

ANALISIS KOORDINASI DAN *SETTING* RELE PROTEKSI GENERATOR DAN TRAFU *STEP UP* DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 1

Ari Catur Pamungkas^{*)}, Juningtyastuti, and Agung Nugroho

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}Email: *catur40132@gmail.com*

Abstrak

PLTU Tanjung Jati B merupakan salah satu pembangkit terbesar di Jawa Tengah dengan kapasitas daya 4 x 721,8 MW. Sejak pembangkit mulai dioperasikan hingga sekarang, belum pernah dilakukan analisis maupun evaluasi terhadap setting sistem proteksi generator dan trafo step up. Untuk meningkatkan performa sistem proteksi ini maka akan dilakukan analisis setting dan koordinasi rele proteksi pada PLTU Tanjung Jati B Unit 1 khususnya rele proteksi pada generator dan trafo step up dengan bantuan software ETAP 12.6.0. Setelah dilakukan analisis setting dan koordinasi, pada setting rele diferensial, setelah dilakukan evaluasi nilai setting input tap 2,2 A menjadi 3,8 A untuk input 2 dan 3,2 A menjadi 5,5 A untuk input 3. Pada setting rele jarak, setelah dilakukan analisis dan evaluasi, nilai setting impedansi yang sebelumnya 14,04 Ω menjadi 20,44 Ω . Pada setting waktu tunda rele jarak, dilakukan evaluasi dari 0,3 detik menjadi 1 detik. Pada rele arus lebih trafo step up, sebelum dilakukan evaluasi menggunakan karakteristik instant dengan Iset 15 A, setelah dilakukan evaluasi, ditambahkan elemen invers dengan time dial (TD) sebesar 2 detik. Pada rele arus lebih sisi netral tegangan tinggi trafo step up, setting time dial (TD) sebelum dilakukan evaluasi adalah 2 sekon, sedangkan setting TD setelah dilakukan evaluasi adalah 5,32 sekon.

Kata kunci : proteksi, relay, generator, trafo step up, PLTU.

Abstract

PLTU Tanjung Jati B is the one of the largest power plant in Central Java with a capacity of 4 x 721,8. At Unit 1, since the plant started operating until now, has never been done the analysis and reevaluation of the generator and step up transformer protection system setting. To improve the performance of this protection system then the protection setting in PLTU Tanjung Jati B Unit 1 particularly the protection of generator and step up transformer will be analyzed. The evaluation was carried out by using ETAP 12.6.0 software. After the analysis, on the differential relay setting, the input tap setting was evaluated from 2,2 A to 3,8 A for input 2 and 3,2 A to 5,5 A for input 3. In the phase distance relay setting, the reach of impedance setting was evaluated from 14,04 Ω to 20,44 Ω . Phase distance relay's time delay setting was evaluated from 0,3 second become 1 second. In the step up transformer over current relay setting, before evaluated the relay is set at 15 A with instantaneous characteristic, whereas after being evaluated the invers characteristic with 2 second time dial (TD) setting is added to relay setting. In the step up transformer neutral over current relay setting, time dial (TD) setting was evaluated from 2 s to 5,32 s.

Keyword: protection, relays, generator, step up transformers, PLTU.

1. Pendahuluan

PLTU Tanjung Jati B Unit 1 pertama kali sinkron ke sistem kelistrikan Jawa-Bali pada Oktober 2006. Menurut observasi di lapangan dan wawancara terhadap direksi PT PLN Pembangkitan Tanjung Jati B Unit 1 & 2 pada bulan Agustus 2015, sejak pembangkit mulai dioperasikan hingga sekarang, belum pernah dilakukan analisis maupun evaluasi terhadap *setting* sistem proteksi generator dan trafo step up.

Menurut Kanabar dkk [3] dalam jurnalnya yang berjudul “*Comprehensive Testing of Generator Protection System*”, bahwa *periodic maintenance test* (studi/uji/pemeliharaan secara berkala) terhadap sistem proteksi generator mutlak diperlukan untuk memvalidasi sistem proteksi generator apakah bekerja dengan semestinya. Selain itu juga direkomendasikan untuk dilakukan *troubleshooting testing* dengan mengumpulkan data dan status dari semua peralatan proteksi, sehingga keandalan dari sistem proteksi dapat dievaluasi menggunakan parameter “*security*” (sistem proteksi tidak beroperasi saat tidak dibutuhkan) dan parameter

“dependability” (sistem proteksi beroperasi saat dibutuhkan).

Menurut Kristianto [11] dalam penelitiannya yang berjudul “Evaluasi Kinerja Relé Arus Lebih Pada Generator”, proteksi terhadap generator dan trafo step up di pembangkit adalah hal yang sangat dibutuhkan karena berperan penting dalam mendeteksi adanya gangguan dan dapat mencegah kerusakan yang diakibatkan gangguan. Untuk dapat menjalankan fungsinya tersebut, relai proteksi harus memiliki setting yang baik. Hal ini dapat dicapai dengan melakukan evaluasi setting relai proteksi generator dan trafo generator agar dapat diketahui kelayakan dari setting relai tersebut.

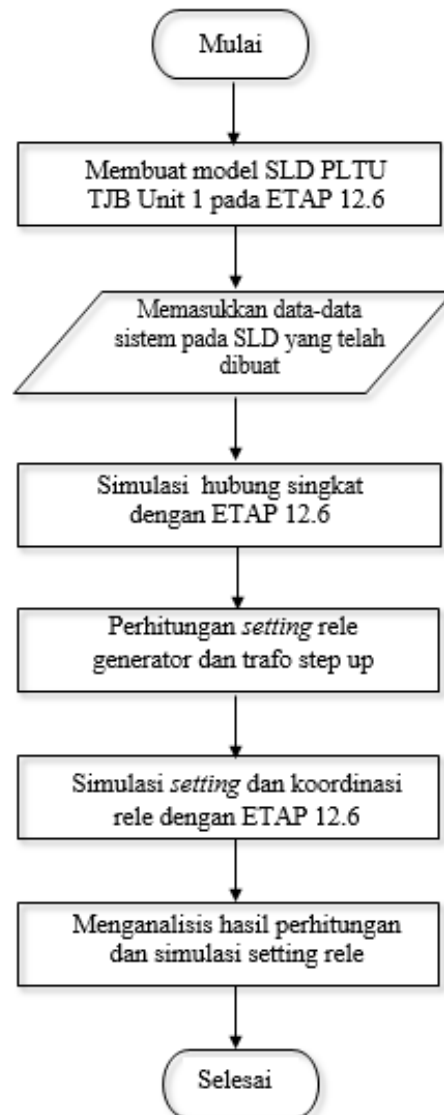
Selain melakukan evaluasi seting relai, koordinasi antar relai juga sangat penting. Relai-relai proteksi pada generator dan trafo generator bekerja saling berkoordinasi dalam mendeteksi gangguan dan mengisolasi gangguan tersebut. Untuk menjaga dan meningkatkan performa sistem proteksi perlu dilakukan suatu studi terhadap koordinasi yang terpasang. Hal ini diungkapkan oleh Bamatraf [9] dalam penelitiannya yang berjudul “Studi Koordinasi Proteksi Sistem Pembangkit UP Gresik (PLTG dan PLTU)”.

Atas dasar-dasar tersebut maka penulis mencoba untuk melakukan penelitian mengenai analisis *setting* dan koordinasi relé proteksi di PLTU Tanjung Jati B Unit 1 khususnya relé proteksi yang terpasang pada generator dan trafo step up. Dengan dilakukannya analisis ini, akan didapatkan setelan dan koordinasi yang baik sehingga dapat meningkatkan performa sistem proteksi generator dan trafo step up pada PLTU Tanjung Jati B Unit 1. Pemodelan dilakukan dengan diagram satu garis yang ada di PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dengan menggunakan bantuan *software* ETAP 12.6.0.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

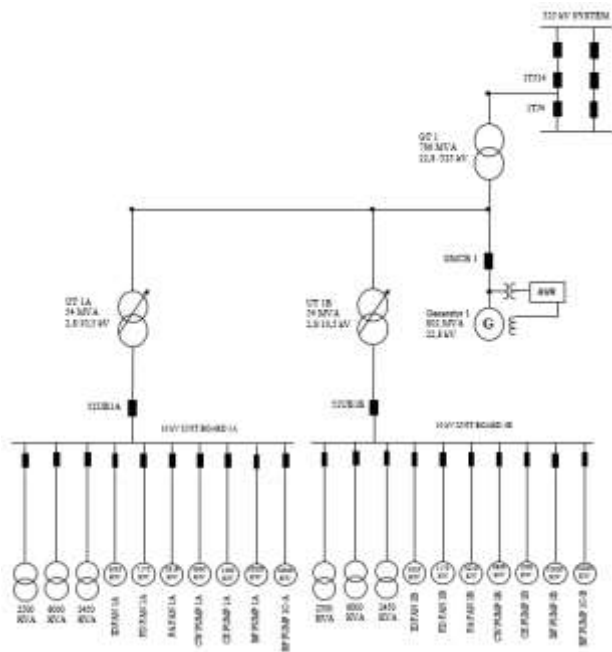
Pada penelitian ini terdapat beberapa metode yang diterapkan sebagai dasar metodologi penelitian dalam melakukan penelitian penelitian. Metodologi penelitian penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah penelitian analisis *setting* relé generator dan trafo step up.

2.2. Data Sistem

Diagram satu garis PLTU Tanjung Jati B Unit 1 ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Diagram Satu Garis PLTU TJB Unit 1

Adapun data-data yang diperlukan untuk analisis ini disajikan pada Tabel 1 sampai Tabel 14 berikut ini

Tabel 1. Data generator

Parameter	Spesifikasi
Merk	Toshiba
Type	Sinkron, 3 ϕ
Daya aktif	721.8 MW
Daya nyata	802 MVA
Tegangan	22.8 kV
Power Factor	0,9
Frekuensi	50 Hz
RPM	3000 RPM
Jenis rotor	Round / cylindrical
Eksitasi	Static dengan penyearah thyristor
Xd'' (Reaktansi Subtransien)	0,258 pu
Xd' (Reaktansi Transien)	0,327 pu
Xd (Reaktansi urutan positif)	2,23 pu
X ₂ (Reaktansi urutan negatif)	0,258 pu
X ₀ (Reaktansi urutan nol)	0,142 pu
Stator Connection	Star
(I ₂) ² t	8

Tabel 2. Data trafo step up

Parameter	Spesifikasi
Merk	Toshiba
Daya Output	786 MVA
Jumlah Fasa	3
Frekuensi	50 Hz
Tegangan	22.8 / 525 kV
Connection	Delta / Star
Impedansi (Z %)	16.5 %
Vektor Grup	YNd11
Tipe pendingin	ODAF
Grounding	Solid grounding titik netral sisi tegangan tinggi

Tabel 3. Data trafo UT1 & UT2

Parameter	Spesifikasi
Merk	Toshiba
Daya Output	54 MVA
Jumlah Fasa	3
Frekuensi	50 Hz
Tegangan	22.8 / 10.5 kV
Connection	Delta / Star
Impedansi (Z %)	16.5 %
Vektor Grup	dYn11
Tipe pendingin	ONAF
Grounding	Resistor grounding titik netral sisi tegangan tinggi

Tabel 4. Data GVCB

Parameter	Spesifikasi
Merk	ABB
Type	HEC 7C/8C
Rating tegangan	24 kV
Rating arus	24 kA
Rated breaking current	210 kA
Rated short time withstand current	210 kA

Tabel 5. Data busduct

Parameter	Spesifikasi
Type	Isolated phase busduct
Rating tegangan	22.8 kV \pm 5 %
Rating arus	21,4 kA
Rated short circuit withstand current	120 kA

Tabel 6. Data teknis kabel bawah tanah 550 kV

Parameter	Spesifikasi
Ukuran Kabel	2500 mm ²
Conductor / Cable	3/C
Insulation	XLPE
Type	CU
Z ₁ (Ohms/km)	0,016 + j 0,062
Z ₀ (Ohms/km)	0,213 + j 0,099
Panjang Saluran	95 meter

Tabel 7. Data saluran TJB-Ungaran

Parameter	Spesifikasi
Kode	Dove
Jumlah Sirkuit	2
Konduktor/Fasa (mm ²)	4 x 283
Z (ohm)	1.870 + 18.563j
Panjang	135 kms
Setting rele jarak	Z1= 14.92 Ω (instant) ; Z2= 22.38 Ω (0.4 s); Z3= 47.24 Ω (1.2 s)

Tabel 8. Data rele diferensial

Parameter	Spesifikasi
Merk	Basler Electric
Type	BE1-87T-G3E-A1J-COS0F
Setting Range :	
• Input	2.0 – 8.9 A (0.1 A step)
• Slope	15 – 60% (5% step)

Tabel 9. Data rele hilang eksitasi

Parameter	Spesifikasi
Merk	GEC – MYTU
Tipe	GEC – MYTU – 6620800004
Setting Range :	
• Mho offset	1.6-2-2.5-3.2-4-5-6-3-8 Ω
• Mho Diameter	8-10-12-5-16-20-25-32-40-60-63 Ω
• Time Delay	0.4 – 4.4 sekon (0.4 sekon step)

Tabel 10. Data rele daya balik

Parameter	Spesifikasi
Merk	Basler Electric
Tipe	BE1-32R-E1E-E1P-AON1F
Setting Range :	
• Pick up tap	A(1.5)-B(3.0)-C(4.5)-D(6.0)-E(7.5)-F(9.0)-G(10.5)-H(12.0)
• Time Delay	0.1– 9.9 dtk (0.1 dtk step) ; 1 – 99 dtk (1 dtk step)

Tabel 11. Data rele urutan negative

Parameter	Spesifikasi
Merk	Basler Electric
Tipe	BE1-46N-G2E-B8P-A2N1F
Setting Range :	
• Pick up	1 – 50 % (1 % step)
• Time Delay	10 – 990 sekon (10 sekon step)
• K set	1 – 99 (1 % step)

Tabel 12. Data rele eksitasi lebih

Parameter	Spesifikasi
Merk	Basler Electric
Tipe	BE1-24-A1E-F1J-C1S2F
Setting Range :	
• Pick up	1.0– 3.99 V/Hz (0.01 V/Hz step)
• Time Delay	0.1 – 10 sekon (0.1 sekon step)

Tabel 13. Data rele jarak generator

Parameter	Spesifikasi
Merk	General Electric
Tipe	GEC MZTU 34
Setting Range :	
• Circle radius	0.5-0.625-0.75-0.875-1-1.125-1.25 Ω 1-1.25-1.5-1.75-2-2.25-2.5-3-3.5-4 Ω 2-2.5-3-3.5-4-4.5-5-6-7-8 Ω
• Time Delay	0.1 – 1.1 s (0.1 step) & 0.2 – 2.2 s (0.2 step)

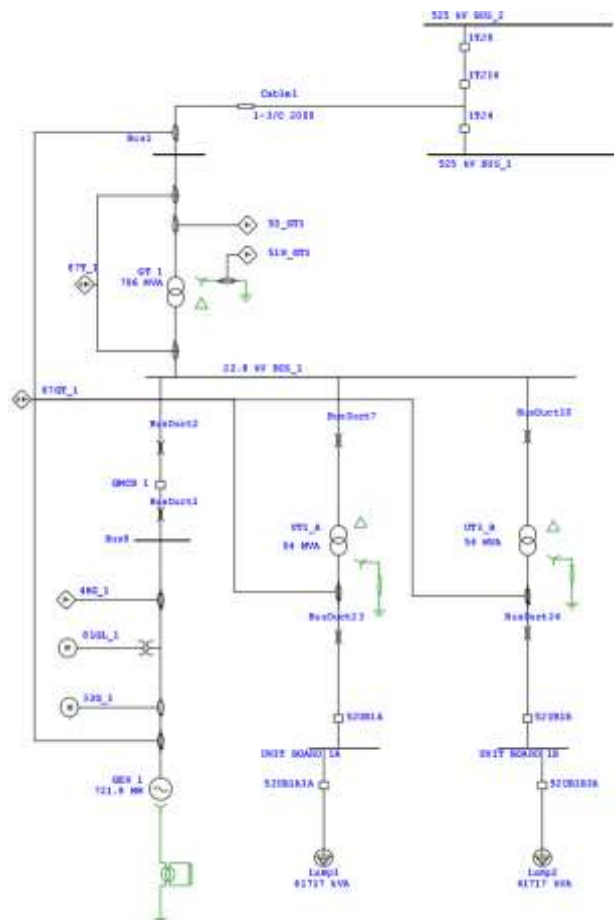
Tabel 14. Data rele arus lebih

Parameter	Spesifikasi
Merk	General Electric
Tipe	BE1-50/51
Setting Range :	
• Pick up	0.5 – 15.9 A (continuously adjustable)
• Time delay	0 – 9.9 s (0.1 step)
• Curve Type	S,L,D,M,I,V,E,F

2.3. Pemodelan

Berdasarkan pada diagram satu garis PLTU Tanjung Jati B Unit 1 maka dapat dibuat pemodelan diagram satu garis

menggunakan program ETAP 12.6.0 seperti pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Pemodelan Diagram Satu Garis PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dengan ETAP 12.6.0

3. Hasil dan Analisa

3.1. Simulasi Arus Gangguan Hubung Singkat ETAP 12.6.0

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi arus gangguan hubung singkat menggunakan software ETAP 12.6.0 pada bus generator, bus sisi tegangan rendah dan sisi tegangan tinggi trafo step up seperti yang ditunjukkan pada Tabel 15.

Tabel 15. Hasil simulasi arus gangguan hubung singkat

Unit	Isc Max (A)				Isc Min (A)			
	LLL	LL	LLG	LG	LLL	LL	LLG	LG
Bus 1	2064	1787	2494	2587	1780	1601	2217	2357
Bus 8	78400	67897	67899	9	62077	56981	56983	9
Bus 22,8 kv	78400	67897	67899	9	62077	56981	56983	9
Board 1A	35513	30755	30855	399	20195	17639	17738	399
Board 1B	35513	30755	30855	399	20195	17639	17738	399

Keterangan :
 LLL= Arus gangguan 3 fasa
 LL= Arus gangguan 2 fasa
 LLG= Arus gangguan 2 fasa ke tanah
 LG= Arus gangguan 1 fasa ke tanah

3.2. Perhitungan Setting Rele

3.2.1. Rele Diferensial (87GT & 87T)

Rele diferensial pada sistem proteksi generator dan trafo step up terdiri dari rele overall diferensial (87GT) dan rele diferensial trafo step up (87T). Keduanya memiliki cara perhitungan setting yang sama, sebagai berikut :

- 1) Menghitung setting input tap dengan persamaan :

$$Input\ tap = I_s \times faktor\ konversi \quad (1)$$

Dimana

I_s = arus sekunder CT (A)

Faktor konversi = untuk phase shift jumper :

$$WYE = 1 ; \Delta = \sqrt{3}$$

- 2) Menghitung total mismatch, dengan persamaan :

$$M_T = M_{CT} + LTC \quad (2)$$

(2)

Dimana

M_T = mismatch total (%)

M_{CT} = mismatch CT (%)

LTC = mismatch dari load tap changer

- 3) Menghitung setting slope dengan persamaan :

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

Dimana

S = setting slope

M_T = mismatch total

- 4) Menghitung arus setting, dengan persamaan :

$$I_r = \max(|I_{F1}|, |I_{F2}|) \quad (5)$$

$$I_{set\ gangguan\ dalam} = S (slope) \times I_r \quad (6)$$

dimana

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 & 87T) sesuai dengan persamaan (1) sampai (6) dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil perhitungan setting rele diferensial

Keterangan	Setting 87GT	Setting 87T
Setting tap (A) :		
•Input 1	4,1	4,1
•Input 2	3,8	3,8
•Input 3	5,5	
Slope (%)	40	20
I_r in (A)	12,41	12,41
I_r eks (A)	25,31	25,31
I_{set} in (A)	4,96	2,48
I_{set} eks (A)	25,31	25,31
Waktu operasi (sekon)	0,02	0,02

3.2.2. Rele Keseimbangan Tegangan (60G)

Menurut Bonar Pandjaitan^[16], relay keseimbangan tegangan disetting sebesar 15% dari tegangan nominal generator. Hasil perhitungan setting relay keseimbangan tegangan dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Hasil perhitungan setting rele 60G

Keterangan	Setting
Rasio VT (V)	22800 / 110
V nominal (V)	110
Vpickup (%)	15
Vpickup (V)	16,5

3.2.3. Rele Daya Balik (32G)

Hasil perhitungan setting rele daya balik dapat dilihat pada Tabel 18 menggunakan Persamaan (7).

$$P_{m\ sekunder} = \frac{P_{m\ primer}}{(rasio\ CT) \times (rasio\ PT)} \quad (7)$$

dimana

$P_{m\ sekunder}$: Daya motoring sisi sekunder CT dan PT (W).

$P_{m\ primer}$: Daya motoring sisi primer CT dan PT (W).

Tabel 18. Hasil perhitungan setting rele daya balik (32G)

Keterangan	Setting
$P_{m\ primer}$ (MW)	3,609
$P_{m\ sekunder}$ (W)	3,48
Pick up tap (W)	3
Time delay	30 sekon

3.2.4. Rele Urutan Negatif (46G)

Hasil perhitungan setting relay urutan negatif dapat dilihat pada Tabel 19 menggunakan Persamaan (9).

$$I_{2pu}^2 \times t = K \quad (8)$$

dimana

I_{2pu} : Arus urutan negatif dalam pu.

t : Waktu operasi rele urutan negatif (detik).

K : Konstanta thermal.

Tabel 19. Hasil perhitungan setting rele urutan negatif

Keterangan	Setting
Setting pick up (%)	8
I_2 rele (A)	0,336
I_2 rele (pu)	0,08
Time delay (detik)	1250

3.2.5. Rele Hilang Eksitasi (40G)

Hasil perhitungan setting rele hilangnya eksitasi dapat dilihat pada Tabel 20 menggunakan Persamaan (9) dan (10).

$$Offset\ tap = \frac{X'_d}{2} \quad (9)$$

$$Diameter = X_s \quad (10)$$

Dimana

X'd = reaktansi transien (Ω)

Xs = reaktansi sinkron (Ω)

Tabel 20. Hasil perhitungan setting rele hilangnya eksitasi

Keterangan	Setting
Mho offset (Z1)	2,5 Ω
Mho Diameter (Z2)	32 Ω
Waktu tunda (sekon)	0,6 s

3.2.6. Rele Eksitasi Lebih (24)

Hasil perhitungan setting relay eksitasi lebih dapat dilihat pada Tabel 21 menggunakan Persamaan (11) dan (12).

$$Time\ trip\ Pickup = 105\% \times (V/Hz\ nominal) \quad (11)$$

$$Instant\ Pickup = 118\% \times (V/Hz\ nominal) \quad (12)$$

Tabel 21. Hasil perhitungan setting rele eksitasi lebih

Keterangan	Setting
Time trip pick up (V/Hz)	2,31
Instant pick up (V/Hz)	2,60

3.2.7. Rele Frekuensi (81)

Pada Penelitian ini tidak dilakukan perhitungan setting rele frekuensi, tetapi rele ini akan dianalisis apakah settingnya sesuai dengan SPLN. Setting rele frekuensi yang terpasang ditunjukkan pada Tabel 22.

Tabel 22. Setting rele frekuensi generator

Setelan	Under Frequency	Over Frequency
Fpickup (Hz)	48,5	51
Waktu tunda (detik)	150	90

Berdasarkan standar SPLN, pada frekuensi operasi normal ($49.5\text{ Hz} \leq f \leq 50.5\text{ Hz}$), rele frekuensi tidak boleh bekerja. Sedangkan pada frekuensi $49.5\text{ Hz} \leq f \leq 50.5\text{ Hz}$ rele boleh trip dengan waktu tunda. Berdasarkan Tabel 22, maka setting rele frekuensi yang terpasang sudah tepat karena sesuai dengan SPLN.

3.2.8. Rele Jarak Generator (21G)

Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.102 – 2006 [1], setting impedansi rele jarak (21G) dipilih nilai terkecil dari kriteria berikut ini :

- 120% dari impedansi saluran transmisi yang terhubung ke pembangkit.
- 67 % dari impedansi beban (Z_{LOAD}) pada rating sudut faktor daya / rated power factor angel (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 berikut.

$$Z_{LOAD} = \frac{kV_G^2}{MVA_G} \times \frac{Rasio\ CT}{Rasio\ PT} \quad (13)$$

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

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

Hasil perhitungan setting rele jarak generator dapat dilihat pada Tabel 23 berikut ini.

Tabel 22. Hasil perhitungan setting rele 21G

Keterangan	Setting
Jangkauan Impedansi (Zf)	20,44 Ω
Waktu tunda (detik)	1 sekon

3.2.9. Rele Arus Lebih Trafo Step Up (50GT)

Hasil perhitungan setting relay arus lebih dapat dilihat pada Tabel 23 menggunakan Persamaan (14), (15) dan (16).

$$Iset = 1,05 \times FLA \leq Iset \leq 0,8 \times Ifault \quad (14)$$

$$I\ pick\ up = \frac{Iset}{CT\ primer} \quad (15)$$

$$TD = \left[\left(\frac{5,95}{\left(\frac{Ifault}{Iset} \right)^2 - 1} \right) + 0,18 \right] \quad (16)$$

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

Tabel 23. Hasil perhitungan setting rele 50G

Keterangan	Setting
Arus seting (Iset)	6000 A
Arus pick up (Ipick up)	3 A
Karakteristik Kurva	Inverse (I)
Waktu operasi (t operate)	900 msec
Time Dial (TD)	2

3.2.10. Rele Gangguan Tanah Sisi Netral Tegangan Tinggi Trafo Step Up (51NT)

Hasil perhitungan setting relay arus lebih dapat dilihat pada Tabel 24 menggunakan Persamaan (16), (17) dan (18).

$$Iset = 1,05 \times FLA \leq Iset \leq 0,8 \times Ifault \quad (16)$$

$$I\ pick\ up = \frac{Iset}{CT\ primer} \quad (17)$$

$$t = \frac{TD}{7} \left[\left(\frac{0,02394}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \right) + 0,01694 \right] \quad (18)$$

Dimana

I_{set} = arus setting rele (A)

I_{pick up} = arus pick up (A)

I_{fault} = arus gangguan hubung singkat (A)

FLA = arus beban penuh (A)

Top = waktu operasi rele

Tabel 24. Hasil perhitungan setting rele 51NT

Keterangan	Setting
Arus setting (I _{set})	1500 A
Arus pick up (I _{pick up})	1,5 A
Karakteristik kurva	Short time inverse (S)
Waktu operasi (t _{operate})	700msec
Time Dial (TD)	5,32

3.3. Analisis

3.3.1. Analisis Setting Rele Proteksi

Berdasarkan data setting eksisting dan data setting hasil perhitungan, setting rele proteksi maka dibuat tabel perbandingan setting rele proteksi antara eksisting dan hasil perhitungan yang disajikan dalam Tabel 25 berikut.

Tabel 25. Perbandingan setting rele proteksi antara eksisting dan hasil perhitungan

Uraian	Eksisting	Hasil perhitungan
Rele Overall Differential (87GT)		
• Setting Tap (A)		
Input 1	4,1 A	4,1 A
Input 2	2,2 A	3,8 A
Input 3	3,2 A	5,5 A
• Restraint pick up slope (%)	40 %	40 %
• Iset gangguan internal (A)	4,96	4,96
• Iset gangguan eksternal (A)	25,31	25,31
Rele Diferensial Trafo Generator (87T)		
• Setting Tap (A)		
Input 1	4,1	4,1
Input 2	2,2	3,8
• Restraint pick up slope (%)	20 %	20 %
• Iset gangguan internal (A)	2,48	2,48
• Iset gangguan eksternal (A)	25,31	25,31
Rele Keseimbangan Tegangan (60G)		
• V _{pickup} (%)	15	15
Rele Urutan Negatif (46N)		
• Setting pick up (%)	8	8
• Time Delay (sekon)	1250	990
Rele Daya Balik (32G)		
• Pick up tap (Watt)	3	3
• Time Delay (sekon)	2	2
Rele Hilang Eksitasi (40G)		
• Mho Offset (Z1)	2,5 Ω	2,5 Ω
• Mho Diameter (Z2)	32 Ω	32 Ω
Rele Eksitasi Lebih (24 V/Hz)		
• Instant pick up (V/Hz)	2,60	2,60
• Time Trip pick up (V/Hz)	2,31	2,31

Tabel 25. (Lanjutan)

Uraian	Eksisting	Hasil perhitungan
Rele Frekuensi (81G)		
• Under frequency		
Fpickup (Hz)	48,5	48,5
Time delay (sekon)	150	150
• Over frequency		
Fpickup (Hz)	51	51
Time delay (sekon)	150	150
Rele Jarak Generator (21G)		
• Setting impedansi (Ω)	14,03	20,44
• Waktu tunda (sekon)	0,3	1
Rele Arus Lebih Trafo Generator (50/51GT)		
• Pick up	3 A	3 A
• I set	15 A	15 A
• Karakteristik	Instantaneous	Inverse
• Time Dial (TD)	-	2
• Waktu tunda	-	1 sekon
Rele Gangguan Tanah Sisi Netral Tegangan Tinggi Trafo Generator (51NT)		
• Pick up	2,6 A	1,5 A
• I set	13 A	7,5 A
• Karakteristik	Short Time Inverse	Short Time Inverse
• Time Dial (TD)	2	5,32
• Waktu tunda	0,4 sekon	0,7 sekon

Berdasarkan pada Tabel 4.18 diatas dapat dilihat bahwa untuk setting eksisting dari rele hilang eksitasi (40G), rele daya balik (32G), rele eksitasi lebih (24 V/Hz), dan rele arus urutan negatif (46G), rele keseimbangan tegangan (60G) dan rele frekuensi (81G) sudah sama dengan hasil perhitungan *setting*. Sedangkan untuk rele *overall differential* (87GT), rele diferensial trafo step up (87T), rele jarak generator (21G), rele arus lebih trafo generator (50GT), dan rele gangguan tanah sisi netral tegangan tinggi trafo step up (50N GT) terdapat perbedaan antara data *setting* eksisting dengan hasil perhitungan, sehingga perlu ditinjau untuk dilakukan perubahan *setting*, sebagai berikut:

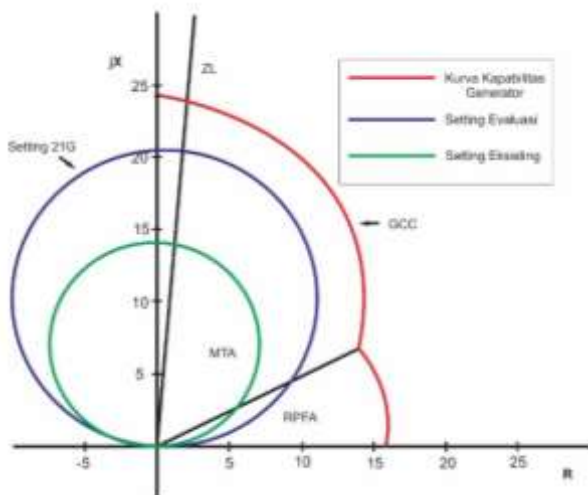
a. Pada rele diferensial, baik itu rele *overall differential* (87GT) maupun rele diferensial trafo step up (87T), terlihat bahwa pada *setting* input tap rele eksisting untuk input 2 sebesar 2,2 A dan input 3 sebesar 3,2 A, sedangkan *setting* input tap hasil perhitungan untuk input 2 adalah 3,8 A dan input 3 adalah 5,5 A. Perbedaan ini dikarenakan pada *setting* input tap eksisting, nilai arus sekunder CT (I_s) tidak dikalikan dengan faktor konversi, tetapi langsung menggunakan nilai arus sekunder CT (I_s) sebagai *setting* input tap. Jika hal ini dibiarkan maka dapat menyebabkan rele diferensial salah kerja karena perbedaan arus masukan CT yang tidak sama, dan akan dilihat oleh rele diferensial sebagai gangguan [26]. Sehingga seharusnya perhitungan *setting* input tap rele diferensial adalah sebagai berikut.

Hubungan CT Input 1= WYE
 Hubungan CT Input 2= Delta (Δ)
 Hubungan CT Input 3= Delta (Δ)
 Setting input tap :

- Input 1
 $I_R = I_S(\text{ arus sekunder CT}) \times \text{Faktor Konversi}$
 $= 4.06 \times 1 = 4.06 \text{ A}$
- Input 2
 $I_R = I_S(\text{ arus sekunder CT}) \times \text{Faktor Konversi}$
 $= 2.2 \times \sqrt{3} = 3.81 \text{ A}$
- Input 3
 $I_R = I_S(\text{ arus sekunder CT}) \times \text{Faktor Konversi}$
 $= 3.15 \times \sqrt{3} = 5.45 \text{ A}$

Berdasarkan perhitungan *setting* input tap diatas, nilai *setting* input tap setelah dilakukan evaluasi (dengan hasil perhitungan) untuk input 2 dan 3 adalah 3,8 A dan 5,5 A. Setelah dilakukan evaluasi, diharapkan arus masukan CT ke rele diferensial menjadi sama / sefase sehingga tidak menyebabkan rele diferensial salah kerja.

- b. Pada rele jarak generator (21G), terdapat perbedaan nilai *setting* impedansi antara eksisting dan hasil perhitungan. Nilai *setting* impedansi eksisting adalah 14,03 Ω sedangkan *setting* hasil perhitungan adalah 20,44 Ω . Perbandingan *setting* eksisting dan *setting* hasil evaluasi (hasil perhitungan) rele jarak generator (21G) ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Diagram perbandingan setting eksisting dan hasil perhitungan rele 21G

Menurut standar IEEE C37.102–2006 [1], *setting* impedansi rele jarak generator (21G) adalah dipilih nilai terkecil dari :

- 120% dari impedansi saluran transmisi yang terhubung ke pembangkit, dengan nilai
 $Z_f = 120\% \times 18,65 \Omega = 22,38 \Omega < 84^\circ$

- 67 % dari impedansi beban (Z_{LOAD}) pada rating sudut faktor daya / *rated power factor angle* (RPFA), yaitu $20,44 \Omega < 85^\circ$

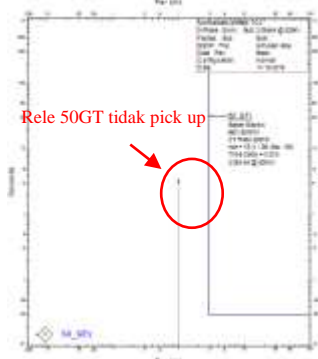
Dari 2 kriteria tersebut, nilai Z_f terkecil adalah 20,44 Ω , sehingga dipilih *setting* impedansi 20,44 Ω sebagai *setting* rele jarak 21G.

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa nilai *setting* impedansi eksisting (lingkaran warna hijau) adalah 14,03 Ω , dan nilai ini bahkan tidak mencapai nilai dari dua kriteria menurut standar IEEE C37.102–2006 [1] tersebut diatas. Jika hal ini dibiarkan maka akan mengakibatkan rele jarak generator tidak dapat menjangkau gangguan yang cukup jauh, sehingga rele ini dapat salah kerja / tidak bekerja saat terjadi gangguan.

Setelah dilakukan evaluasi dengan hasil perhitungan yang sesuai standar IEEE C37.102–2006 [1], didapatkan *setting* impedansi rele 21G (lingkaran warna biru), yang ditunjukkan pada Gambar 4.39, dengan nilai *setting* 20,44 Ω . Nilai *setting* tersebut sudah sesuai dengan kriteria perhitungan *setting* impedansi rele 21G.

Permasalahan lain yang juga penting untuk *setting* rele 21G ini adalah penyetelan waktu tunda. Waktu tunda eksisting rele 21G ini diset 0,3 sekon. Nilai *setting* ini belum sesuai standar IEEE C37.102–2006 [1] 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 sekon untuk mendapatkan koordinasi terbaik.

- c. Pada rele arus lebih trafo step up (50GT) terdapat perbedaan antara *setting* eksisting dengan hasil perhitungan. Pada *setting* eksisting rele arus lebih trafo step up (50GT) dipilih *setting* instant dengan pick up atau *setting high set* ($I \gg$) sebesar 15 A atau dalam nilai primer adalah 6000 A. Grafik *setting* rele 50GT eksisting dapat dilihat pada Gambar 5.

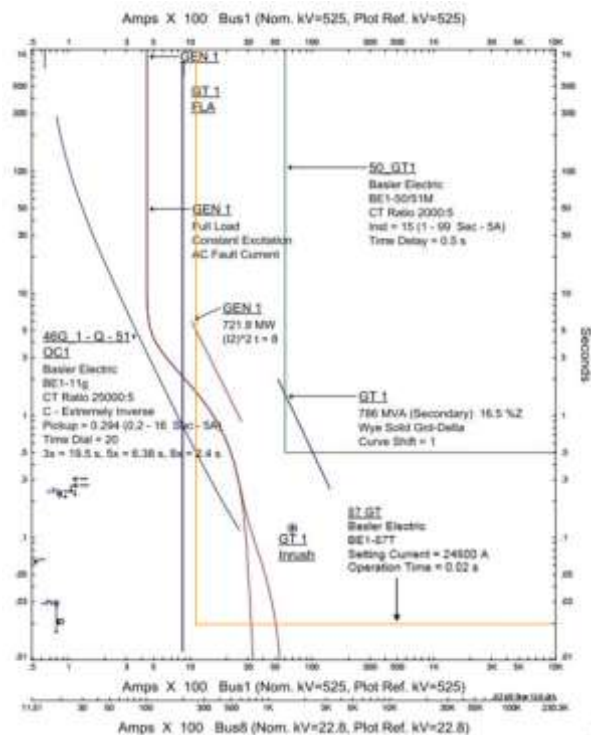


Gambar 5. Grafik setting rele 50GT sebelum dilakukan evaluasi

Pada Tabel 25 tersebut terlihat bahwa rele diferensial (87GT & 87T), rele urutan negatif (46G) dan rele daya balik (32G) antara eksisting dan hasil perhitungan memiliki waktu kerja yang sama, akan tetapi untuk rele arus lebih (50GT & 51NGT) terjadi perbedaan waktu kerja antara eksisting dan hasil perhitungan, dengan analisis sebagai berikut :

a. Setting Eksisting

Waktu kerja rele 51NGT pada *setting* eksisting lebih cepat dibandingkan waktu kerja pada hasil evaluasi (hasil perhitungan). Rele 50GT pada *setting* eksisting tidak pick up / tidak kerja saat terjadi gangguan hubung singkat pada bus 1 (gangguan tiga fasa, dua fasa, dua fasa ketanah, maupun satu fasa ketanah). Kurva koordinasi rele pada *setting* eksisting pada ETAP 12.6.0 ditunjukkan pada Gambar 6.



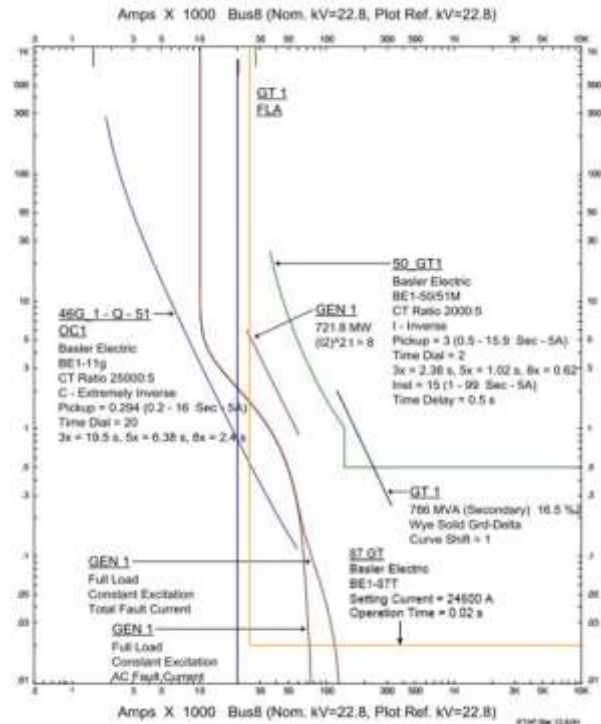
Gambar 6. Kurva koordinasi rele sebelum dilakukan evaluasi

Dari Gambar 6, rele 50GT yang digambarkan dengan garis warna hijau, disetting menggunakan karakteristik instant. Hal ini menyebabkan rele tidak dapat pick up / kerja saat terjadi gangguan pada sisi tegangan tinggi trafo. Sehingga gangguan yang terjadi hanya diputus oleh rele diferensial (87GT), yang digambarkan dengan garis warna oranye, sebagai proteksi utama.

b. Setting Evaluasi

Setelah dilakukan evaluasi *setting* dengan hasil perhitungan, rele 51NT sudah bekerja dengan waktu yang lebih lambat sesuai peruntukannya sebagai rele proteksi

cadangan. Selain itu, rele 50GT juga sudah dapat pick up / bekerja saat terjadi gangguan pada Bus 1, dengan waktu kerja yang sudah dikoordinasikan dengan proteksi utama. Kurva koordinasi rele pada *setting* setelah dilakukan evaluasi pada ETAP 12.6.0 ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva koordinasi rele setelah dilakukan evaluasi

Berdasarkan kurva tersebut, elemen invers sudah ditambahkan pada *setting* 50GT sehingga bila terjadi gangguan hubung singkat, rele dapat bekerja memutus gangguan jika rele diferensial (87GT) gagal bekerja. Dari kurva tersebut juga terlihat bahwa rele 50GT disetel dibawah *damage curve* trafo (garis warna hitam), sehingga setelah rele 50GT ini sudah baik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada Penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan analisis *setting* rele proteksi generator dan trafo step up di PLTU Tanjung Jati B Unit 1, maka didapatkan hasil bahwa untuk *setting* rele rele keseimbangan tegangan, rele daya balik, rele hilangnya eksitasi, rele urutan negatif, rele eksitasi lebih dan rele frekuensi masih layak untuk digunakan, karena sesuai dengan standar IEEE C37.102 – 2006.
2. Setelah dilakukan analisis *setting* rele proteksi generator dan trafo step up di PLTU Tanjung Jati B Unit 1, maka didapatkan hasil bahwa :
 - a. pada *setting* rele diferensial (87GT & 87T), nilai *setting* input tap untuk input 2 sebelumnya 2,2 A

- menjadi 3,8 A dan pada input 3 yang sebelumnya 3,2 A menjadi 5,5 A.
- b. pada *setting* rele jarak generator, nilai *setting* impedansi (Z_f) sebelumnya 14,03 Ω menjadi 20,44 Ω .
 - c. pada *setting* rele arus lebih trafo *step up* (50GT), *setting* sebelumnya yang dipakai adalah karakteristik instant dengan $I_{set} = 15$ A (sekunder), setelah dilakukan evaluasi, ditambahkan elemen karakteristik *inverse* dengan $I_{pickup} = 3$ A dan $time\ dial = 2$ s.
 - d. pada *setting* rele arus lebih sisi netral tegangan tinggi trafo *step up* (51NT), *setting time dial* (TD) sebelumnya adalah 2 sekon, menjadi 5,32 s.
3. Setelah dilakukan analisis koordinasi rele proteksi generator dan trafo *step up* di PLTU Tanjung Jati B Unit 1, maka didapatkan hasil bahwa :
 - a. pada *setting* waktu tunda rele jarak generator (21G) yang sebelumnya adalah 0,3 detik menjadi 1 detik, sehingga dapat menghasilkan koordinasi yang baik dengan proteksi saluran transmisi sesuai IEEE C37.102- 2006.
 - b. pada *setting* rele arus lebih trafo *step up* (50GT), waktu operasi rele yang sebelumnya adalah seketika, menjadi 0,7 detik dengan tujuan rele dapat bekerja / pick up saat terjadi gangguan di bus tegangan tinggi trafo.
 - c. pada *setting* rele arus lebih sisi netral tegangan tinggi trafo *step up* (51NT), *setting* waktu operasi yang sebelumnya 0,4 detik menjadi 0,7 detik.
 4. Setelah dilakukan *setting* ulang terhadap rele yang belum sesuai dengan standar (IEEE C37.102- 2006 & SPLN), dari hasil simulasi pada Tabel 4.18 didapatkan:
 - a. rele arus lebih trafo *step up* (50GT) sudah dapat bekerja / pick up saat terdapat gangguan di bus tegangan tinggi trafo *step up*, sehingga performa dan keandalan sistem proteksi semakin baik.
 - b. pada rele arus lebih sisi netral tegangan tinggi trafo *step up* (51NT), terjadi kenaikan waktu kerja rele dari sebelumnya, sehingga rele ini menjadi lebih baik koordinasinya sebagai rele cadangan.

Referensi

- [1]. *IEEE Guide for AC Generator Protection*, ANSI/IEEE C37.102 – 2006.
- [2]. *Network Protection and Automation Guide Protective Relays, Measurements, and Control*, Alstom Grid – May 2011
- [3]. Mital Kanabar, Zhiying Zhang, dkk. *Comprehensive Testing of Generator Protection System*. 2010
- [4]. Charles J. Mozina, *Impact of Power System Instability on Generator Protection*, IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, Orlando – 2012.
- [5]. Working Group J-5 of the Power System Relay Committee, *Coordination of Generator Protection With Generator Excitation Control And Generator Capability*, IEEE Power engineering Society General Meeting – 2007.
- [6]. PT PLN (Persero) Udiklat Semarang, *Koordinasi Proteksi Pembangkit Dengan Grid*.
- [7]. SPLN 52-2 : 1995, *Pola Pengaman Sistem Bagian Dua : Generator*.
- [8]. *Instruction Manual for Transformer Differential Relay BE1-87T*, Basler Electric – 2007.
- [9]. 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.
- [10]. Istimaroh, Anaa, Nasrun Hariyanto, & Syahrial. 2013. “*Penentuan Setting Rele Arus Lebih Generator dan Rele Diferensial Transformator Unit 4 PLTA Cirata II*”. Institut Teknologi Nasional Bandung.
- [11]. Kristanto, Prima Hotlan. 2009. “*Evaluasi Kinerja Rele Arus Lebih Pada Generator*”. Universitas Indonesia.
- [12]. Saragi, Irwan Rinaldi. 2009. “*Sistem Proteksi Pembangkit, Sistem Proteksi Generator dan Sistem Proteksi Trafo Pembangkit*”. Universitas Negeri Medan.
- [13]. Fitriyani, Maria Oktavia. 2015. “*Evaluasi Relay Proteksi Generator dan Trafo Generator di PLTGU Tambak Lorok Blok 1*”. Universitas Diponegoro.
- [14]. S.Rao, Sunil. 2010. *Switchgear Protection and Power Systems*. Delhi : Khanna Publishers.
- [15]. P.M. Anderson. 2010. *Power System Protection*. Canada : IEEE Press Power Engineering Series.
- [16]. Pandjaitan, Bonar. 2012. *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Andi.
- [17]. Edward Chikuni dan Mohammed Toriq Khan. *Electrical Engineering*. Cape Town, South Africa: Juta, 2008.
- [18]. *Relai Proteksi Peralatan Pembangkit*, PLN Pusat Pendidikan dan Pelatihan.
- [19]. J Lewis Blackburn dan Thomas J Domin, *Protective Relaying Principles And Applications*. USA: CRC Press, 2004.
- [20]. Hewitson, L.G. 2004. “*Practical Power System Protection*”. Elsevier. Oxford.