari relai hilang eksitasi kondisi *under excitation* berada pada daerah negatif sumbu X. Atas dasar tersebut, maka penyettingan relai hilang eksitasi berada pada daerah negatif dari sumbu X.

2.2 Relai Reaktansi Minimum

Pada relai reaktansi minimum nilai-nilai yang disetting adalah nilai XB-set atau *offset* ($\frac{X'_d}{2}$) dan XA-set (X_d). Nilai *offset* adalah jarak antara busur lingkaran daerah kerja relai yang memotong sumbu X terhadap titik (0;0) diagram ZR-X sedangkan nilai Z_b adalah diameter lingkaran dari daerah kerja relai hilang eksitasi. Nilai *offset* (XB) disetting sebesar setengah dari reaktansi transient dari generator ($\frac{X'_d}{2}$). Sementara nilai XA-set sebesar reaktansi sinkron dari generator. Berikut merupakan gambar dari daerah kerja relai hilang eksitasi.

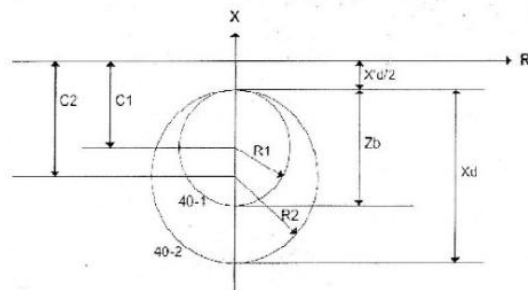


Gambar 2.1 Karakteristik daerah kerja relai reaktansi minimum atau relai mho dengan satu zona

2.3 Relai Offset Mho

Skema pengaturan relai *offset* mho sebagai pengaman gangguan hilang eksitasi generator sinkron, adalah dengan menggunakan dua unit relai *offset* mho untuk membentuk dua zona proteksi yang berbeda. Tujuan penerapan dua zona tersebut adalah agar sistem pengaman dapat memberikan respons yang berbeda pula terhadap indikasi gangguan generator sinkron hilang eksitasi. Jika nilai impedansi generator masuk pada zona

pengaman 2, maka relai tersebut akan memberikan *alarm* sehingga jika mungkin *operator* dapat memulihkan suplai eksitasi generator menggunakan sistem eksitasi cadangan. Apabila eksitasi tidak dapat dipulihkan, maka relai pada zona pengaman 1 akan merespon dan kemudian memberikan perintah untuk menutup katup aliran gas ke turbin sebelum membuka sakelar pemutus tenaga generator (*circuit breaker*).

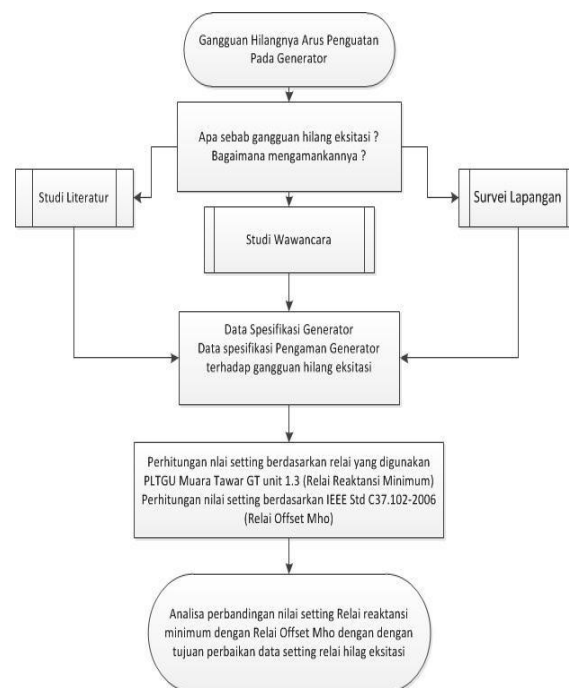


Gambar 2.2 Zona Relai *Offset* Mho

3. METODOLOGI

3.1 Langkah Penelitian

Pada jurnal ini terdapat beberapa metode yang diterapkan sebagai dasar metodologi penelitian. Metodologi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Alur penelitian

3.2 Data Peralatan Terpasang

Sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) beroperasi menggunakan dua jenis generator, yaitu generator turbin gas dan generator turbin uap. Kedua jenis generator tersebut termasuk dalam jenis generator berkecepatan tinggi (*turbo generator*), dengan konstruksi rotor silindris. Studi kasus ini membahas mengenai analisa penerapan sistem pengaman hilang eksitasi pada generator turbin gas tipe WY21Z-092LLT di PLTGU Muara Tawar GT unit 1.3 dengan data teknis antara lain sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data spesifikasi Generator

Daya	210 MVA
Tegangan	16 kV
Arus	7578 A
Jumlah Fasa	3
Frekuensi	50 Hz
Faktor daya	0,8
<i>Transient Reactance</i> (X_d')	0,219 p.u
<i>Synchronous Reactance</i> (X_d)	2,423 p.u

Tabel 3.2 Spesifikasi Transformator

Daya	190 MVA
Tegangan	515 kV
Frekuensi	50 Hz
CT Ratio	8000/1 A
VT Ratio	$(\frac{16}{\sqrt{3}})/(\frac{0.11}{\sqrt{3}})$ kV

3.3 Teknik Analisa

Data yang telah diperoleh merupakan data-data spesifikasi peralatan yang berbentuk angka-angka, sehingga untuk mengolahnya menggunakan metode kuantitatif yang menggunakan rumus-rumus tertentu. Rumus-rumus tersebut adalah rumus untuk mencari settingan impedansi dari daerah kerja relai hilang eksitasi pada generator di PLTGU Muara Tawar GT unit 1.3. Rumus-rumus yang digunakan mengacu pada *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Std C37.102.2006 AC Generator Protection (IEEE) guide for AC Generator Protection C37.102-2006*, proteksi generator ABB Network REG 216, serta

jurnal-jurnal yang terkait. Rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Relai Reaktansi Minimum

Pada relai reaktansi minimum untuk menentukan parameter setting gangguan eksitasi, nilai dari XA dan XB berdasarkan tegangan fasa-netral atau fasa-fasa dapat dihitung sebagai berikut :

- Menentukan nilai ratio sekunder dari CT dan PT :

$$R_c = K_u = \frac{UN_1}{\frac{\sqrt{3}}{UN_2}}$$

$$R_v = K_i = \frac{IN_1}{IN_2}$$

- Menentukan nilai reaktansi primer relay hilang eksitasi :

$$X_A = X_d \times \frac{U_{GN}}{\sqrt{3} \times I_{GN}} \times \frac{K_i}{K_u} \sqrt{3}$$

$$X_B = \frac{X_d'}{2} \times \frac{U_{GN}}{\sqrt{3} \times I_{GN}} \times \frac{K_i}{K_u} \sqrt{3}$$

- Nilai reaktansi sekunder relai berdasarkan nilai U_N dan I_N :

$$X_A\text{-Setting} = -\frac{X_A}{U_N} I_N$$

$$X_B\text{-Setting} = -\frac{X_B}{U_N} I_N$$

Dimana :

U_{GN} : Nilai tegangan generator (Volt)

I_{GN} : Nilai arus generator (Ampere)

X_d : Reaktansi sinkron (Ω atau p.u)

X_d' : Reaktansi *transient* (Ω atau p.u)

R_c : Rasio *current* transformator

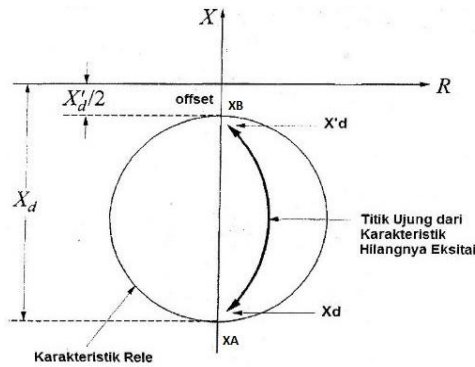
R_v : Ratio *potensial* transformator

UN_1, UN_2 : Tegangan primer dan sekunder potensial transformator

IN_1, IN_2 : Arus primer dan sekunder current transformator

XA- Setting : Setting reaktansi sinkron batas bawah

XB- Setting : Setting reaktansi sinkron batas atas



Gambar 3.2 Karakteristik daerah kerja relai *minimum reactance* atau /relai mho dengan satu zona

2. Relai Offset Mho

Relai *offset* Mho memiliki skema pengaturan proteksi dengan menggunakan dua unit relai *offset* mho untuk membentuk dua zona proteksi yang berbeda. Tujuan penerapan dua zona tersebut adalah agar sistem pengaman dapat memberikan respons yang berbeda pula terhadap indikasi gangguan generator sinkron hilang eksitasi. Jika nilai impedansi generator masuk pada zona pengaman 2, maka relai tersebut akan memberikan alarm sehingga jika mungkin operator dapat memulihkan suplai eksitasi generator menggunakan sistem eksitasi cadangan. Apabila eksitasi tidak dapat dipulihkan, maka relai pada zona pengaman 1 akan merespons dan kemudian memberikan perintah untuk menutup katup aliran gas ke turbin sebelum membuka sakelar pemutus tenaga generator (*circuit breaker*). Kedua zona pengaman digeser (*offset*) sebesar $0.5 X'd$ pada titik sumbu, dengan tujuan untuk menghindari kesalahan operasi sistem pengaman terhadap gangguan lain seperti gangguan hubung singkat ataupun gangguan hilang sinkronisasi yang cukup lama. $X'd$ merupakan nilai reaktansi generator sinkron saat kondisi peralihan (*transient*).

- Penyettingan Nilai *Offset* dan Nilai Diameter.

Nilai *offset* adalah jarak antara busur lingkaran daerah kerja relai yang memotong sumbu X terhadap titik (0;0) diagram R-X. Sedangkan untuk nilai Z_b adalah diameter lingkaran dari daerah kerja relai hilang eksitasi. Adapun rumusnya adalah sebagai berikut :

$$Z_b = \frac{(KV \text{ base})^2}{MVA \text{ base}} \times \frac{CT \text{ Ratio}}{PT \text{ Ratio}}$$

$$Offset = -\frac{X'd}{2} \times Z_b$$

$$\text{Zona -1 Diameter} = Z_b$$

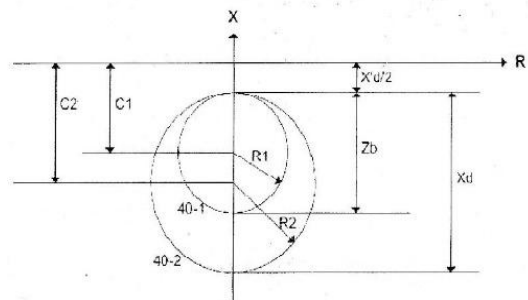
$$\text{Zona -2 Diameter} = Z_b \times X_d$$

Keterangan :

X_d = Reaktansi sinkron (Ω atau p.u)

Z_b = Impedansi dasar (Ω atau p.u)

$X'd$ = Reaktansi *transient* generator (Ω atau p.u)



Gambar 3.3 Daerah kerja relai *offset* mho dengan dua zona pengaman.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan penyetelan relai hilang eksitasi

1. Berdasarkan relai proteksi yang digunakan pada PLTGU Muara Tawar GT Unit 1.3 yaitu REG 216

- Berdasarkan spesifikasi relai dan nilai I_L, V maka dihasilkan: Ratio CT dan PT

$$R_c = K_i = \frac{IN1}{\frac{IN2}{UN1}} = \frac{8000 A}{1 A} = 8000$$

$$R_v = K_u = \frac{\frac{\sqrt{3}}{UN2}}{\frac{\sqrt{3}}{UN1}} = \frac{UN1}{UN2} = \frac{16000 V}{110 V}$$

$$= 145,45$$

- Menentukan nilai reaktansi primer relay hilang eksitasi :

$$X_A = X_d \times \frac{U_{GN}}{\sqrt{3} \times I_{GN}} \times \frac{K_i}{K_u} \sqrt{3}$$

$$= 2,419 \text{ p.u} \times \frac{16000 V}{7578 A} \times \frac{8000}{145,45}$$

$$= 281,381 \Omega$$

$$X_B = \frac{X_d'}{2} \times \frac{U_{GN}}{\sqrt{3} \times I_{GN}} \times \frac{K_i}{K_u} \sqrt{3}$$

$$= \frac{0,219}{2} \times \frac{16000}{7578} \times \frac{8000}{145,45}$$

$$= 12,716 \Omega$$

- Nilai reaktansi sekunder relai berdasarkan nilai U_N dan I_N :

XA-Setting

$$= -\frac{X_A}{U_N} I_N$$

$$= -\frac{281,381}{110} \times 1$$

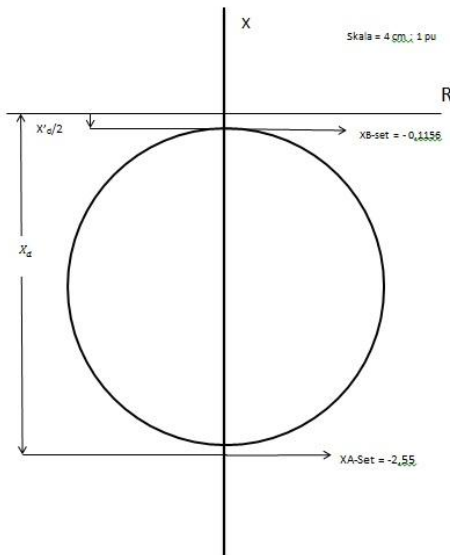
$$= -2,55 \text{ pu}$$

XB-Setting (offset)

$$= -\frac{X_B}{U_N} I_N$$

$$= -\frac{12,716}{110} \times 1$$

$$= -0,1156 \text{ pu}$$



Gambar 4.1 Daerah kerja relai reaktansi minimum

2. Menggunakan *negative offset* mho berdasarkan metode *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Std C37.102.2006 AC Generator Protection*.

Perhitungan nilai Tegangan, Arus, dan Impedansi basis relai

$$CT \text{ Ratio } (R_C) = 8000/1 \text{ A} = 8000$$

$$VT \text{ Ratio } (R_V) = \left(\frac{16}{\sqrt{3}}\right) / \left(\frac{0,11}{\sqrt{3}}\right) = 145,45$$

Tegangan basis relai (V_{L-N})

$$= \frac{V_{L-N}}{R_V} = \frac{16 \times 10^3 \text{ V}}{\sqrt{3} \times 145,45 \text{ V}}$$

$$= 63,51 \text{ V}$$

Arus basis relai (I_b)

$$= \frac{I_G}{R_C} = \frac{7578 \text{ A}}{8000 \text{ A}} = 0,947 \text{ A}$$

Impedansi basis relai (Z_b)

$$= \frac{V_{L-N}}{I_b} = \frac{63,51 \text{ V}}{0,947 \text{ A}} = 67,064 \Omega$$

Setting relai 40-1 (Zone -1) :

$$\text{Diameter : } Z_b = 1 \text{ p.u} \times 67,064 \Omega$$

$$= 67,064 \Omega \text{ atau } 1 \text{ p.u}$$

$$\text{Offset: } -\frac{X'd}{2} \times Z_b$$

$$= -\frac{0,219 \text{ p.u}}{2} \times 67,064 \Omega$$

$$= -7,343 \Omega \text{ atau } -0,109 \text{ p.u}$$

$$C1 : (Z_b + X'd)/2$$

$$= (67,064 \Omega + 14,686 \Omega)/2$$

$$= 40,875 \Omega \text{ atau } 0,6094 \text{ p.u}$$

$$R1 : \frac{Z_b}{2} = 67,064 \Omega / 2$$

$$= 33,532 \Omega \text{ atau } 0,5 \text{ p.u}$$

Time delay : 0,1 detik (berdasarkan metode *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Std C37.102-2006 AC Generator Protection*, waktu penundaan yang disarankan untuk mencegah kehilangan operasi selama perpindahan *transient*).

Setting relai 40-2 (Zone -2) :

$$\text{Diameter : } Z_b \times X_d$$

$$= 67,064 \times 2,423 \text{ pu}$$

$$= 162,49 \Omega \text{ atau } 2,423 \text{ p.u}$$

$$\text{Offset : } -\frac{X'd}{2} \times Z_b$$

$$= -\frac{0,219 \text{ p.u}}{2} \times 67,064 \Omega$$

$$= -7,343 \Omega \text{ atau } -0,109 \text{ p.u}$$

$$C2 : (X_d + X'd)/2$$

$$= (162,49 \Omega + 14,686 \Omega)/2$$

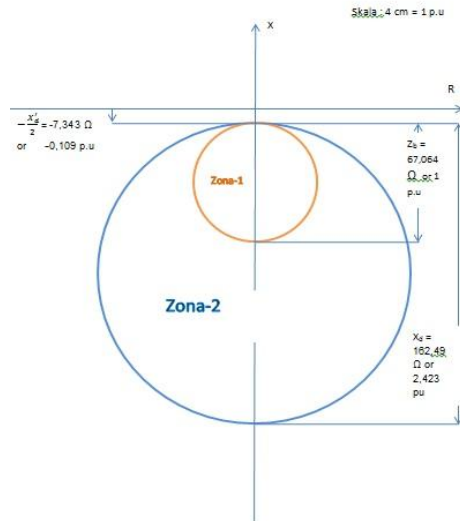
$$= 88,588 \Omega \text{ atau } 1,321 \text{ p.u}$$

$$R2 : X_d/2$$

$$= 162,49 \Omega / 2$$

$$= 81,245 \Omega \text{ atau } 1,211 \text{ p.u}$$

Time delay : 0,5 detik (berdasarkan metode *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Std C37.102-2006 AC Generator Protection*, waktu penundaan yang disarankan untuk mencegah kehilangan operasi selama kondisi ayunan daya).



Gambar 4.1 Daerah kerja relai offset mho dengan dua zona

4.2 Analisa Hasil Penyetelan Relai Hilangnya Eksitasi

Dalam menganalisa hasil penyetelan relai hilangnya eksitasi dilakukan dengan cara membandingkan data penyetelan relai yang terpasang pada PLTGU GT unit 1.3 Muara Tawar dengan hasil perhitungan penyetelan yang dilakukan dengan menggunakan metode *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Std C37.102-2006 AC Generator Protection*, yaitu :

1. Relai hilang eksitasi yang terpasang pada unit PLTGU GT 1.3

Tabel 4.1 Perhitungan setting relai hilang eksitasi PLTGU GT unit 1.3 dengan satu zona

Zona Operasi Relai	Setting	Kegagalan eksitasi	Kegagalan eksitasi	Waktu tunda
XB (reaktansi sinkron batas atas)	Offset ($X'_d/2$)	12,716 (ohm)	-0,1156 (p.u)	0,50 detik
XA (reaktansi sinkron batas bawah)	X_d	281,381 (ohm)	-2,55 (p.u)	0,50 detik

Tabel 4.2 Data setting relai hilang eksitasi terpasang PLTGU GT unit 1.3 dengan satu zona

Zona Operasi Relai	Setting	Kegagalan eksitasi	Min	Max
XB (reaktansi sinkron batas atas)	Offset ($X'_d/2$)	-0,50 (p.u)	-2,50 (p.u)	+2,50 (p.u)
XA (reaktansi sinkron batas bawah)	X_d	-2,00 (p.u)	-5,00 (p.u)	00,00 (pu)
Waktu tunda	Delay	0,50 (detik)	0,20 (detik)	60,00 (detik)

2. Relai hilang eksitasi (Relai *Offset Mho*) berdasarkan metode *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Std C37.102-2006 AC Generator Protection*

Tabel 4.3 Perhitungan penyetelan relai hilang eksitasi dengan menggunakan metode *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Std C37.102-2006 AC Generator Protection*

Zona Operasi Relai	Setting	Kegagalan eksitasi	Kegagalan eksitasi
40.1 (Zona-1)	$-X'_d/2$ (ohm)	-7,343 (ohm)	-0,109 (p.u)
	Z_b (ohm)	67,064 (ohm)	1 (p.u)
	Waktu tunda (detik)	0,1 detik	
40.2 (Zona-2)	$-X'_d/2$ (ohm)	-7,343 (ohm)	-0,109 (p.u)
	X_d (ohm)	162,49 (ohm)	2,423 (p.u)
	Waktu tunda (detik)	0,5 detik	

Dari hasil perhitungan penyetelan hilangnya eksitasi berdasarkan metode *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Std C37.102-2006 AC Generator Protection* dan data setting relai hilangnya eksitasi generator sinkron di PLTGU Muara Tawar GT unit 1.3 terdapat perbedaan dalam menentukan nilai setting relai hilang eksitasi. Pada metode *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Std C37.102-2006 AC Generator Protection*, proteksi hilang eksitasi menggunakan dua zona operasi yaitu pada zona 1 dimana zona ini melindungi kondisi generator ketika eksitasi sudah tidak bisa dipulihkan sehingga relai akan merespon dan kemudian memberikan perintah untuk menutup katup aliran gas ke turbin sebelum membuka saklar pemutus tenaga generator (*circuit breaker*). Kemudian pada zona 2, jika nilai impedansi generator masuk pada zona pengaman 2, maka relai tersebut akan memberikan alarm sehingga jika mungkin operator dapat memulihkan suplai eksitasi generator menggunakan sistem eksitasi

cadangan. Sedangkan pada setting relai hilang eksitasi yang digunakan di PLTGU GT unit 1.3 Muara Tawar bekerja dengan satu zona pengaman yang dibatasi dengan nilai XA-setting (batas setting reaktansi sinkron batas bawah) dan nilai XB-setting (batas setting reaktansi sinkron batas atas/ offset). Dari hasil perhitungan nilai relai hilang eksitasi dengan data seting yang terpasang pada PLTGU Muara Tawar GT unit 1.3 diharapkan dengan nilai perhitungan tersebut telah mencukupi untuk mendeteksi adanya gangguan hilang eksitasi pada generator sinkron.

Berikut ini tabel perbandingan antara data setting relai hilang eksitasi terpasang PLTGU GT unit 1.3 dengan data setting relai hilang ekistasi dengan satu zona berdasarkan hasil perhitungan yang digunakan di PLTGU Muara Tawar GT unit 1.3 dan perhitungan penyetelan relai hilang eksitasi dengan dua zona menggunakan metode *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Std C37.102-2006 AC Generator Protection*.

Tabel 4.4 Perbandingan hasil perhitungan nilai relai hilang eksitasi dengan data seting yang terpasang pada PLTGU Muara Tawar GT unit 1.3

Data setting relai terpasang di PLTGU Muara Tawar GT unit 1.3	Data setting relai berdasarkan hasil perhitungan yang digunakan di PLTGU Muara Tawar GT unit 1.3	Data setting relai berdasarkan hasil perhitungan berdasarkan metode IEEE Std C37.102-2006
XB-setting (offset) = -0,50 p.u	XB-setting (offset) = 12,716 ohm = -0,1156 p.u	Zona 1 Offset = -7,343 ohm = -0,109 p.u
		Zona 1 Diameter lingkaran (Z_b) = 67,064 (ohm) = 1 (p.u)
Waktu tunda = 0,50 detik	Waktu tunda = 0,50 Detik	Waktu tunda = 0,1 detik
XA-setting (X_d) = -2,00 p.u	XA-setting (X_d) = 281,381 ohm = -2,55 p.u	Zona 2 Offset = -7,343 ohm = -0,109 p.u
		Zona 2 Diameter lingkaran (X_d) = 162,49 ohm = 2,423 p.u
Waktu tunda= 0,50 detik	Waktu tunda= 0,50 detik	Waktu tunda= 0,5 detik

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang analisa proteksi gangguan hilang eksitasi pada generator sinkron di PLTGU Muara Tawar GT unit 1.3 yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut

1. Pada PLTGU Muara Tawar GT unit 1.3 untuk proteksi terhadap gangguan hilang eksitasi menggunakan relai *minimum reactance* dengan menggunakan satu zona proteksi dengan tipe REG 216 produksi ABB Network Partner Ltd.
2. Penggunaan relai *minimum reactance* dengan tipe REG 216 sebagai proteksi terhadap gangguan hilang eksitasi pada generator sinkron dengan setting untuk nilai XB-setting (batas setting reaktansi sinkron batas atas) adalah 12,716 ohm atau -0,1156 p.u dengan waktu tunda 0,5 detik kemudian nilai XA-setting (batas setting reaktansi sinkron batas bawah) adalah -2,55 p.u dengan waktu tunda 0,5 detik telah mencukupi untuk mendeteksi adanya gangguan hilang eksitasi pada generator baik gangguan berupa penurunan GGL tanpa disertai slip maupun untuk penurunan GGL yang disertai dengan slip.
3. Berdasarkan perhitungan nilai setting relai hilang eksitasi dengan metode *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Std C37.102-2006 AC Generator Protection* yang menggunakan relai *offset mho* dengan dua zona proteksi yaitu untuk zona 1, nilai offset adalah -7,343 ohm atau -0,109 p.u dengan waktu tunda 0,1 detik, diameternya (Z_b) adalah 67,064 ohm atau 1 p.u dengan waktu tunda 0,5 detik, kemudian untuk zona 2, (X_d) adalah 162,49 ohm atau 2,423 p.u dengan waktu tunda 0,5 detik dan nilai offset adalah -7,343 ohm atau -0,109 p.u dengan waktu tunda 0,1 detik telah mampu mendeteksi adanya gangguan hilang eksitasi pada generator sinkron.

4. Jika lintasan impedansi generator saat terjadi gangguan memasuki nilai setting relai maka dianggap relai tersebut telah mampu mendeteksi adanya gangguan hilang eksitasi baik penurunan gaya gerak listrik tanpa disertai slip dengan lintasan impedansi berhenti pada nilai yang sama dengan reaktansi sinkron (X_d) maupun gangguan penurunan gaya gerak listrik disertai slip dengan lintasan impedansi berhenti pada nilai diantara reaktansi sinkron (X_d) dan 0,5 reaktansi transient (X_d') generator.

REFERENSI

- Anonim. (2006). *AC Generator Protection Guide Working Group*, IEEE Guide For AC Generator Protection Std C37.102-2006: New York.
- Wirawan, Albertus Chrisdian Ranggi. (2013). *Relai Offset Mho sebagai Pengaman Generator Sinkron Terhadap Gangguan Hilang Penguat Dengan Studi Kasus Generator Sinkron Turbin Uap Di PLTGU Tanjung Priok*. Skripsi. Sekolah Tinggi Teknik PLN. Jakarta
- Pandiangan, Antonius. (2011). *Studi Koordinasi Relai Proteksi Pada Generator Sinkron Untuk Mendeteksi Hilangnya Arus Penguatan*. Skripsi. Sekolah Tinggi Teknik PLN. Jakarta
- Anonim. (2008). "Generator Protection and Relay Setting Calculations". Beckwith Electric Co., Inc., Florida.
- Kadir, Abdul. (1999). *Mesin Sinkron*. Djambatan. Jakarta.
- Marsudi, Djiteng. (2011). *Pembangkitan Energi Listrik* (Edisi 2). Graha Ilmu. Jakarta.
- Tua, Ronal. (2012). *Koordinasi antara Sistem Proteksi Dengan Sistem Pengaturan Eksitasi Genertaor Sinkron Untuk Mencapai Operasi Kestabilan Operasi*. Skripsi. Sekolah Tinggi Teknik PLN. Jakarta.