

**LEMBAR PENGESAHAN I  
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KERJA RELE HILANG MEDAN (*LOSS OF FIELD*) SEBAGAI  
PROTEKSI HILANG PENGUATAN GENERATOR UNIT III DI PLTA IR.  
H. DJUANDA JATILUHUR**

Disusun Oleh:

**ANGELIA HERTARI PERMATA WIDAYAT**


**20140120018**

Memeriksa dan Mengetahui,

Dosen Pembimbing I



Dosen Pembimbing II

  
**Dr. Ramadoni Syahputra, S.T., M.T.**  
NIK. 19741010201010123056

  
**Ir. Slamet Suropto, S.T., M. Eng**  
NIK. 19611118199209123010

Menyetujui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro

  
  
**Dr. Ramadoni Syahputra, S.T., M.T.**  
NIK. 19741010201010123056

# Analisis Kerja Rele Hilang Medan (*Loss Of Field*) Sebagai Proteksi Hilang Penguatan Generator Unit III di PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur

(*Analysis of Loss of Field Relay Works a Loss of Excitation Protection on Generator Unit 3 at Ir. H. Djuanda Jatiluhur Hydro Power Plant*)

Oleh:  
Angelia Hertari Permata Widayat  
20140120018  
Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
2018

---

## ABSTRAK

Gangguan hilang penguatan dapat terjadi akibat kesalahan sistem pada AVR karena tidak adanya arus searah di penguat pilot yang mengalir ke penguat utama untuk melalui proses menjadi arus penguatan bagi generator utama. Untuk mengatasi gangguan tersebut, dipasang rele hilang penguat medan (*loss of field*) untuk mendeteksi turunnya nilai impedansi melalui CT ratio dan PT ratio. Tugas akhir ini akan dilakukan analisis perhitungan reaktansi sinkron sekunder ( $X_d$ ) sebagai nilai lingkaran impedansi dengan Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay SEL 700G tahun 2012 sebagai standar perhitungan. Hasil perhitungan akan dibandingkan dengan data setting untuk melakukan analisis kelayakan kerja rele *loss of field*. Hasil perbandingannya adalah hasil perhitungan mendapatkan nilai reaktansi sinkron sekunder ( $X_d$ ) sebesar 12,6  $\Omega$  sedangkan pada data setting sebesar 12,5  $\Omega$ . Hasil perbandingan tersebut memiliki selisih 0,1  $\Omega$ , atau jika diprosentasekan menjadi 0,8 % masih memenuhi standar akurasi yaitu  $\pm 5$  %. Hal ini menunjukkan bahwa nilai perhitungan masih dapat digunakan untuk dapat beroperasi dan rele *loss of field* masih layak untuk memproteksi daerah kerja rele yang ditentukan.

Kata Kunci: *Loss of Field*, Reaktansi Sinkron Sekunder, Impedansi, Arus Penguatan.

## ABSTRACT

*Loss of field failure may occur because error AVR system cause doesn't have direct current (DC) on pilot exciter which flowing to main exciter for being excitation current process on the main generator. To overcome the occurrence of such disturbances it is necessary that there is a loss of field relay protection to detect the decrease of impedance value through CT ratio and PT ratio. This research will do the calculation analysis of secondary synchronous reactance ( $X_d$ ) a impedance circle value with Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay SEL 700G in 2012 as the calculation standard reference. The calculation results will be compared with setting data to doing analysis of eligibility of loss of field relay works. The comparative results data are the calculation results get a secondary synchronous reactance ( $X_d$ ) value 12,6  $\Omega$  while in the setting data 12,5  $\Omega$ . The comparative results have a difference value 0,1  $\Omega$ , or if converted to percent is 0,8% still meets the standard accuracy of  $\pm 5$ %. This indicates that the calculated value can still be used to operate and loss of field relay is still eligibility to protect the specified working area of the relay.*

Keywords: *Loss of Field*, Secondary Synchronous Reactance, Impedance, Excitation Current.

## PENDAHULUAN

Gangguan hilang penguatan dapat terjadi akibat kesalahan kontrol pada system AVR (*Automatic Voltage Regulator*) yang menyebabkan arus penguat di penguat utama tidak mengalir menuju generator utama. Hal ini dikarenakan AVR tidak dapat melalui proses perubahan tegangan AC menjadi tegangan DC sebagai arus penguat serta tidak dapat mengatur besar arus penguat yang akan dialirkan menuju generator utama. Untuk

mengatasi gangguan hilang penguat medan maka diperlukan rele proteksi hilang penguat medan (*loss of field*) sebagai pendeteksi adanya nilai impedansi yang menurun.

Tercatat dalam laporan gangguan hilang penguat PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur bahwa dalam kurun waktu 1 tahun tepatnya 5 Oktober 2017 terjadi 3 kali gangguan hilang penguat (eksitasi) akibat kesalahan sistem AVR. Kejadian ini perlu diketahui bahwa rele hilang penguat (*loss of field*) masih layak untuk memproteksi daerah kerja yang ditentukan dan sudah sesuai dengan *Instruction Manual of*

*Generator and Intertie Protection Relay SEL 700G* tahun 2012.

Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung nilai *setting* dan daerah kerja rele hilang medan (*loss of field*) yang dibutuhkan, kemudian akan dibandingkan dengan data *setting* rele hilang medan (*loss of field*) yang digunakan untuk dilakukan analisis kelayakan kerja hilang medan (*loss of field*) di PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur.

Standar perhitungan *setting* rele hilang medan (*loss of field*) yang digunakan mengacu pada *Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay* tahun 2012 pada bagian *Protection and Logic Functions, Group Settings (SET Command) SEL 700G Relay* yang sudah memenuhi standar ANSI/IEEE Std 1547-2003.

## LANDASAN TEORI

### 1. Gangguan Hilang Penguat Generator

Gangguan hilang penguat generator merupakan kondisi tidak normal dimana operasi sistem tenaga generator tidak mendapatkan suplai arus searah (DC) sebagai arus penguatan (eksitasi) agar dihasilkan tegangan keluaran pada terminal stator. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu:

- Arus penguatan medan rendah atau sama dengan nol.
- Arus penguatan medan terlalu tinggi.
- Kehilangan suplai tegangan dan arus ke penguat utama.
- Kehilangan suplai daya ke sistem eksitasi.
- Kontak sikat / arang yang usang.
- Jatuhnya (*Tripping*) sakelar penguat medan.
- Hubung singkat belitan medan (timbul percikan api pada *slip ring* generator).
- Hubung buka belitan medan.

### 2. Pengaruh Hilang Penguat Pada Generator Sinkron

Apabila arus penguat tidak mengalir ke kumparan medan rotor maka generator menyerap daya reaktif sebagai sumber penguatan generator sehingga medan magnet di kumparan medan rotor akan menghilang. Pada kumparan jangkar

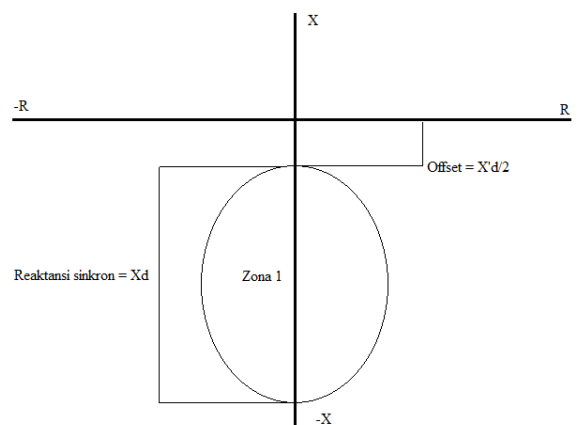
(stator) akan timbul medan magnet yang disebabkan oleh adanya arus yang mengalir dipenghantar jangkar yang disebut arus jangkar. Medan magnet pada kumparan jangkar ini dalam reaksi jangkar disebut fluks medan jangkar ( $\Phi_A$ ) yang akan melawan fluks medan utama ( $\Phi_F$ ) di kumparan medan rotor.

Semakin besar daya reaktif yang diserap generator maka medan magnet pada stator akan meningkat sehingga kecepatan putar generator akan meningkat diatas kecepatan sinkron. Kecepatan putar generator meningkat menyebabkan gaya gesek mesin-mesin generator juga meningkat. Hal ini menyebabkan arus pada stator meningkat dan temperatur pada stator dan rotor juga meningkat. Sesuai dengan karakteristiknya yaitu arus pada rotor berbanding lurus dengan suhu stator.

### 3. Rele Hilang Medan (*Loss of Field*)

Rele hilang medan (*loss of field*) bekerja dengan mendeteksi adanya penurunan nilai impedansi pada terminal stator akibat dari arus penguat hilang yaitu tegangan terminal menurun dan arus stator mulai meningkat. Rele hilang medan dibagi menjadi dua macam jenis penentuan perhitungan *setting* daerah kerja yaitu:

- Perhitungan pendeteksi nilai impedansi dengan 1 (satu) zona



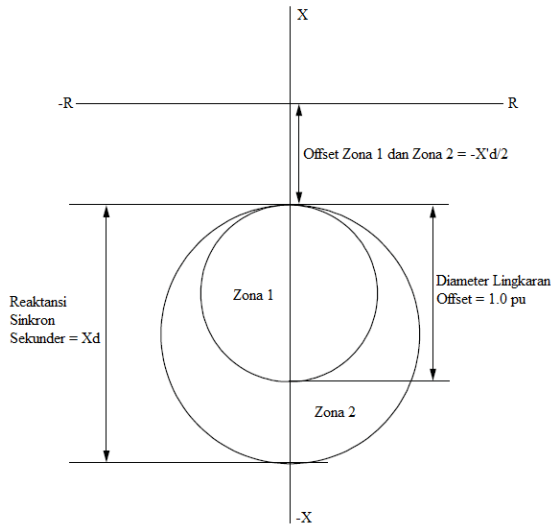
**Gambar 1** Karakteristik Rele Hilang Medan (*Loss Of Field*) Dengan Satu Zona Lingkaran Impedansi

- Perhitungan pendekteksi nilai impedansi dengan 2 (dua) zona

Perhitungan pendekteksi nilai impedansi dengan dua zona terbagi

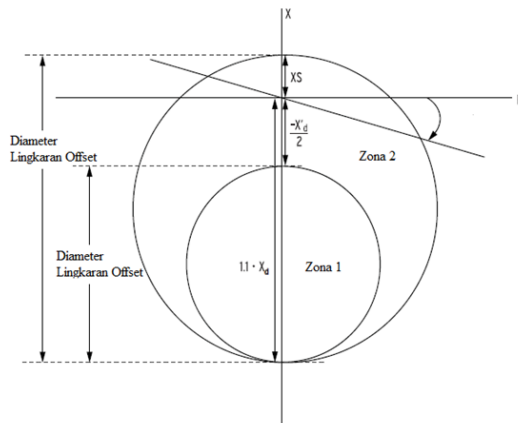
menjadi dua jenis berdasarkan *Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay* tahun 2012 yaitu:

1) *Offset zona dua negatif*



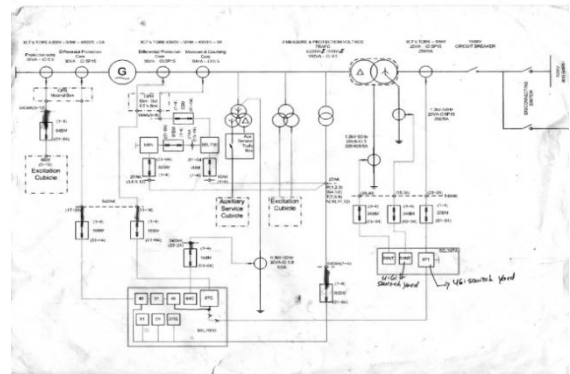
**Gambar 2** Karakteristik Rele Hilang Medan (*Loss Of Field*) Dengan Offset Zona Dua Negatif

2) *Offset zona dua positif*



**Gambar 3** Karakteristik Rele Hilang Medan (*Loss of Field*) Dengan Offset Zona Dua Positif

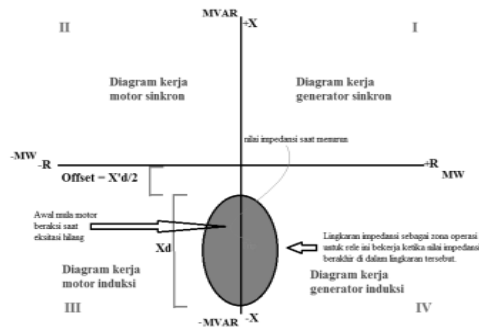
4. *Cara Kerja Rele Hilang Medan (Loss of Field)*



**Gambar 4** Single Line Diagram Proteksi PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur

Berdasarkan gambar diatas menggambarkan posisi rele hilang medan diletakkan. Rele diletakkan pada bagian sistem sebelum arus penguat memasuki generator utama. Dalam gambar terlihat rele hilang penguat medan (*loss of field*) kode ANSI 40 menjadi satu dengan rele yang lainnya karena jenis rele SEL 700G adalah *multifunction relay*. Rele ini mendeteksi adanya nilai impedansi yang turun dengan mendapatkan nilai keluaran arus dari trafo arus (CT) dan nilai keluaran tegangan dari trafo tegangan (PT) melalui busbar yang saling berkoordinasi dengan rele tersebut.

Rele ini bekerja berdasarkan besarnya daya reaktif yang diserap sistem dengan mengukur impedansi kapasitif pada kumparan stator generator yang terjadi di kuadran III dan IV karena generator bekerja berubah fungsi menjadi generator induksi yang bekerja pada beban *leading* terletak pada diagram R-(-X), dalam keadaan hilang penguatan impedansi kumparan stator akan terdeteksi lebih kecil dari impedansi awal dan rele ini akan bekerja. Semakin besar daya reaktif yang diserap, maka akan semakin kecil pula impedansi yang timbul dan menyebabkan rele ini bekerja memerintahkan membuka *field breaker* untuk lepas sinkron dari sistem guna meminimalkan kerusakan dalam medan rotor.



**Gambar 5** Diagram Kerja Motor, Generator, dan Rele Hilang Medan (*Loss of Field*)

Rele ini memiliki lingkaran impedansi berupa nilai dari reaktansi sinkron yang merupakan daerah kerja rele. Lingkaran impedansi berfungsi untuk memproteksi gangguan generator sinkron terhadap perubahan sifat kinerja generator sinkron menjadi motor induksi/generator induksi ketika nilai impedansi menurun.

Ketika gangguan terjadi, generator menarik daya reaktif dari sistem digunakan sebagai sumber penguatan/eksitasi akibatnya nilai impedansi di bidang R-X menurun dan bergerak menuju lingkaran impedansi pada kuadran IV (-X) dan titik akhir berada di kisaran antara reaktansi transien dan reaktansi sinkron sekunder, apabila nilai impedansi ini memasuki di dalam lingkaran impedansi tersebut maka dapat dikatakan rele bekerja dan akan memerintahkan untuk *trip* guna memproteksi generator dari bahaya gangguan lainnya berupa *over speed*, *over current*, dan *under voltage*.

### 5. *Setting Rele Hilang Medan (Loss of Field)*

Untuk menentukan *setting* rele ini yaitu dengan cara menentukan lingkaran impedansi yang berfungsi sebagai daerah kerja rele dengan nilai sama dengan reaktansi sinkron sekunder ( $X_d$ ) dan daerah *offset* dengan nilai sama dengan setengah dari reaktansi sinkron transien ( $X'd/2$ ). Lingkaran impedansi ini adalah zona operasi untuk rele hilang medan bekerja ketika nilai impedansi menurun.

Rumus Perhitungan:

- a. Menentukan  $Z_{base}$  primer dan sekunder:

$$Z_{base\ primer} = \frac{V^2}{S}$$

$$Z_{base\ sekunder} = \frac{Z_{base\ primer} \times CT\ Ratio}{PT\ Ratio}$$

- b. Menentukan reaktansi sementara sekunder:

$$X'_{d\ sekunder} = X'_{d\ primer} \times Z_{base\ sekunder}$$

- c. Menentukan besaran *offset* dari *setting* rele:

$$offset_{\text{sekunder}} = \frac{X'_{d\ sekunder}}{2}$$

- d. Menentukan reaktansi sinkron sekunder:

$$X_{d\ sekunder} = X_{d\ primer} \times Z_{base\ sekunder}$$

Dimana:

- V : Tegangan generator (V)
- S : Daya semu (Mvar)
- $Z_{base\ primer}$  : Impedansi dasar mesin primer ( $\Omega$ )
- $Z_{base\ sekunder}$  : Impedansi dasar mesin sekunder ( $\Omega$ )
- $X'_{d\ sekunder}$  : Reaktansi sementara sekunder ( $\Omega$ )
- $X'_{d\ primer}$  : Reaktansi sementara primer (per unit)
- $X_{d\ sekunder}$  : Reaktansi sinkron sekunder ( $\Omega$ )
- $X_{d\ primer}$  : Reaktansi sinkron primer ( $\Omega$ )
- $Offset_{\text{sekunder}}$  : *Offset* sekunder ( $\Omega$ )

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. *Analisis Perhitungan Nilai Setting Rele Hilang Medan (Loss of Field)*

Data *setting* rele hilang medan (*loss of field*) :

$$\emptyset \text{ (Lingkaran Impedansi)} = 12,5 \Omega$$

$$T \text{ (Time Delay)} = 1,2 \text{ s}$$

Data yang digunakan untuk perhitungan:

**Tabel 1** Data Generator Unit III PLTA Ir. H. Djuanda

Parameter	Nilai
Impedansi	$(X'd) = 0,37 \text{ pu}$
	$(Xd) = 1,0 \text{ pu}$
Daya semu	35 MVA
Tegangan	6,3 kV = 6300 V
(CT Ratio)	3500 : 5 A = 700 : 1
(PT Ratio)	6300 : 100 V = 63 : 1

Perhitungan penelitian menggunakan karakteristik dengan zona dua *offset* negatif. Setelah dilakukan perhitungan secara manual, mendapatkan nilai  $X_d$  atau lingkaran impedansi ( $\emptyset$ ) 12,6  $\Omega$ , nilai *offset* -2,33  $\Omega$ , dan nilai diameter *offset* 1,04  $\Omega$ .

Nilai  $X_d = 12,6 \Omega$  dibandingkan dengan nilai *setting* PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur memiliki selisih nilai 0,1  $\Omega$ . Dari hasil perhitungan mendapatkan nilai lebih besar dari nilai data *setting* dengan prosentase selisih sebesar 0,8%. Nilai tersebut masih memenuhi standar akurasi *Loss of field Relay SEL 700G* yang mempunyai akurasi sebesar  $\pm 5\%$ , sehingga hasil perhitungan masih layak dan dapat diterapkan untuk rele hilang penguat (*loss of field*) serta dapat bekerja jika terjadi gangguan hilang penguat medan pada generator.

PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur hanya menggunakan *setting* dengan satu zona lingkaran impedansi yaitu 12,5  $\Omega$ , namun jika disesuaikan dengan *Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay tahun 2012* pada bagian *Protection and Logic Functions, Group Settings (SET Command) SEL 700G Relay* dapat disesuaikan menggunakan perhitungan karakteristik dengan zona dua negatif yang daerah kerja rele *loss of field* membutuhkan parameter  $X_d$ , *offset*, dan diameter *offset*.

Nilai *offset* bernilai negatif karena penentuan daerah kerja rele ada dikuadran III dan IV yang merupakan kemampuan generator/motor induksi bekerja. *Offset* berfungsi untuk menentukan nilai batas awal lingkaran nilai  $X_d$  dan diameter *offset*. Sedangkan diameter *offset* merupakan nilai zona satu yang berfungsi ketika beban puncak 100%, nilai impedansi bernilai sedikit dan seketika nilai impedansi turun menuju zona satu dan sistem seketika *trip* tanpa waktu tunda.

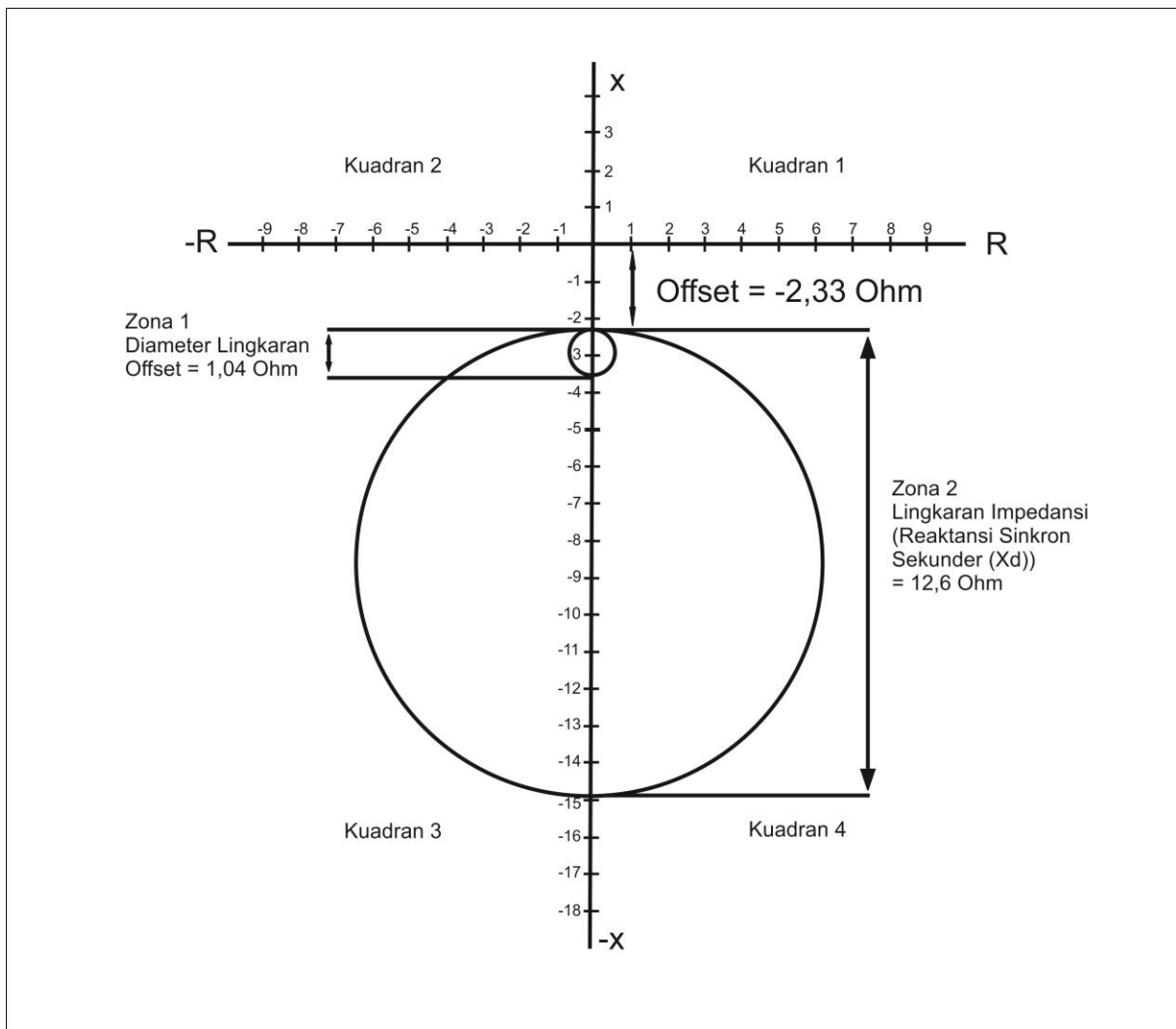
## 2. Analisis Daerah Kerja Rele Berdasarkan Perhitungan Nilai *Setting* Rele Hilang Medan (*Loss of Field*)

Untuk menentukan letak parameter agar membentuk daerah kerja rele hilang medan (*loss of field*) berada pada kuadran III dan IV. Cara menentukan penempatan parameter *setting* (*offset*, diameter *offset*, dan  $X_d$ ) yang terhitung secara rinci sebagai berikut:

- Tentukan letak nilai *offset* di sumbu - X yang terletak di kuadran III dan IV, karena nilai *offset* bernilai -2,33  $\Omega$  maka titik -2,33  $\Omega$  ditentukan sebagai batas awal untuk garis lingkaran diameter *offset* zona 1 dan lingkaran impedansi zona 2.
- Nilai diameter *offset* adalah 1,04  $\Omega$  maka nilai -2,33  $\Omega$  ditambahkan dengan 1,04  $\Omega$  sebagai batas akhir garis lingkaran diameter *offset*. Jadi, garis lingkaran awal diameter *offset* pada titik -2,33  $\Omega$  dan garis akhir lingkaran diameter *offset* di titik -3,37  $\Omega$ .
- Nilai lingkaran impedansi zona 2 sama dengan nilai reaktansi sinkron sekunder ( $X_d$ ) yaitu 12,6  $\Omega$ . Penentuan titik akhir lingkaran impedansi dari hasil penjumlahan antara titik akhir *offset* 2,33  $\Omega$  dan nilai reaktansi sinkron sekunder ( $X_d$ ) 12,6  $\Omega$ . Jadi, garis awal lingkaran impedansi pada titik -2,33  $\Omega$  dan garis akhir lingkaran impedansi di titik 14,93  $\Omega$ .



Gambar grafik daerah kerja rele hilang penguat medan (*loss of field*) akan terlihat seperti gambar dibawah ini:



**Gambar 6** Grafik Karakteristik Rele Hilang Medan (*Loss of Field*) Offset Zona 2 Negatif Berdasar Perhitungan

*Offset* berfungsi untuk menentukan nilai batas awal lingkaran nilai  $X_d$  dan diameter *offset*. Sedangkan diameter *offset* merupakan nilai zona satu yang berfungsi ketika beban puncak 100%, nilai impedansi bernilai sedikit dan seketika nilai impedansi turun menuju zona satu dan sistem seketika *trip* tanpa waktu tunda. Ketika karakteristik beban 50% dan 30% maka nilai impedansi menurun menuju titik sama dengan nilai  $X_d$  yaitu 12,5  $\Omega$  (sesuai data *setting*) dan sistem mengalami waktu tunda selama 1,2 s, setelah itu sistem akan melakukan *trip* guna memisahkan sistem dari gangguan.

Nilai  $X_d$  atau lingkaran impedansi merupakan nilai impedansi maksimal saat

beban penuh dari hasil perkalian nilai reaktansi sekunder primer yaitu 1,0 per unit. Per unit jika diproseskan sama dengan 100%. Maka dari itu, pendeteksian penurunan nilai impedansi sama dengan nilai reaktansi sinkron sekunder.

Ketetapan nilai lingkaran diameter impedansi 12,5  $\Omega$  hingga saat ini masih digunakan untuk nilai setting *loss of field relay* (40) SEL 700G di PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur. Dilihat dari standar range setting yang diatur oleh *Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay* tahun 2012, nilai 12,5  $\Omega$  sudah memasuki standar range setting yang ditentukan yaitu 0,1 – 100  $\Omega$ .

Untuk *time delay* atau waktu tunda pemutusan sistem juga masih menggunakan setting rele lama yaitu 1,2 s. Jika dilihat dari standar range setting yang diatur oleh *Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay SEL 700G* tahun 2012, nilai 1,2 detik sudah memenuhi standar range setting yang ditentukan yaitu 0,00-400,00 s.

Hal ini menunjukkan bahwa rele hilang penguat (*loss of field*) sudah sesuai standar yang ditentukan *Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay SEL 700G* tahun 2012 dan layak untuk memproteksi bagian sistem yang terganggu meskipun nilai *offset* dan diameter *offset* tidak ada di nilai masukan *setting*.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### 1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan setting rele hilang medan (*loss of field*) serta dilakukan perbandingan dengan standar yang digunakan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Dari hasil perhitungan karakteristik *setting* rele terdapat perbedaan antara perhitungan secara manual dengan data *setting*. Pada perhitungan manual mendapatkan nilai *setting* lingkaran impedansi zona 2 sebesar ( $\emptyset$ ) 12,6  $\Omega$  sedangkan pada data *setting* sebesar 12,5  $\Omega$ .
- b. Setelah dibandingkan hasil perhitungan secara manual dengan data *setting* rele *loss of field* yang diterapkan PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur mempunyai selisih 0,1  $\Omega$ , atau jika diprosentasekan sebesar 0,8%. Nilai prosentase selisih 0,8% ini tergolong nilai yang kecil dari standar akurasi  $\pm 5\%$ .
- c. Ditinjau dari standar akurasi rele *loss of field* "*Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay* tahun 2012" SEL 700G, nilai prosentase selisih 0,8% masih memenuhi standar akurasi rele *loss of field* sebesar  $\pm 5\%$  sehingga perhitungan masih dapat digunakan untuk dapat beroperasi dan rele *loss of field* masih layak untuk memproteksi daerah kerja rele yang ditentukan.

### 2. Saran

- 1) Saran untuk PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur
  - a. Dilakukan peninjauan ulang terkait *setting* rele proteksi generator khususnya rele *loss of field* dengan menambahkan nilai *offset* dan zona 1 diameter *offset*, sehingga diharapkan lebih jelas untuk daerah kerja rele *loss of field* dan dapat bekerja lebih akurat.
  - b. Data-data terkait dengan proteksi generator sebaiknya lebih dilengkapi sehingga memudahkan dalam pemeliharaan ataupun pengujian sistem proteksi pada generator.
- 2) Saran untuk penelitian mendatang
  - a. Diharapkan peneliti memiliki data-data lengkap yang diperlukan guna mempermudah perhitungan nilai  $X_m$  pada *setting loss of field relay* sebagai bahan analisis daerah kerja rele *loss of field*.
  - b. Direkomendasikan untuk menambahkan data pengujian rele *loss of field* dan data gangguan pada generator untuk dibandingkan dengan hasil analisis agar mendapat hasil analisis daerah kerja rele *loss of field* lebih detail dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allelectricali. dalam situs. <https://free.facebook.com/allelectricali>, mengenai "*Fictitious Reactance*", diakses pada tanggal 7 Maret 2018 pukul 20.15 WIB
- Andi. dalam artikel. "*Definisi K3, Sistem Kerja K3, Contoh dan Aplikasi K3*" <https://goblognyaandi.wordpress.com/2012/09/06/definisi-k3-sistem-kerja-k3-contoh-dan-aplikasi-k3/>, diakses pada tanggal 26 September 2017 pukul 10.01 AM
- ANSI Standard Device Numbers & Common Acronyms, [www.GEDigitalEnergy.com](http://www.GEDigitalEnergy.com)
- Bandyopadhyay. 2007. *Electrical Machines: Theory And Practice*. Delhi: PHI Learning Private Limited



- Caanggo. dalam artikel. “*Impedansi dan Reaktansi*”  
<http://www.elektronikabersama.web.id/2012/10/impedansi-dan-reaktansi.html> diakses pada tanggal 24 Desember 2017 pukul 12.11 WIB
- Caanggo. dalam artikel. “*Kenapa Ada Bilangan Imajiner Pada Ilmu Listrik?*”  
<http://www.elektronikabersama.web.id/2012/10/kenapa-ada-bilangan-imaginer-pada-ilmu.html> diakses pada tanggal 24 Desember 2017 pukul 13.24 WIB
- Chapman, Stephen J. 2004. “*Electric Machinery Fundamentals*”. 4rd Edition, Mc Graw – Hill Book Company, Australia
- Circuit Globe. dalam artikel. “*Synchronous Reactance and Synchronous Impedance*”  
<https://circuitglobe.com/synchronous-reactance-and-synchronous-impedance/>, diakses pada tanggal 7 Maret 2018 pukul 20.10 WIB
- Divisi PLTA Ir. H. Djuanda. 2013. “*Keputusan Direksi Perusahaan Umum Jasa Tirta II Nomor : 1/211/Kpts/2013 Tentang Organisasi Dan Tata Kerja Perusahaan Umum Jasa Tirta II*”. Purwakarta:Perum Jasa Tirta II
- Dewangga, Angga. dalam artikel. “*Generator Sinkron*”  
<https://anggadewangga.wordpress.com/2011/03/28/generator-sinkron/>, diakses pada tanggal 18 Februari 2018 pukul 09.47 WIB
- Farahat, Ahmed. dalam artikel. “*Altenators:Synchronous Reactance*”  
<https://machineryequipmentonline.com/electric-equipment/altenatorssynchronous-reactance/>, diakses pada tanggal 7 Maret 2018 pukul 20.08 WIB
- Hage. dalam artikel. “*AVR (Automatic Voltage Regulator)*”  
<https://dunia-listrik.blogspot.in/2009/06/avr-automatic-volatge-regulator/>, diakses pada tanggal 23 Februari 2018 pukul 16.34 WIB
- Hage. dalam artikel. “*Sistem Eksitasi*”  
<https://dunia-listrik.blogspot.in/2009/06/sistem-eksitasi/>, diakses pada tanggal 21 Februari 2018 pukul 17.44 WIB
- Hidayat, Akmal. dalam artikel. “*Syarat-syarat Sistem Proteksi Sistem Tenaga Listrik*”  
<https://dayat-akmal.blogspot.in/2016/04/syarat-syarat-sistem-proteksi-sistem/>, diakses pada tanggal 25 Februari 2018 pukul 21.48 WIB
- Hendrianto, Andri. 2016. *Rele Hilang Medan (Loss of Field Relay) Sebagai Proteksi Hilang Penguatan Generator Unit I PLTA Sutami. Laporan Proyek Akhir*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Herianto. 2012. *Analisis Perancangan Generator Mikrohidro Pada Saluran Irigasi Di Desa Kebon Agung Kel. Imogiri Kab. Bantul Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Ibrahim. dalam artikel. “*Reaksi Jangkar*”  
<https://elektro-unimal.blogspot.in/2013/05/reaksi-jangkar/>, diakses pada tanggal 18 Februari 2018 pukul 10.27 WIB
- Marsudi, Djiteng. 2011. “*Pembangkitan Energi Listrik*” edisi kedua. Surabaya: Erlangga
- Irfan, Zul. dalam artikel. “*Syarat-syarat Relay Proteksi*”  
<https://mekatronika.blogspot.in/2013/12/syarat-syarat-relay-proteksi.html?m=1>, diakses pada tanggal 25 Februari 2018 pukul 21.31 WIB
- Kho, Dickson. dalam artikel. “*Pengertian Hukum Faraday dan Bunyi Hukum Faraday*”  
<https://teknikelektronika.com/pengertian-hukum-faraday-bunyi-hukum-faraday/>, diakses pada tanggal 13 Februari 2018 pukul 20.03 WIB
- Mohan M Murali. dalam artikel. “*Generator Protections “Loss of Excitation (40 G)”*”
- Pandjaitan, Bonar. 2012. “*Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*”. Yogyakarta: Penerbit Andi
- PLTA Ir. H. Djuanda. 2017. “*Data Pengujian Relay 700G*” dilakukan pada tanggal

- 10-11 Oktober, pukul 08.00 sampai dengan selesai.
- PLTA Ir. H. Djuanda. 2000. *“Operation and Maintenance Manual Bendungan Serbaguna dan PLTA Ir. H. Juanda Jatiluhur”*
- Prih Sumardjati, dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- Rafeequdin, Mohamed. dalam situs. [www.quora.com/What-is-fictitious-reactance-in-a-circuit/](http://www.quora.com/What-is-fictitious-reactance-in-a-circuit/), mengenai *“Fictitious Reactance”*, diakses pada tanggal 7 Maret 2018 pukul 20.23 WIB
- Schweitzer Engineering Laboratories. 2012. *Instruction Manual SEL-700G Generator and Intertie Protection Relays*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc, U.S.
- Shaheena Khanum, dkk. 2014. *Evaluation Of Reactances And Time Constants Of synchronous Generator*. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. Sri Siddhartha Academy of Higher Education, Tumkur, Karnataka, India.
- Sidabutar, Budi. 2010. *Analisa Hubungan Singkat Dan Motor Starting Dengan Menggunakan ETAP Power Station 4.0 (Aplikasi Di Sun Plaza Medan). Tugas Akhir*. Universitas Sumatera Utara, Medan
- Kurniawan, Sigit. 2016. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Di Desa Triharjo Kecamatan Gemuh Kabupaten Kendal Dengan Memanfaatkan Aliran Irigasi*. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Stalony, Veby Enandes. dalam artikel. *“Sistem Proteksi Generator Sinkron Berkapasitas Besar Berdasarkan Standar IEEE Std 242-2001”* <https://ugmmagatrika.wordpress.com/2014/04/09/sistem-proteksi-generator-sinkron-berkapasitas-besar-berdasarkan-standar-ieee-std-242-2001/>, diakses pada tanggal 11 Maret 2018 pukul 19.36 WIB
- Subeno, Adi. 2002. *Analisa Setting Mho Rele Sebagai Proteksi Hilang Penguat Generator*. *Makalah Seminar Tugas Akhir*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sutoto, Edi. dalam artikel. *“Pengertian Gaya Gerak Listrik (GGL)”* <https://edisubroto.wordpress.com/2011/03/07/pengertian-gaya-gerak-listrik-ggl/>, diakses pada tanggal 13 Februari 2018 pukul 10.41 WIB
- Syahputra, Ramadoni. 2016. Dalam presentasi. *“Prinsip Dasar Proteksi”*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Tanpa Penerbit.
- Widayat Angelia P, Rizky R.D. 2017. *Analisis Proteksi Loss of Field Tipe SEL 700G Pada Generator Unit 3 di PLTA. Ir. H. Djuanda. Laporan Kerja Praktik*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Wikipedia. dalam situs. [https://id.m.wikipedia.org/wiki/Induksi Elektromagnetik](https://id.m.wikipedia.org/wiki/Induksi_Elektromagnetik), mengenai *“Induksi Elektromagnetik”*, diakses pada tanggal 13 Februari 2018 pukul 11.01
- Wikipedia. dalam situs. [https://id.m.wikipedia.org/wiki/Fluks magnetik](https://id.m.wikipedia.org/wiki/Fluks_magnetik), mengenai *“Fluks Magnetik”*, diakses pada tanggal 13 Februari 2018 pukul 20.38 WIB
- Wikrama. Ananta. dalam artikel. *“Cara Kerja Generator Listrik Brushless Dengan Menggunakan PMG (Permanent Magnet Generator)”* <https://ugmmagatrika.wordpress.com/2013/05/04/cara-kerja-generator-listrik-brushless-dengan-menggunakan-pmg-permanent-magnet-generator/>, diakses pada tanggal 21 Februari 2018 pukul 15.29 WIB
- Zain. dalam situs <https://brainly.co.id/tugas/2836648> mengenai *“Perbedaan Fluks Magnet dan Medan Magnet”*, diakses pada tanggal 20 Februari 2018 pukul 14.17 WIB
- Zuhail M, dkk. 2004. *Prinsip Dasar Elektroteknik*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

---

PENULIS:

Angelia Hertari Permata Widayat

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas  
Teknik, Universitas Muhammadiyah  
Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan,  
Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta  
55183.

Email: [angeliahertari@gmail.com](mailto:angeliahertari@gmail.com)