

BAB IV ANALISIS DATA

4.1 Analisis Perhitungan Nilai Setting Rele Hilang Medan (*Loss Of Field*)

Generator yang digunakan oleh PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur adalah generator sinkron tiga fasa *GEC ALSHTOM* dengan sistem eksitasi tanpa sikat. Dimana untuk mendapatkan nilai tegangan keluar pada terminal stator dibutuhkan arus searah untuk dijadikan arus penguat sebagai pembangkit medan magnet di kumparan rotor. Berikut adalah spesifikasi generator *GEC ALSHTOM*:



Gambar 4.1 Generator *GEC ALSHTOM* PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur

Tabel 4.1 Spesifikasi Generator GEC ALSHTOM PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur

Parameter	Nilai
Output	35000 KVA
Voltage	6300 V
Current	3208 A
Cos φ	0,93
Excitation Voltage	176 V
Excitation Current	578 A
Duty	continous
Winding Connection	Y
Phase	3
Frequency	50 Hz
Insulation Class	F
Speed	272,2 RPM
Manufacture	Belfort, Perancis
GEC ALSHTOM Order n° 413549	

Pada awal didirikannya PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur, pengoperasian rele proteksi generator menggunakan rele merk *CEGELEC*. Proteksi hilang penguatan di generator sinkron menggunakan tipe 04 GTA 001 YE “*Under Capacitive Impedance Field Failure Relay TZG*”, namun saat pembaharuan perangkat pada tahun 2014 mulai digunakan rele jenis *multifunction* SEL 700G. Pendeteksi hilang penguatan pada generator menggunakan SEL 700G *Loss of Field Relay* dengan kode ANSI 40. Kemampuan rele SEL700G sudah memenuhi persyaratan perlindungan dan kontrol yang ditentukan dalam ANSI/IEEE Std 1547-2003 “*Standard for Interconnencting Distributed Resources with Electric Power Systems*”.



Gambar 4.2 Multifunction rele SEL 700G untuk Generator

AC Current Input	I_{NOM} 1 A or 5 A secondary depending on model
AC Voltage Input	VNOM (L-L secondary) range: 20-250 V if DELTA_Y: DELTA 20-440 V if DELTA_Y: WYE
Power Supply	125/250 Vdc or 120/240 Vac Rated Supply Voltage : 110-240 Vac, 50/60 Hz 110-250 Vdc Input Voltage Range: 85-264 Vac 85-275 Vdc Power Consumption: <40 VA (ac) <20 W (dc)

	<p>Interruptions: 50 ms @ 125 Vac/Vdc 100 ms @ 250 Vac/Vdc</p> <p>24/48 Vdc Rated Supply Voltage: 24-48 Vdc Input Voltage Range: 19.2-60 Vdc Power Consumption: <20 W (dc)</p> <p>Interruptions: 10 ms @ 24 Vdc 50 ms @ 48 Vdc</p>
DC Output Ratings	<p>Rated Operational Voltage: 250 Vdc Rated Voltage Range: 192-275 Vdc Rated Insulation Voltage: 300 Vdc Make: 30 A 250 Vdc per IEEE C37,90</p> <p>Continuous Carry: 6 A @ 70°C 4 A @ 85°C</p> <p>Thermal: 50 A for 1 s Contact Protection: 360 Vdc; 40 J MOV protection across open contacts</p>
AC Output Ratings	<p>Maximum Operational Voltage (U_e) Rating: 240 Vac Insulation Voltage (U_i) Rating (excluding EN 61010-1): 300 Vac Voltage Protection Across Open Contacts: 270 Vac, 40 J</p>
Dimensions	<p>144,0 mm (5,67 in) x 192,0 mm (7,56 in) x 147,4 mm (5,80 in)</p>

Weight	2,0 kg (4,4 lb)
Frequency and Phase Rotation	System Frequency : 50,60 Hz Phase Rotation: ABC, ACB Frequency Tracking: 15-70 Hz

Nilai setting yang digunakan saat ini sama dengan nilai setting yang digunakan pada rele proteksi sebelumnya yang didapatkan saat dilakukan *field test guide* tahun 1995 yang menjadi acuan saat ini. Data *setting* rele hilang medan (*loss of field*) SEL 700G adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data setting rele hilang medan (*loss of field*)

Parameter	Nilai
\emptyset (Lingkaran Impedansi)	12,5 Ω
t (<i>Time Delay</i>)	1,2 s

Kemampuan rele hilang medan ini bergantung pada besarnya nilai impedansi yang masuk ke dalam daerah kerja rele untuk melindungi generator dari gangguan hilang penguat medan. Generator PLTA Ir. H. Djuanda memiliki kurva karakteristik diagram R-X, dari kurva diagram tersebut dapat ditentukan daerah kerja rele yang harus memproteksi generator pada saat terjadi gangguan hilang penguat medan. Pada kurva karakteristik diagram R-X generator, rele ini bekerja di kuadran III dan IV dengan mendeteksi adanya penurunan nilai impedansi dasar pada generator yang berada didaerah antara penguat utama menuju generator utama. Adapun perhitungan *setting* pada rele hilang penguat medan mengacu pada *Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay* SEL 700G tahun 2012 dan data parameter generator unit III PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur sebagai berikut:

Tabel 4.4 Data Generator Unit III PLTA Ir. H. Djuanda Jatiluhur

Parameter	Nilai
Frekuensi	50 Hz
Impedansi	Reaktansi sementara primer ($X'd$) = 0,37 pu
	Reaktansi sinkron primer (X_d) = 1,0 pu
Kecepatan Putar	272,7 RPM
Daya semu (S)	35 MVA
Tegangan (V)	6,3 kV = 6300 V
Current Transformator Ratio (CT Ratio)	3500 : 5 A = 700 : 1
Potential Transformator Ratio (PT Ratio)	6300 : 100 V = 63 : 1

Dari data yang telah diperoleh akan digunakan untuk mencari nilai besaran lingkaran impedansi dan *offset* sebagai daerah kerja rele hilang penguat medan dengan perhitungan seperti dibawah ini.

a) Menentukan Z_{base} primer dan sekunder:

$$\begin{aligned}
 Z_{base \text{ primer}} &= \frac{V^2}{S} \\
 &= \frac{(6,3)^2 \text{ KV}}{35 \text{ MVA}} \\
 &= \frac{39690000 \text{ V}^2}{35000000 \text{ VA}} \\
 &= 1,134 \Omega \\
 \\
 Z_{base \text{ sekunder}} &= \frac{Z_{base \text{ primer}} \times CT \text{ Ratio}}{PT \text{ Ratio}} \\
 &= \frac{1,134 \Omega \times 700:1}{63:1} \\
 &= 12,6 \Omega
 \end{aligned}$$

$Z_{base \text{ primer}}$ adalah nilai impedansi dasar mesin primer yang didapatkan dari tegangan nominal fasa-fasa yang berarti nilai dimana sistem tenaga dirancang untuk beroperasi pada kondisi seimbang serta normal dan nilai keluaran daya

semu generator untuk mendapatkan nilai impedansi dasar primer yang nantinya akan berimbas ke lilitan sekunder dan akan menghasilkan impedansi dasar sekunder dengan nilai arus dan tegangan yang dideteksi oleh trafo arus dan trafo tegangan saat generator beroperasi. *Z base secunder* adalah nilai impedansi dasar mesin sekunder yang didapatkan dari nilai impedansi dasar mesin primer dan hasil pengukuran perbandingan dari trafo arus (*CT ratio*) dan trafo tegangan (*PT ratio*) yang berarti merupakan imbas dari nilai impedansi dasar primer saat generator beroperasi.

Nilai trafo arus dan trafo tegangan didapatkan dari nilai perbandingan/rasio yang digunakan operator untuk mengetahui nilai arus beban dan tegangan beban. Biasa pada setiap perusahaan sudah menentukan nilai perbandingan/rasio yang akan digunakan untuk memudahkan melakukan pengukuran pada arus dan tegangan yang tinggi. Jadi nilai impedansi dasar mesin primer adalah nilai impedansi yang didapatkan ketika beroperasi secara normal dan seimbang sedangkan nilai impedansi dasar mesin sekunder adalah nilai impedansi ketika beroperasi penuh.

b) Menentukan reaktansi sementara sekunder:

$$\begin{aligned} X'_{d \text{ secunder}} &= X'_{d \text{ primer}} \times Z_{\text{base secunder}} \\ &= 0,37 \text{ pu} \times 12,6 \Omega \\ &= 4,66 \Omega_{\text{pu}} \end{aligned}$$

$X'_{d \text{ secunder}}$ adalah nilai reaktansi sementara sekunder (*reactance transient*) yang berarti nilai ini menentukan arus hubung singkat maksimal sesaat setelah terjadinya gangguan hilang penguat medan pada generator. Berlangsung sampai 6 siklus hingga 5 detik. Setengah dari nilai ini akan digunakan untuk penentuan dari nilai *offset*.

c) Menentukan besaran *offset* dari *setting* rele penguat medan:

$$\begin{aligned} \text{Offset} &= -\frac{X'd_{\text{sekunder}}}{2} \\ &= -\frac{4,66 \Omega}{2} \\ &= -2,33 \Omega \end{aligned}$$

Nilai besaran *offset*. Nilai offset didapatkan dari hasil setengah dari nilai reaktansi sementara sekunder agar pendeteksian dapat lebih cepat dan efektif. Nilai offset ini sebagai batasan untuk penempatan titik awal nilai lingkaran impedansi guna mendeteksi ketika terjadi hilangnya penguat medan yang menyebabkan nilai impedansi menurun pada saat kondisi beban penuh. Zona ini beroperasi dengan waktu seketika dan biasanya melakukan *trip* atau pemutusan sistem dengan waktu tunda yang singkat atau sama dengan 0 (nol). Nilai *offset* bernilai negatif karena posisi *offset* berada pada bagian negatif antara kuadran III dan kuadran IV.

Untuk menentukan nilai diameter zona *offset* menurut ketentuan pada *Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay* tahun 2012 yaitu nilai diameter zona offset sama dengan 1,0 per unit impedansi dengan rumus:

d) Menentukan diameter zona *offset*:

$$\begin{aligned} \text{Diameter offset} &= \frac{V_{nom}}{1,73 \cdot I_{NOM}} \\ &= \frac{6300 V}{1,73 \cdot 3500 A} \\ &= \frac{6300 V}{6055 A} \\ &= 1,0404 \Omega \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas mendapatkan nilai diameter untuk *offset* sebesar 1,0404 Ω . Jika diproseskan dalam bentuk karakteristik impedansi pada terminal keluaran generator pada diagram R-X saat terjadi hilang penguat diberbagai tingkat beban, nilai 1,0 pu adalah 100%. Jika tingkat beban 100% maka nilai impedansi akan semakin kecil dan lintasan impedansi akan semakin cepat memasuki daerah kerja rele sehingga rele akan *trip* lebih cepat.

e) Menentukan reaktansi sinkron sekunder:

$$\begin{aligned}X_d \text{ sekunder} &= X_d \text{ primer} \times Z_{\text{base sekunder}} \\ &= 1 \times 12,6 \Omega \\ &= 12,6 \Omega\end{aligned}$$

Reaktansi sinkron sekunder adalah jangkauan atau batas terjauh zona proteksi rele atau biasa disebut dengan *reach*. Reaktansi sinkron sekunder merupakan hasil perkalian antara reaktansi sinkron primer dan impedansi dasar mesin sekunder karena keadaan ini adalah nilai impedansi dasar mesin saat generator berbeban penuh. Jadi penentuan nilai reaktansi sinkron sekunder ketika generator berbeban 100% sebagai nilai pembanding rele hilang penguat medan (*loss of field*) saat terjadi gangguan berupa penurunan nilai impedansi. Reaktansi sinkron sendiri merupakan perubahan proses operasi generator yang bersifat reaktif ketika keadaan sinkron. Reaktansi sinkron sekunder ini juga diartikan keseluruhan reaktansi dari belitan jangkar stator yaitu hasil dari penjumlahan Reaktansi Kebocoran (X_L) dan Reaktansi Pemagnetan (X_m) yang terjadi pada reaksi jangkar. Nilai reaktansi ini yang menentukan besar arus mengalir setelah kondisi stabil tercapai. Hal ini tercapai setelah beberapa detik hubung singkat terjadi. Perkiraan waktu efektif kerjanya adalah secara terus menerus (*continuous*) setelah 5 detik.

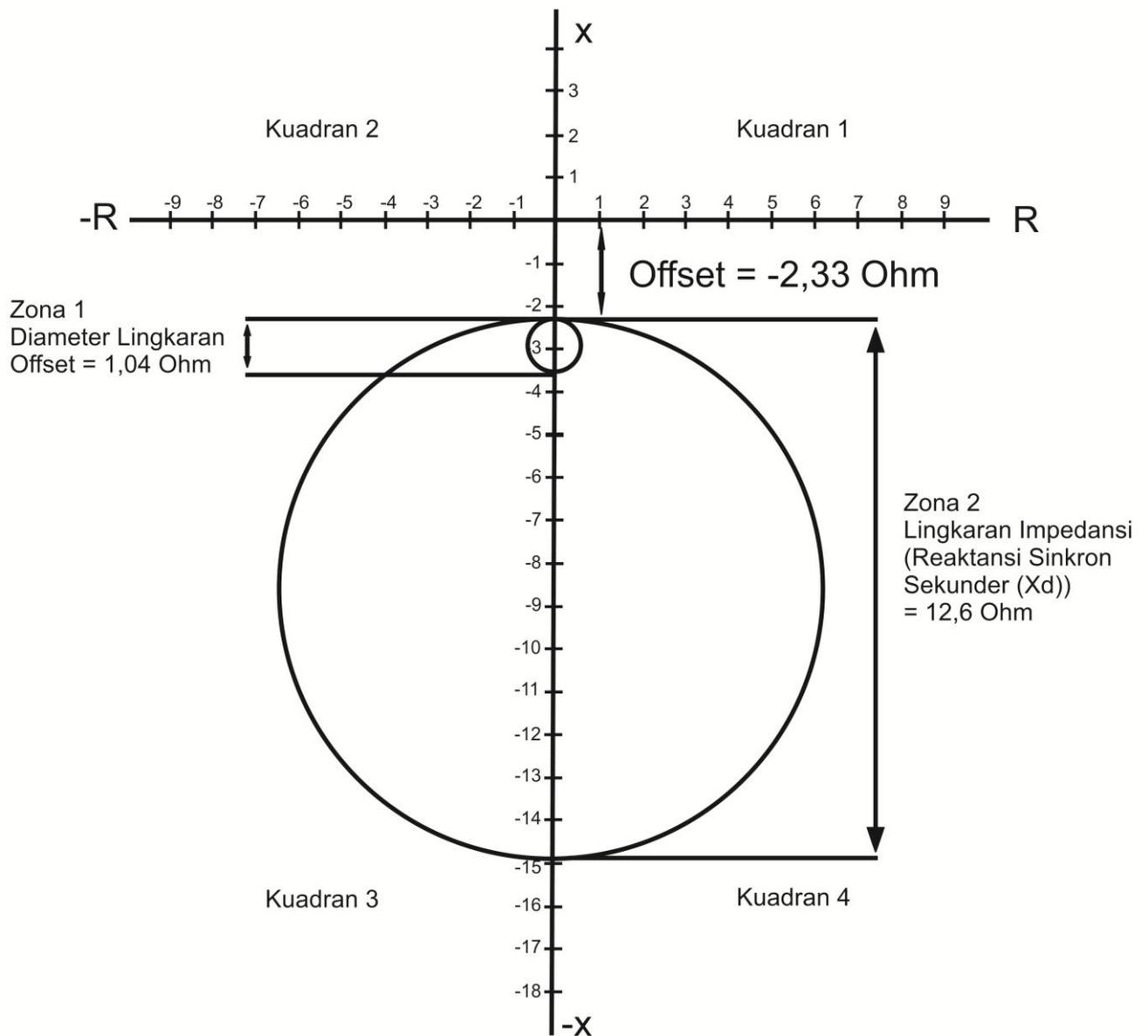
4.2 Analisis Daerah Kerja Berdasarkan Perhitungan Nilai Setting Rele Hilang Medan (*Loss Of Field*)

Dalam menentukan letak parameter untuk membentuk daerah kerja rele hilang penguat medan (*loss of field*) berada pada posisi kuadran III dan IV karena perhitungan *setting* yang digunakan adalah zona *offset* negatif serta karakteristik rele bekerja yaitu saat mendeteksi adanya penurunan nilai impedansi di kuadran III dimana kuadran III merupakan diagram kerja generator induksi (asinkron) akibat dari putaran rotor yang bertambah sehingga menyebabkan generator menyerap daya reaktif karena digunakan sebagai sumber penguatan generator tersebut.

Cara menentukan penempatan parameter *setting* (*offset*, diameter *offset*, dan reaktansi sinkron sekunder) yang terhitung sebagai daerah kerja rele hilang penguat medan (*loss of field*) secara rinci sebagai berikut:

1. 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.
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 $-3,37 \Omega$.
3. 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 4.3 Grafik Karakteristik Rele Hilang Medan Offset Zona 2 Negatif Berdasar Perhitungan

Gambar 4.3 merupakan grafik karakteristik rele hilang medan menggunakan perhitungan offset zona dua negatif berdasar *Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay* tahun 2012. Dari perhitungan tersebut telah mendapatkan daerah kerja rele berupa lingkaran impedansi = reaktansi sinkron sekunder, nilai offset, dan diameter offset, namun setting rele saat ini masih menggunakan nilai setting dari rele yang sebelumnya (*cegelec*) yaitu hanya menentukan satu zona saja berupa lingkaran impedansi tanpa adanya dua zona yang terdapat nilai diameter offset.

Hasil perhitungan reaktansi sinkron sekunder (X_d) mendapatkan nilai 12,6 Ω . Jika dibandingkan dengan data nilai setting *Under Capacitive Impedance Field Failure Relay CEGELEC* yaitu $\emptyset = 12,5 \Omega$ maka memiliki selisih:

$$\begin{aligned} \text{nilai selisih} &= \text{nilai hasil perhitungan} - \text{nilai data setting} \\ &= 12,6 \Omega - 12,5 \Omega \\ &= 0,1 \Omega \\ \text{prosentase selisih} &= \frac{\text{nilai hasil perhitungan} - \text{nilai data setting}}{\text{nilai data setting}} \times 100\% \\ &= \frac{12,6 \Omega - 12,5 \Omega}{12,5 \Omega} \times 100\% \\ &= 0,8\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan manual diatas mendapatkan nilai lebih besar dari nilai data setting dengan prosentase selisih sebesar 0,8%. Nilai diatas 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 loss of field* serta dapat bekerja jika terjadi gangguan hilang medan pada generator.

Nilai reaktansi sinkron sekunder 12,5 Ω sama dengan penentuan nilai lingkaran impedansi untuk daerah rele bekerja. Dari hasil perhitungan nilai reaktansi sinkron sekunder (zona 2) tersebut sudah sesuai dengan standar *range* dari *Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay* tahun 2012 meskipun tanpa adanya nilai *offset* dan diameter *offset* (zona 1) yang ditentukan sehingga setting diameter impedansi rele 12,5 Ω (X_d) sudah mencukupi untuk mendeteksi adanya gangguan hilang penguat generator dan secara langsung

melakukan *trip* dengan *time delay* 1,2 detik jika nilai impedansi menurun memasuki daerah kerja rele lingkaran impedansi tersebut.

Nilai *offset* merupakan penentuan awal untuk batasan lingkaran luar reaktansi sinkron sekunder (zona 2) dan lingkaran dalam diameter *offset* (zona 1). Jika penentuan nilai *offset* pada range yang kecil dari standar *range* yang ditentukan *Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay* tahun 2012 yaitu antara $-50,0 - 0,0 \Omega$ seperti diperhitungan mendapatkan nilai $-2,33 \Omega$, ini dimaksudkan untuk melindungi generator dari perubahan impedansi generator ke nilai yang lebih kecil. Karena pada dasarnya karakteristik nilai impedansi menurun melalui zona *offset* yang berada pada kuadran III dan IV.

Zona 1 diameter *offset* ditentukan ketika karakteristik impedansi saat hilang penguat medan ditingkat beban 100% yang akan secara seketika tanpa adanya waktu tunda mengalami keadaan pemutusan sistem dari gangguan yang terjadi. Karena pada saat nilai impedansi menurun ditingkat beban 100%, nilai impedansi akan mengecil yang disebabkan oleh arus dan tegangan dikeluarkan terminal stator juga bernilai kecil. Sehingga akan lebih cepat nilai impedansi untuk melewati zona *offset* menuju ke zona 1 dari pada saat ditingkat beban 50% dan 30%.

Lingkaran impedansi = Reaktansi sinkron sekunder (X_d). Lingkaran impedansi adalah daerah kerja rele yang berbentuk diameter lingkaran yang linier. Dikatakan linier karena perumusan gangguan yang digunakan menganggap penurunan arus eksitasi yang terjadi adalah linier. Lingkaran impedansi ini untuk mendeteksi adanya penurunan nilai impedansi di kuadran III dan IV yang merupakan diagram kerja generator induksi dan motor induksi. Lintasan impedansi ini akan berakhir di titik yang nilainya sama dengan reaktansi sinkron generator (X_d) pada saat terjadi gangguan hilang penguatan pada generator. Pada saat karakteristik impedansi turun ditingkat beban 50% dan 30%, nilai impedansi akan menurun menuju kuadran IV dan ketika berakhir di titik lingkaran luar reaktansi sinkron sekunder maka sistem akan mengalami waktu tunda 1,2 detik dan kemudian rele memerintahkan pemutus tenaga untuk melakukan *trip*. Nilai lingkaran impedansi sama dengan nilai reaktansi sinkron karena reaktansi sinkron

terdiri dari keseluruhan reaktansi di belitan jangkar yang merupakan penjumlahan dari reaktansi kebocoran fluks (X_L) pada penghantar jangkar dan reaktansi pemagnetan (X_m).

Pada saat kondisi generator utama berbeban, mengalir arus di penghantar jangkar yang disebut arus jangkar. Hal ini menyebabkan timbulnya *fluks* medan magnet (fluks medan jangkar) \emptyset_A di kumparan jangkar yang akan melawan *fluks* medan magnet (fluks medan utama) \emptyset_F di kumparan rotor. Interaksi ini disebut reaksi jangkar. Apabila arus jangkar ini mengalir maka akan mengakibatkan reaksi jangkar bersifat reaktif. Inilah alasan mengapa disebut reaktansi pemagnetan (X_m). Reaksi jangkar ini menyebabkan terjadinya perubahan fluks medan magnet di celah udara antara kumparan rotor dan belitan jangkar yang mengakibatkan adanya reaktansi kebocoran jangkar di penghantar jangkar karena sebagian fluks tidak mengimbas pada jalur yang ditentukan. Hal ini menyebabkan nilai arus dan tegangan dikeluarkan terminal stator menurun serta nilai impedansi secara otomatis akan menurun.

Karakteristik impedansi saat hilang penguat generator pada berbagai tingkat beban yaitu 100%, 50%, dan 30%. Ditingkat beban 100%, nilai impedansi akan semakin mengecil dan memasuki daerah kerja rele lingkaran impedansi akan lebih cepat dibandingkan dengan tingkat beban 50% dan 30%. Ketika beban ditingkat 100% maka nilai impedansi akan menurun menuju kuadran IV melewati zona offset dan mengarah ke kuadran III memasuki zona 1, kemudian rele akan memberikan perintah ke pemutus tenaga untuk melakukan *trip* guna mengamankan sistem dari gangguan. Saat beban ditingkat 50% dan 30% maka nilai impedansi akan menurun menuju kuadran IV melewati zona offset memasuki zona 2 dengan mengalami waktu tunda selama 1,2 detik dan kemudian rele memberikan perintah ke pemutus tenaga untuk melakukan *trip* guna memisahkan sistem dari gangguan.

Ketetapan nilai lingkaran diameter impedansi 12,5 Ω 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 Ω sudah

memasuki standar range setting yang ditentukan yaitu 0,1 – 100 Ω . Untuk *time delay* atau waktu tunda pemutusan sistem juga masih menggunakan setting rele lama yaitu 1,2 detik. Jika dilihat dari standar range setting yang diatur oleh *Instruction Manual of Generator and Intertie Protection Relay* 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* tahun 2012 dan layak untuk memproteksi bagian sistem yang terganggu meskipun nilai *offset* dan diameter *offset* tidak ada di nilai masukan setting.