

ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI GENERATOR DAN TRAFU GENERATOR PADA PLTGU TAMBAK LOROK BLOK 2 MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6.0

Uffan Yahdian^{*)}, Juningtyastuti, and Karnoto

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: uffanyahdian@gmail.com

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTGU) Tambak Lorok merupakan salah satu penyuplai terbesar tenaga listrik untuk area Jawa Tengah. Pada Tambak Lorok Blok 2, sejak pembangkit mulai dioperasikan hingga sekarang, belum pernah dilakukan evaluasi terhadap setting sistem proteksi generator dan trafo generator secara berkala. Untuk meningkatkan performa sistem proteksi maka dilakukan analisis koordinasi proteksi pada PLTGU Tambak Lorok Blok 2 pada generator dan trafo generator dengan software ETAP 12.6.0. Setelah dilakukan analisis, diketahui bahwa setting rele diferensial generator, rele diferensial trafo, rele keseimbangan tegangan, rele daya balik, dan rele eksitasi lebih masih layak untuk digunakan. Pada rele overall diferensial selaku rele utama generator, nilai input setting tap 2 berubah dari 2.9 A, menjadi 4.2 A.

Kata kunci: Proteksi, rele generator, trafo generator, PLTGU

Abstract

Tambak Lorok Combine Cycle Power Plant (CCPP) is one of the largest suppliers of electricity for Central Java.. In Tambak Lorok Block 2, since the plant started to operate, evaluation of the generator protection system and generator transformer has not been done yet. To improve the performance of this protection system then performed a coordination analysis of protection on generator and generator transformer with software ETAP 12.6.0. After coordination analysis, it is known that in STG and GTG sets of differential generator relay, differential transformer relay, voltage balance relay, reverse power relay, and over excitation relay are still feasible to use. The main protection relay of generator differential overall relay the input of tap 2 is 2.9 A, it is changed to 4.2 A.

Keywords: protection, generator relay, generator transformer relay, CCPP

1. Pendahuluan

PLTGU Tambak lorok terdapat 2 Blok dan menghasilkan daya terpasang 4 x 109,65 MW untuk PLTG dan 2 x 188 MW untuk PLTU. Sejak diresmikan pada tahun 1997 PLTGU Tambak Lorok blok 2 baik pada GTG maupun STG telah beberapa kali mengalami *overhaul*, hal ini difungsikan untuk melakukan pemeliharaan ataupun penggantian peralatan secara berkala. Pemeliharaan yang dilakukan meliputi *rewinding* dari stator dan rotor hingga penggantian komponen generator. Namun berdasarkan observasi yang dilakukan, pada PLTGU Tambak Lorok Blok 2 belum dilakukan adanya evaluasi proteksi rele pada generator dan trafo generator sejak diopersikan awal pada tahun 1997.

Proteksi terhadap pembangkit adalah hal yang sangat dibutuhkan karena berperan penting dalam mendeteksi

adanya gangguan dan dapat mencegah kerusakan yang diakibatkan gangguan. Koordinasi sistem proteksi yang baik akan meminimalisir daerah gangguan dan mencegah pemadaman di daerah lain [1]. Untuk meningkatkan performa sistem proteksi perlu dilakukan suatu koordinasi rele pengaman yang terpasang. Selain melakukan evaluasi *setting* rele, koordinasi antar rele generator juga penting untuk mendeteksi dan mengisolir adanya gangguan.

Pada suatu sistem pembangkitan tenaga listrik terjadi pelepasan salah satu generator yang diakibatkan oleh suatu gangguan dari luar akan menyebabkan kerugian, hal ini akan menimbulkan biaya tambahan baik untuk proses maintenance maupun untuk proses starting pembangkitnya, serta menurunkan nilai keandalannya.

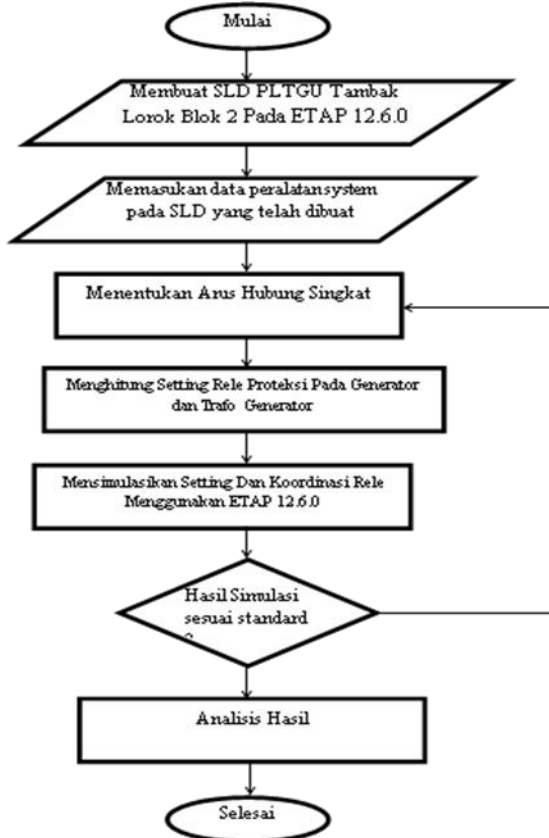
Berdasarkan referensi diatas, pada penelitian ini dilakukan penelitian tentang analisis koordinasi rele

generator dan trafo generator pada PLTGU Tambak Lorok Blok 2 menggunakan bantuan software ETAP 12.6.0 untuk meningkatkan kehandalan pada sistem proteksi

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

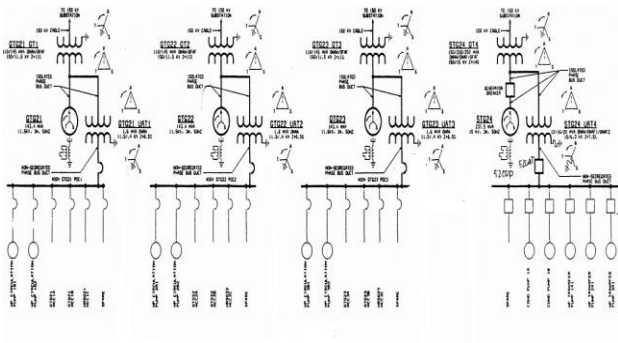
Metode penelitian dari penelitian ini ditampilkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

2.2. Data Sistem

Diagram satu garis PLTGU Tambak Lorok Blok 2 ditampilkan pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. SLD PLTGU Tambak Lorok Blok 2

Data spesifikasi dari peralatan yang dibutuhkan untuk analisis ditampilkan pada tabel 1 berikut

Tabel 1. Data eksisting

Parameter	GTG	STG
Generator		
Merk	General Electric	General Electric
Type	Sinkron, 3 ϕ	Sinkron, 3 ϕ
Penggerak Mula	Gas	Uap
Daya aktif	114.72 MW	190 MW
Daya nyata	143.4 MVA	237.5 MVA
Tegangan	11.5 kV	15 kV
Power Factor	0,8	0,8
Frekuensi	50 Hz	50 Hz
RPM	3000 RPM	3000 RPM
Jenis rotor	Round	Round
Eksitasi	Thyristor	Thyristor
Xd''	0.183 pu	0.162 pu
Xd'	0.258 pu	0.225 pu
Xd	2.043 pu	1.750 pu
X ₂	0.172 pu	0.155 pu
X ₀	0.082 pu	0.093 pu
Td''	0.023 detik pada 125°C	0.023 detik pada 125°C
Td1'	0.844 detik pada 125°C	1.146 detik pada 125°C
Td2'	0.735 detik pada 125°C	0.965 detik pada 125°C
Td3'	0.478 detik pada 125°C	0.622 detik pada 125°C
Hub Stator	Star	Star
(I ₂) ² t	8	8
Trafo		
Merk	MEIDENSHA	DAIHEN
Kapasitas	110 MVA	150 MVA
Jumlah Fasa	3	3
Frekuensi	50 Hz	50 Hz
Tegangan	11.5 / 150 kV	15 / 150 kV
Connection	Delta / Star	Delta / Star
Impedansi	11 %	14 %
Vektor Grup	YNd11	YNd11
Tipe pendingin	ONAN/OFAF	ONAN/OFAF/ODAF
Grounding	Solid grounding	Solid grounding
Kabel bawah tanah 150 kV		
Ukuran Kabel	630 mm ²	1600 mm ²
Z1 (ohms/km)	0.062 + j 0.132	0.024 + j 0.109
Z0 (ohms/km)	0.068 + j 0.1263	0.043 + j 1.354
Panjang Saluran	GTG 2.1 = 123.9 GTG 2.2 = 143.7 GTG 2.3 = 168.5	STG 2.0 = 203.4 m
Trafo UAT		
Merk	STARLITE	PASTI
No Seri	505815R	5P0012
Daya	54 MVA	20 MVA
Jumlah Fasa	3	3
Frekuensi	50 Hz	50 Hz
Tegangan	11.5 / 0.4 kV	15 / 0.63 kV
Connection	Delta / Star	Delta / Star
Impedansi	6.5 %	7.5 %

Tabel1. (Lanjutan)

Vektor Grup Grounding	dYn11 Resistor grounding	dYn11 Resistor grounding		
Busduct				
Merk	ABB	ABB		
Type	Isolated busduct	phase busduct		
Tegangan Operasi	11.5 kv	11.5 kv		
Rating tegangan	17.5 kV	17.5 kV		
Rating arus	8604 A	8604 A		
Rated short circuit withstand current	200 kA	200 kA		
Impedansi busduct	3.89 microhm/meter	3.89 microhm/meter		
Panjang busduct	6.3 meter	6.3 meter		

Tabel 2. Data Power Grid Bawen

Parameter	Spesifikasi
MVA Sc 3 Fase	7432
MVA SC 1 fase	661.52
X/R 3 & 1 Fase	7

Tabel 3. Data Pembangkitan generator dan beban trafo

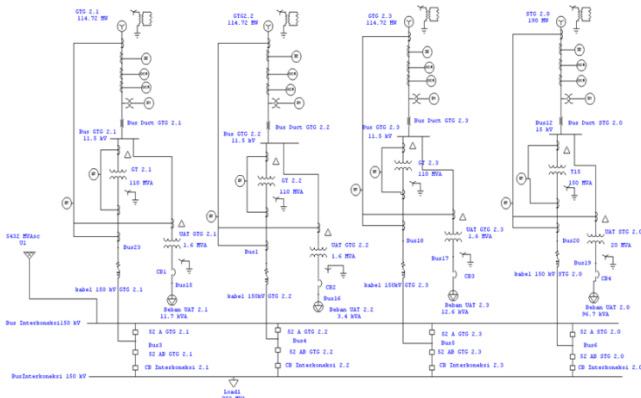
Generator	Daya Aktif	Daya Reaktif
GTG 2.1	96 MW	20 MVAR
GTG 2.2	88 MW	20 MVAR
GTG 2.3	99 MW	20 MVAR
STG 2.0	125 MW	20 MVAR
UAT GTG 2.0	11.115 MW	3.653 kVAR
UAT GTG 2.1	3.23 kW	1.062 kVAR
UAT GTG 2.2	11.97 kW	3.934 kVAR

Tabel 4. Data Transmisi Tambak Lorok-Bawen

Parameter	Spesifikasi
Jumlah Sirkuit	4
Z1 (ohm/km)	0.0199 + j 0.229
Z0 (ohm/km)	0.170 + j 0.687
Panjang	37.977 km
Setting rele jarak	Z1= 3.212 Ω (instant) ; Z2= 4.819 Ω (0.4 s); Z3= 20.012 Ω (1.6 s)

2.3. Pemodelan

Pemodelan pada *software* ETAP 12.6.0 seperti pada gambar 3 berikut :



Gambar 3. Pemodelan SLD PLTGU Tambak Lorok Blok 2 Pada ETAP 12.6.0

3. Hasil dan Analisa

3.1. Menentukan Arus Gangguan Hubung Singkat

Pada penelitian ini untuk menentukan besar arus hubung singkat digunakan 2 metode, yang pertama yaitu menghitung arus hubung singkat secara manual [9] dan yang kedua mensimulasikan dengan ETAP 12.6.0. Perbandingan hasil perhitungan dan hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 5 dan tabel 6.

Tabel 5. Perbandingan arus gangguan hubung singkat perhitungan dan simulasi LLL dan LL

Bus fault	ETAP LLL (A)	Hitung LLL (A)	Error (%)	ETAP LL (A)	Hitung LL (A)	Error (%)
GTG 2.1	71550	70683.1	1.2	67465	66228.3	1.83
GTG 2.2	71546	70683.1	1.2	67461	66228.3	1.82
GTG 2.3	71540	70683.1	1.2	67456	66228.3	1.82
STG 2.0	76008	74994.7	1.3	72919	71836.4	1.49
HV 2.1	26910	25934.4	3.6	23742	22982.7	3.2
HV 2.2	26889	25934.4	3.5	23767	22982.7	3.3
HV 2.3	26864	25934.4	3.4	23748	22982.7	3.22
HV 2.0	26879	25849.1	3.8	23724	23566.4	0.66

Tabel 6. Perbandingan arus gangguan hubung singkat perhitungan dan simulasi LG dan LLG

Bus fault	ETAP LG (A)	Hitung LG (A)	Error (%)	ETAP LLG (A)	Hitung LLG (A)	Error (%)
GTG 2.1	160	159.6	98.2	67502	67717.1	0.318
GTG 2.2	160	159.6	98.2	67498	67717.1	0.324
GTG 2.3	160	159.6	98.2	67493	67717.1	0.331
STG 2.0	160	159.6	98.5	72955	72592.3	0.499
HV 2.1	30019	28763.3	4.37	28808	27921.6	3.174
HV 2.2	29994	28763.3	4.28	28784	27921.6	3.089
HV 2.3	29964	28763.3	4.17	28755	27921.6	2.984
HV 2.0	29326	28105.3	4.34	28432	27273.1	4.249

Berdasarkan tabel 5 dan tabel 6, dapat dilihat perbandingan antara nilai arus hubung singkat perhitungan dan simulasi mendekati sama. Pada gangguan LG memiliki nilai hubung singkat bernilai 160 A. Hal ini dikarenakan pada generator sinkron yang ada di plant menggunakan tipe pentanahan *low resistance* yang akan membatasi nilai arus hubung singkat 1 fasa tanah maksimum 200A [6]. Sehingga hasil simulasi pada ETAP sudah mencapai validasi yang ada.

3.2. Perhitungan Setting Rele

3.2.1. Rele diferensial generator (87G) dan Rele diferensial Trafo (87T)

Pada diferensial generator (87G) dan diferensial trafo (87T) keduanya memiliki cara perhitungan yang sama, berdasarkan persamaan 1 dan 2 berikut [4] :

$$I_r = \max(|\vec{I}_p|, |\vec{I}_s|) \tag{1}$$

$$I_{set \text{ gangguan dalam}} = slope \times I_r \tag{2}$$

$$I_{set \text{ gangguan luar}} = slope \times I_r$$

dimana

- I_r = Arus restraint (A).
- I_p = Arus hubung singkat sekunder CT1 (A).
- I_s = Arus hubung singkat sekunder CT 2(A).
- I_{set} = Arus setting relay diferensial (A).
- Slope 1 = 25%
- Slope 2 = 100%

Dimana hasil perhitungan setting rele diferensial generator (87G) ditampilkan pada tabel 7 dan hasil perhitungan rele diferensial trafo (87T) ditampilkan pada tabel 8 berikut :

Tabel 7. Hasil perhitungan rele diferensial generator (87G)

Keterangan	Unit GTG	Unit STG
$I_{nominal}$ (A)	7199.31	9141.38
$I_{110\%}$ (A)	7199.24	10055.52
$I_{\text{sekunder CT1/CT2}}$ (A)	3.96	4.19
$I_{\text{fault 3 fasa}}$ (A)	71550	76008
$I_{\text{fault sekunder CT1/CT2}}$ (A)	35.78	31.67
I_r (A)	35.78	31.67
$I_{\text{setting gangguan dalam}}$ (A)	8.94	7.92
$I_{\text{setting gangguan luar}}$ (A)	35.78	31.67
Waktu operasi (detik)	0.002	0.002

Tabel 8. Hasil perhitungan rele diferensial generator (87T)

Keterangan	Unit GTG	Unit STG
$I_{nominal LV}$ (A)	5522.48	5773.5
$I_{nominal HV}$ (A)	423.39	423.39
$I_{\text{sekunder CT LV}}$ (A)	2.76	2.41
$I_{\text{sekunder CT HV}}$ (A)	1.83	1.83
$I_{\text{fault 3 fasa sisi LV}}$ (A)	83191	91999
$I_{\text{fault 3 fasa sisi HV}}$ (A)	28180	29814
$I_{\text{fault sekunder CT sisi LV}}$ (A)	41.59	45.99
$I_{\text{fault sekunder CT sisi HV}}$ (A)	70.45	74.53
$I_{\text{restraint}}$ (A)	70.45	74.53
$I_{\text{setting gangguan dalam}}$ (A)	17.61	18.63
$I_{\text{setting gangguan luar}}$ (A)	70.45	74.53
Waktu operasi (detik)	0.02	0.02

3.2.2. Rele overall diferensial (87GT)

Langkah perhitungan rele overall diferensial (87GT) ditunjukkan pada persamaan 2 hingga persamaan 4 [10] berikut:

- Menghitung setting slope dengan persamaan :

$$S = 3 + \frac{35(M_T + 3)}{23 - 4I_T} \tag{2}$$

- Menghitung arus setting, dengan persamaan :

$$I_r = \max(|\vec{I}_{F1}|, |\vec{I}_{F2}|) \tag{3}$$

$$I_{set \text{ gangguan dalam}} = S (slope) \times I_r \tag{4}$$

Dimana

- S = setting slope
- M_T = mismatch total
- I_r = Arus restraint (A).
- I_{F1} = Arus hubung singkat sekunder sisi tegangan rendah trafo step up (A).
- I_{F2} = Arus hubung singkat sekunder sisi tegangan tinggi trafo step up (A).
- I_{set} = Arus setting rele diferensial (A).

Hasil perhitungan setting rele diferensial (87GT) dilihat pada tabel 9. berikut

Tabel 9. Hasil perhitungan rele overall diferensial (87GT)

Keterangan	Unit GTG	Unit STG
$I_{input 1}$ (A)	3.5	3.8
$I_{input 2}$ (A)	2.9	4.2
Total mismatch error (%)	19.37	17.92
slope (%)	48	48
$I_{\text{fault 3 fasa generator}}$ (A)	71550	76008
$I_{\text{fault 3 fasa sisi HV}}$ (A)	28180	26879
$I_{\text{fault sekunder CT sisi generator}}$ (A)	35.775	31.67
$I_{\text{fault sekunder CT sisi HV}}$ (A)	70.45	67.2
I_r (A)	70.45	67.2
$I_{\text{setting gangguan dalam}}$ (A)	33.82	32.25
$I_{\text{setting gangguan luar}}$ (A)	88.06	83.99
Waktu operasi (detik)	0.02	0.02

3.2.3. Rele Keseimbangan Tegangan (60G)

Langkah menentukan setting rele keseimbangan tegangan (60G) ditunjukkan pada persamaan 7 berikut :

$$V_{nominal} = \frac{V_{generator} \times SekunderPT}{PrimerPT} \tag{5}$$

Menurut Bonar Pandjaitan [5] dalam bukunya yang berjudul “Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik”, ketidakseimbangan antara 2 PT disetting sebesar 15% dari tegangan nominal. Hasil perhitungan setting rele keseimbangan tegangan (60G) ditunjukkan pada tabel 10 berikut :

Tabel 10. Hasil perhitungan setting rele keseimbangan tegangan (60G)

Parameter	Unit GTG	Unit STG
Rasio PT (V)	12000 / 120	16000 / 120
V nominal (V)	115	112.5
Vpickup (%)	15	15
Vpickup (V)	17.25	16.88

3.2.4. Rele Daya Balik (32G)

Langkah menentukan *setting* rele daya balik (32G) ditunjukkan pada persamaan 6 berikut:

$$P_{m \text{ sekunder}} = \frac{P_{m \text{ primer}}}{(\text{rasio CT}) \times (\text{rasio PT})} \quad (6)$$

Hasil perhitungan *setting* rele daya balik dapat dilihat pada Tabel 11 berikut:

Tabel 11. Hasil perhitungan *setting* rele daya balik (32G)

Parameter	Unit GTG	Unit STG
Rasio CT (A)	10000/5	12000/5
Rasio PT (V)	12000/120	16000/120
Daya <i>motoring</i> primer (MW)	57.36	0.95
Daya balik sekunder (Watt)	286.8	2.968
Pick up Tap (Watt)	25	2.7
Time delay (detik)	10	10

3.2.5. Rele Urutan Negatif (46G)

Langkah menentukan *setting* rele urutan negatif (46G) ditunjukkan pada persamaan 7 berikut:

$$I_{2pu}^2 \times t = K \quad (7)$$

Hasil perhitungan *setting* rele rele urutan negatif (46G) dapat dilihat pada Tabel 12 berikut:

Tabel 12. Hasil perhitungan *setting* urutan negatif (46G)

Parameter	Unit GTG	Unit STG
Arus Nominal (A)	7199.31	9141.38
Rasio CT	10000/5	12000/5
Arus pada rele (A)	3.59	3.81
Setting tap adjust (A)	4	4
I_2 relay (A)	0.32	0.32
I_2 relay (pu)	0.08	0.08
waktu operasi (detik)	1250	1250

3.2.6. Rele Hilangnya Eksitasi (40G)

Langkah menentukan *setting* rele hilangnya eksitasi (40G) ditunjukkan pada persamaan 8 dan persamaan 9 berikut:

$$\text{Offset tap} = \frac{X'_d}{2} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter 1} &= 1 \text{ pu} \\ \text{Diameter 2} &= X'_d \end{aligned} \quad (9)$$

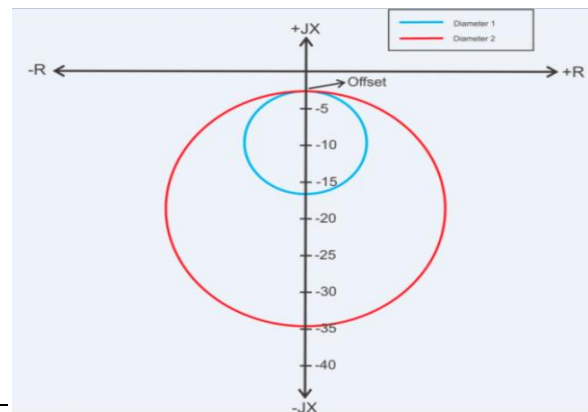
dimana

1pu : Z_{base} generator (Ω)

Diameter 1 : Diameter lingkaran kecil (Ω)

Diameter 2 : Diameter lingkaran besar (Ω)

Kurva mho *setting* rele hilangnya eksitasi (40G) ditunjukkan pada gambar 4.



Hasil perhitungan *setting* rele hilangnya eksitasi (40G) dapat dilihat pada Tabel 13 berikut:

Tabel 13. Hasil perhitungan *setting* urutan negatif (46G)

Parameter	GTG 2.1	STG 2.0
Z_{base} sekunder (Ω)	18.44	17.05
X'_d sekunder (Ω)	4.76	3.84
X_d sekunder (Ω)	37.68	34.84
1 pu (Ω)	18.44	17.05
off set tap rele	2.5	2.5
Diameter 1 (Ω)	14	14
Diameter 2 (Ω)	32	32

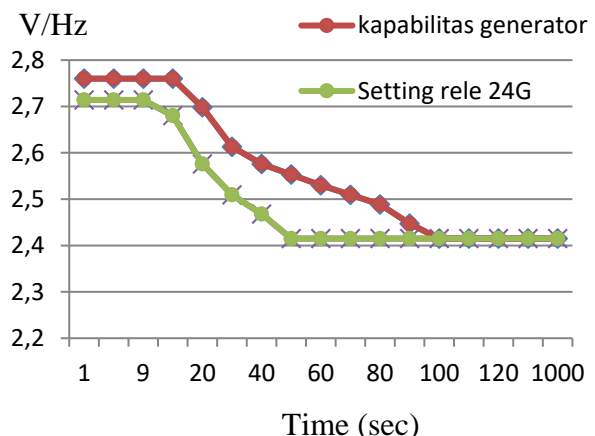
3.2.7. Rele Eksitasi Lebih (24G)

Langkah menentukan *setting* rele eksitasi lebih (24G) ditunjukkan pada persamaan 10 dan persamaan 11 berikut:

$$\text{Time trip Pickup} = 105\% \times (V/\text{Hz nominal}) \quad (10)$$

$$\text{Instant Pickup} = 118\% \times (V/\text{Hz nominal}) \quad (11)$$

Kurva *setting* rele eksitasi lebih (24G) dan kuva kapabilitas generator ditunjukkan pada gambar 5



Gambar 5. *Setting* rele eksitasi lebih (24G) dengan kurva kapabilitas generator

Hasil perhitungan *setting* rele eksitasi lebih (24G) dapat dilihat pada Tabel 14 berikut:

Tabel 14. Hasil perhitungan *setting* rele eksitasi lebih (24G)

Keterangan	GTG	STG
Rasio PT (V)	12000/120	16000/120
Tegangan relay (V)	115	112.5
V/Hz nominal (V/Hz)	2.3	2.25
V/Hz time trip pickup (V/Hz)	2.415	2.363
V/Hz instant pickup (V/Hz)	2.714	2.655

3.2.8. Rele Frekuensi (81G)

Pada Penelitian ini tidak dilakukan perhitungan *setting* rele frekuensi, namun rele ini akan dianalisis apakah *setting*nya sesuai dengan IEC. *Setting* rele frekuensi yang terpasang ditunjukkan pada Tabel 15

Tabel 15. Hasil penentuan *setting* rele frekuensi (81G)

parameter	GTG 2.1	STG 2.0
Under frequency pick up (Hz)	48,5	48,5
Over frequency pick up (Hz)	51	51
Waktu tunda (detik)	150 detik	150 detik

3.2.9. Rele Jarak Generator (21G)

Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.102 – 2006 [6], *setting* impedansi rele jarak (21G) dipilih nilai terkecil dari kriteria berikut ini :

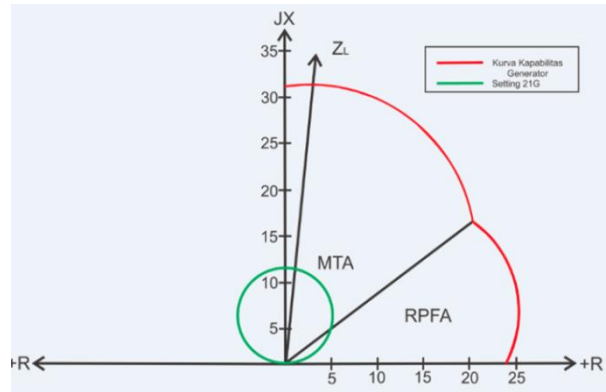
- a) 120% dari impedansi saluran transmisi yang terhubung ke pembangkit.
- b) 67 % dari impedansi beban (Z_{LOAD}) pada *rating* sudut faktor daya (RPFA). RPFA adalah *rating* sudut faktor daya dari generator. Dengan *setting* kriteria ini, dapat memberikan margin 150–200% terhadap beban penuh generator, sehingga rele ini tidak *trip* saat terjadi ayunan daya maupun sat beban penuh. Impedansi beban (Z_{LOAD}) diperoleh dengan persamaan 14 berikut.

$$Z_{LOAD} = \frac{kV_G^2}{MVA_G} \times \frac{Rasio CT}{Rasio PT} \quad (12)$$

Setting rele tidak diperkenankan melebihi 90 % dari impedansi beban pada sudut torsi maksimum generator / *maximum torque angle* (tipikal = 85°)

Untuk *setting* waktu tunda menurut standar ANSI/IEEE C37.102 – 2006 [6], direkomendasikan 1 sekon untuk mendapatkan koordinasi yang baik dengan proteksi transmisi.

Kurva mho *setting* rele jarak generator (21G) ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. *Setting* rele jarak generator (21G) pada GTG

Hasil perhitungan *setting* rele jarak generator (21G) dapat dilihat pada Tabel 16 berikut :

Tabel 16. Hasil perhitungan *setting* rele jarak generator (21G)

Keterangan	Unit GTG	Unit STG
Rasio PT (V)	12000/120	16000/120
Rasio CT (A)	10000/5	12000/5
Zload (ohm)	24.045	17.05
Zf = 120% Zline (ohm)	10.48	10.47
Zf at (MTA) (ohm)	24.151	17.12
Waktu tunda (detik)	1	1

3.2.10. Rele Arus Lebih Generator (51/50G)

Langkah menentukan *setting* rele arus lebih generator (51/50G) ditunjukkan pada persamaan 15 hingga 17 berikut:

$$I_{set} = 1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{fault} \quad (13)$$

$$I_{pick up} = \frac{I_{set}}{CT primer} \quad (14)$$

$$TMS = \left(\frac{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^1 - 1}{13.2} \right) \times t_{operation} \quad (15)$$

Dimana

- Iset = arus *setting* rele (A)
- Ipick up = arus pick up (A)
- I_{fault} = arus gangguan hubung singkat (A)
- FLA = arus beban penuh (A)
- Top = waktu operasi rele

Hasil perhitungan *setting* rele arus lebih generator (51G) dan rele gangguan tanah (50G) dapat dilihat pada Tabel 17 dan 18 berikut :

Tabel 17. Hasil perhitungan *setting* rele arus lebih generator (51G)

Keterangan	Unit GTG	Unit STG
Rasio CT (A)	10000/5	12000/5
Iset (A)	5500	7200
I pick up (A)	2.75	3
mpps	13	10.56
Time operation (detik)	0.65	0.65
TMS	0.591	0.471

Tabel 18. Hasil perhitungan setting rele gangguan tanah (50G)

Keterangan	Unit GTG	Unit STG
Rasio CT (A)	10000/5	12000/5
Iset (A)	5500	10000
I pick up (A)	2.75	4.16
m _{ps}	12.27	10.13
Time operation (detik)	0.65	0.65
TMS	0.555	0.449

3.3. Analisis

3.3.1. Analisis Setting Proteksi

Berdasarkan perhitungan setting rele tersebut maka dapat dibuat tabel 19 yang akan membandingkan setting eksisting dan setting hasil perhitungan.

Tabel 19. Perbandingan eksisting dan perhitungan setting

Uraian	eksisting		Perhitungan	
	Unit GTG	Unit STG	Unit GTG	Unit STG
Rele Urutan Negatif (46N)				
Tap pick up (%)	4	4	4	4
Time Delay (detik)	990	990	1250	1250
Rele diferensial generator (87G)				
• Slope gangguan internal (%)	25%	25%	25%	25%
• Iset gangguan internal (A)	8.5	8	8.94	7.92
• Slope gangguan eksternal (%)	100%	100%	100%	100%
• Iset gangguan eksternal (A)	35.78	31.67	35.78	31.67
• Waktu Operasi	-	-	0.15	0.15
Rele diferensial Trafo (87T)				
• Slope gangguan internal (%)	25%	25%	25%	25%
• Iset gangguan internal (A)	8.94	13.2	17.6	18.64
• Slope gangguan eksternal (%)	100%	100%	100%	100%
• Iset gangguan eksternal (A)	70.45	74.54	70.45	74.54
• Waktu Operasi (detik)	-	-	0.2	0.2
Rele Hilang Eksitasi (40G)				
• Offset tap (ohm)	2.5	2.5	2.5	2.5
• (Z1)ohm	-	-	16	16
• (Z2)ohm	32	32	32	32

Tabel 19. (lanjutan)

Rele Eksitasi Lebih (24 V/Hz)				
• Instant pick up (V/Hz)	2.415	2.363	2.415	2.363
• Time Trip pick up (V/Hz)	2.714	2.655	2.714	2.655
Rele Keseimbangan Tegangan (60G)				
• V_{pickup} (%)	17.25	16.87	17.25	16.87
Rele Frekuensi (81G)				
• Under frequency Fpickup (Hz)	48.3	48.5	48.5	48.5
• Time delay (detik)	280	280	150	150
• Over frequency Fpickup (Hz)	51	50.5	51	51
• Time delay (detik)	240	240	150	150
Rele Arus Lebih (51G)				
• Iset (A)	10000	15000	5500	7200
• TMS (A)	0.303	0.2	0.591	0.471
Rele Gangguan Tanah (50G)				
• Iset (A)	10000	15000	5500	7200
• TMS (A)	0.252	0.278	0.591	0.657
Rele Jarak Generator (21G)				
• Setting impedansi (Ω)	4.82	4.82	10.48	10.47
• Waktu tunda (detik)	0,3	0,3	1	1

Berdasarkan pada tabel 19 dapat dilihat setting eksisting dari rele diferensial generator (87G), rele diferensial (87T), rele keseimbangan tegangan (60G), rele daya balik (32G), rele eksitasi lebih (24G) dan rele frekuensi (81G) sudah sesuai dengan hasil perhitungan dan standar IEEE yang digunakan. Namun untuk setting rele overall diferensial (87GT), rele hilang eksitasi (40G), rele jarak (21G), rele arus lebih generator (51/50G) terdapat perbedaan, sehingga perlu ditinjau untuk dilakukan perbaikan setting, sebagai berikut :

1. Rele overall diferensial (87GT)

Perbedaan nilai dikarenakan perbedaan pemilihan tap setting pada rele yang ada. Pada nilai setting input tap eksisting, nilai arus yang masuk ke tap rele merupakan nilai arus dari sekunder CT tidak dikalikan faktor koreksi. Apabila hal ini dibiarkan maka dapat menyebabkan rele overall diferensial salah kerja karena perbedaan arus masukan CT yang tidak sama, dan rele akan menganggap sebagai gangguan [5]. Berikut merupakan perhitungan setting input rele diferensial :

Hubungan CT Input 1 = wye
 Hubungan CT Input 2 = delta (Δ)

Setting tap :

- Input 1
 $I_R = I_S (\text{arus sekunder CT}) \times \text{Faktor Konversi}$
 $I_R = 3.81 \times 1 = 3.81 \text{ A}$

- Input 2
 $I_R = I_s(\text{arus sekunder CT}) \times \text{Faktor Konversi}$
 $I_R = 2.9 \times \sqrt{3} = 4.1 \text{ A}$

Berdasarkan perhitungan dengan memperhatikan faktor koreksi, maka setting input tap setelah dilakukan evaluasi dipilih input 4.2 A. Setelah dilakukan evaluasi, arus masukan CT ke rele diferensial menjadi sama / sefase sehingga tidak menyebabkan rele diferensial salah kerja.

2. Rele hilang eksitasi (40G)

Pada nilai *setting* eksisting baik pada unit GTG dan STG untuk rele hilang eksitasi hanya menggunakan 1 *setting* mho diameter (Z2) yaitu 32 ohm. Berdasarkan standard [6]. Nilai *setting* rele hilang eksitasi terdiri dua *setting* impedansi yaitu Z1 dan Z2.

Nilai *setting* Z1 adalah 1 pu, hal ini merupakan besar nilai Z base dari persamaan (14).

$$Z_{base}(\text{sekunder}) = 18.44 \Omega$$

Nilai *setting* Z2 diambil dari nilai reaktansi sinkron (Xd), yang berasal dari perhitungan

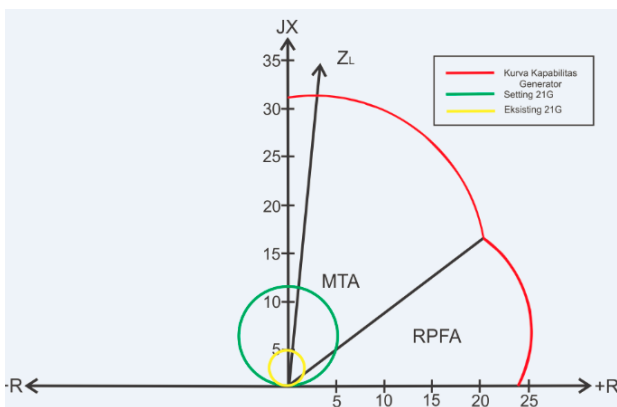
$$X_d(\text{sekunder}) = (Z_{base}) \times (X_d \text{ per unit})$$

$$X_d(\text{sekunder}) = 37.68 \Omega$$

Berdasarkan evaluasi yang dilakukan, dengan nilai *setting* yang baru rele akan lebih sensitif bekerja dalam mengenali gangguan ketika besar gangguan hilang eksitasi yang ditimbulkan lebih kecil dari *setting* Z2.

3. Rele Jarak Generator (21G)

Nilai *setting* impedansi eksisting pada zone 2 untuk unit GTG dan STG adalah 4.82 ohm, sedangkan *setting* hasil perhitungan untuk GTG 10.48 ohm dan untuk STG 10.47 ohm. Perbandingan *setting* eksisting dan hasil perhitungan rele jarak (21G) pada unit GTG ditunjukkan pada gambar 7.



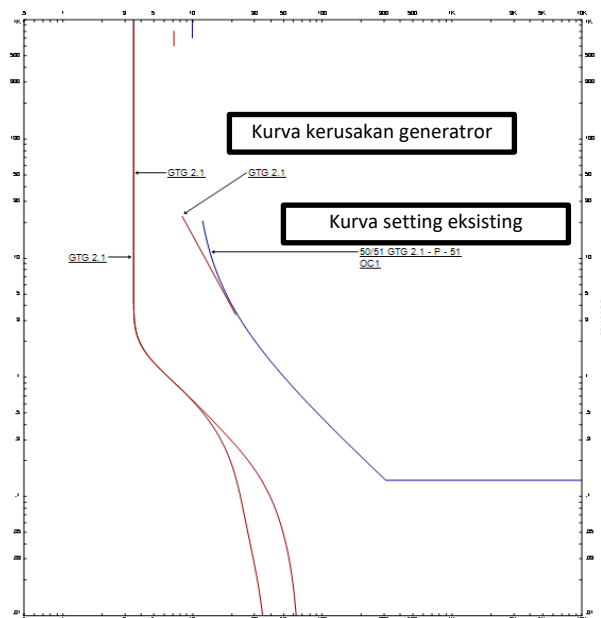
Gambar 7. Perbandingan *Setting* eksisting dan perhitungan rele jarak generator (21G) pada GTG

Berdasarkan gambar 7 sesuai kriteria standar [6], nilai *setting* impedansi eksisting tidak mencapai 2 kriteria yang ada, Jika hal ini dibiarkan maka akan mengakibatkan rele jarak generator tidak dapat menjangkau gangguan yang cukup jauh, sehingga rele ini kemungkinan salah kerja / tidak bekerja saat terjadi gangguan.

Untuk penyetelan waktu tunda dari nilai eksisting dan hasil perhitungan juga berbeda. Pada *setting* eksisting besar waktu tunda adalah 0.4 detik. Nilai *setting* ini belum memenuhi standar [6] karena sebagai proteksi cadangan untuk gangguan transmisi, *setting* waktu tunda rele 21G ini harus dikoordinasikan dengan *setting* waktu zone 2 rele jarak transmisi, sehingga dipilih waktu tunda 1 detik untuk mendapatkan koordinasi terbaik [7].

4. Rele Arus Lebih Generator (51G) dan Rele Gangguan Tanah (50G)

Pada nilai eksisting dan hasil perhitungan rele arus lebih generator (51G) dan rele gangguan tanah (50G) terdapat perbedaan. Pada *setting* eksisting rele arus lebih, nilai I pick up 1 A dengan nilai arus primer dari I set adalah 10000 A dan nilai TMS 0.303 detik. Sementara nilai eksisting rele gangguan tanah (50G) nilai I pick up 1 A dengan nilai arus primer dari I set adalah 10000 A dan nilai TMS 0.252 detik. Grafik *setting* rele 51/50G eksisting pada unit GTG ditunjukkan pada gambar 8.

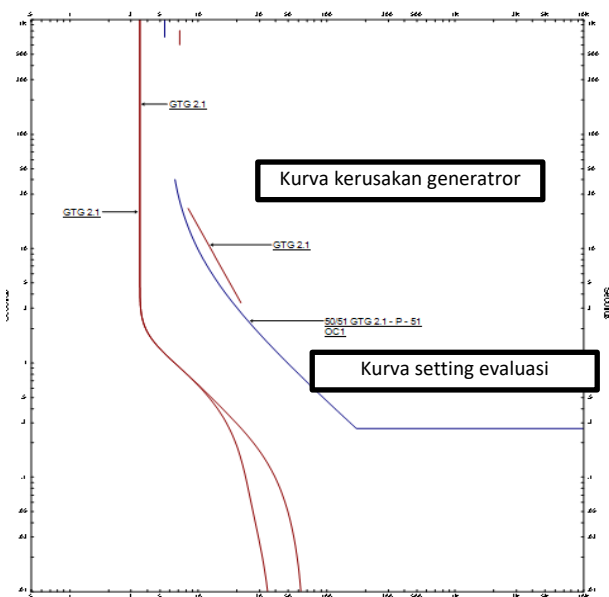


Gambar 8. Grafik kurva *setting* eksisting 51/50G

Berdasarkan gambar 8 dapat dilihat bahwa *damage curve* generator berada dibawah kurva *setting* rele arus lebih maupun rele gangguan tanah, hal ini akan membuat rele tidak *pick up* apabila terjadi gangguan pada bus generator.

Hal ini mengakibatkan rele kehilangan fungsi kerjanya untuk mengamankan generator.

Maka *setting* baru rele arus lebih (51G) dihasilkan, nilai *I pick up* 2.75 A dengan nilai arus primer dari I set adalah 5500 A dan nilai TMS 0.591 detik. Sementara untuk nilai *setting* baru dari rele gangguan tanah nilai *I pick up* 2.75 A dengan nilai arus primer dari I set adalah 5500 A dan nilai TMS 0.555 detik. Grafik *setting* rele 51/50G hasil evaluasi pada ditunjukkan pada gambar 4.9 berikut



Gambar 9. Grafik kurva *setting* evaluasi 51/50G

Berdasarkan gambar 9 dapat dilihat bahwa *damage curve generator* berada diatas nilai *setting* rele arus lebih maupun rele gangguan tanah, hal ini membuat rele akan *pick up* apabila terjadi gangguan pada bus generator. Apabila terjadi arus lebih ataupun gangguan tanah pada, maka rele akan bekerja untuk mengamankan generator untuk terhindar dari kerusakan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan didapatkan hasil bahwa *setting* rele diferensial generator (87G), rele diferensial trafo (87T), rele keseimbangan tegangan (60G), rele daya balik (32G), rele eksitasi lebih (24V/Hz) dan rele frekuensi (81G) masih layak untuk digunakan, karena sesuai dengan *standard* [6] dan [7]. Pada *setting* rele *overall* diferensial (87GT), nilai *setting* input 2 dari unit STG 2,9 A diubah 4,2 A sesuai standar [8] [5]. Pada *setting* rele jarak generator (21G), nilai *setting* impedansi (Z_f) sebelumnya 4.83 ohm diubah menjadi 10.48 ohm untuk GTG dan 10.47 ohm untuk STG sesuai standar [6]. Pada rele hilang eksitasi (40G), nilai *setting mho eksisting*

$Z_1=0$ ohm $Z_2=32$ ohm diubah menjadi $Z_1=14$ ohm dan $Z_2=32$ ohm sesuai standar [6]. Pada *setting* rele arus lebih generator (51G), pada unit GTG *I pickup* = 1 A dengan nilai TMS = 0.303 detik, diubah menjadi *I pickup* = 2.75 A dan TMS = 0.591 detik. Sementara untuk STG *I pickup* = 6.25 A dengan nilai TMS=0.2 detik, diubah menjadi *I pickup* = 3 A dan TMS = 0.471 detik, sesuai standar [7]. Pada *setting* rele gangguan tanah (50G), pada unit GTG *I pickup* = 1 A dengan nilai TMS = 0.283 detik, diubah menjadi *I pickup* = 2.75 A dan TMS = 0.555 detik. Sementara untuk STG *I pickup* = 6.25 A dengan nilai TMS=0.19 detik, diubah menjadi *I pickup* = 3 A dan TMS = 0.45 detik, sesuai standar [7]. Serta *setting* waktu tunda rele jarak generator (21G) 0,4 detik diubah menjadi 1 detik, sesuai standar[6].

Pada sistem proteksi generator dan trafo generator perlunya dilakukan evaluasi secara berkala pada sistem proteksi agar bekerja baik Untuk simulasi kerja *setting* rele jarak (21G) dapat dikembangkan dengan bantuan simulasi *software* lain.

Referensi

- [1] Rifgy Said Bamatraf, Margo Pujiantara, Dedet Chandra Riawan. 2011. “*Studi Koordinasi Proteksi Sistem Pembangkit UP Gresik (PLTG dan PLTU)*”. Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- [2] Wistawan Hari, R. Wahyudi, Sjamsjul Anam. 2013. “*Evaluasi Setting Rele Overall Differential GT 1.1 PLTGU Grati Dan Rele Jarak GITET Grati Pada Bus 500kV*”. Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- [3] P.M.Anderson. 2010. *Power System Protection*. Canada : IEEE Press Power Engineering Series.
- [4] Pamungkas, Ari Catur. 2015 “*Analisis Koordinasi Dan Setting Rele Proteksi Generator Dan Trafo Step Up Di PLTU Tanjung Jati B Unit 1*”. Universitas Diponegoro. Semarang.
- [6] Pandjaitan, Bonar. 2012. *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Andi.
- [7] PT PLN (Persero) Udiklat Semarang, *Koordinasi Proteksi Pembangkit Dengan Grid*.
- [8] SPLN 52-2 : 1995, *Pola Pengaman Sistem Bagian Dua : Generator*.
- [9] William D Stevenson, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Kamal Idris (Penterjemah). Jakarta: Erlangga, 1996.
- [10] Yuniarto. 2015 “*Setting Relay Diferensial Pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi*”. Universitas Diponegoro. Semarang