

# Penentuan Setting Rele Arus Lebih Generator dan Rele Diferensial Transformator Unit 4 PLTA Cirata II

**ANAA ISTIMAROH, NASRUN HARIYANTO, SYAHRIAL**

Jurusan Teknik Elektro – Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung  
Email: aisma38@gmail.com

## **ABSTRAK**

*Generator dan transformator adalah dua peralatan utama untuk menghasilkan listrik. Dalam pengoperasiannya tidak selalu berjalan normal, melainkan kadang-kadang terjadi gangguan yang mengakibatkan keandalannya berkurang dan apabila tidak segera diatasi dapat mengganggu kerja sistem bahkan kerusakan pada peralatan tersebut. Oleh karenanya dibutuhkan yang disebut dengan proteksi. Dari sini akan dibahas bagaimana cara proteksi generator terhadap gangguan arus lebih dan proteksi transformator terhadap kemungkinan terjadinya gangguan hubung singkat. Gangguan yang dimaksudkan adalah gangguan dari arus hubung singkat yang berada pada wiring diagram generator unit 7 dan 8 pada transformator unit 4 cirata II. Untuk mempermudah perhitungan dan analisa gangguan, sistem ini disimulasikan menggunakan software dan menghitung manual. Rele proteksi yang digunakan dan di setting adalah rele arus lebih dan rele diferensial. Rele ini berfungsi memproteksi arus gangguan terhadap fasa-tanah, fasa-fasa, dan fasa-fasa tanah. Dengan mengetahui arus gangguan tersebut, maka diperoleh setting rela arus lebih generator dengan arus yang melewati rele 2,65 A dan waktu delay 0,068 detik. Sedangkan pada rele diferensial transformator, dengan cara yang sama diperoleh arus diferensial sebesar 14,01 A.*

**Kata kunci : Gangguan hubung singkat, sistem proteksi, over current relay, relay diferensial, generator, transformator.**

## **ABSTRACT**

*Generators and transformers are the two main tools to generate electricity. In normal operation does not always work, but sometimes it happens disorders (abnormal) resulting in reduced reliability and if not addressed can interfere with the system even damage to the equipment. Therefore, it takes the so-called protection. In this thesis, we discuss how to protect the generator against overcurrent interruption. Disorder is a disorder of the intended short-circuit current is the wiring diagram of generator units 7 and 8 on the transformer unit 4 Cirata II. To simplify the calculation and analysis of interference, the system is simulated using software. Protection relays are used or in the setting is over current relays and differential relays. Relay serves to protect against fault current phase-ground, phase-phase and phase-ground phase. By knowing short circuit currents, over current relay is 2,65 A and time dial 0,068 detik. Otherwise at differential relay transformers with the same calculating, differential relay currents value is 14,01 A.*

**Keywords: Short circuit, system protection, over current relays, differential relays, generators and transformers.**

## 1. PENDAHULUAN

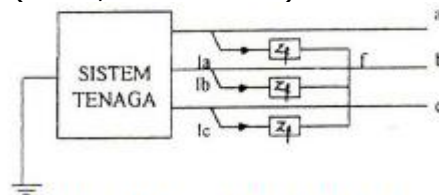
PT Pembangkitan Jawa-Bali Unit Pembangkitan Cirata merupakan salah satu anak perusahaan PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) yang bergerak dibidang pembangkit listrik. PT PJB UP Cirata adalah perusahaan pembangkit listrik yang menggunakan media air sebagai sumber energi pembangkitnya atau yang disebut Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). PLTA Cirata memanfaatkan energi potensial (ketinggian) air dari waduk (Dam) Cirata untuk menggerakkan turbin sehingga generator bekerja dan menghasilkan energi listrik. Energi air yang digunakan, bersumber dari aliran sungai Citarum dan dari anak sungai lainnya yang berada di sekitar Waduk Cirata.

Hasil observasi pada saat studi penelitian di sana, diketahui bahwa terdapat 8 buah generator dan setiap generator sudah dilengkapi dengan relay-relay khusus proteksi sebagai bagian dari sistem proteksinya. Berkaitan dengan itu penulis mengambil sampel dua unit generator dengan satu unit transformator sebagai sumber pengerjaan penelitian ini yang berjudul Penentuan setting rele arus lebih generator dan rele diferensial transformator unit 4 PLTA Cirata II di Purwakarta Jawa Barat.

Dalam suatu peralatan di sistem pembangkitan yang telah terpasang rele-rele proteksi, diperlukan setting terhadap rele tersebut dengan mengetahui gangguan tidak simetris yang diselesaikan dengan cara simetris untuk menentukan arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah. (Lesmana, Dede. 2012)

### 1.1 Persamaan Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gambar 1 dibawah ini merupakan keadaan saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dengan impedansi gangguan  $Z_f$ . (Satria, Andika. 2011)



Gambar 1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Mengacu pada gambar diatas, apabila terjadi gangguan di ketiga fasanya, maka akan timbul arus gangguan yang sangat besar. Nilai arus gangguan hubung singkat tiga fasa yang diperoleh sebesar :

$$I_{f3\phi} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} \quad (1)$$

Keterangan:

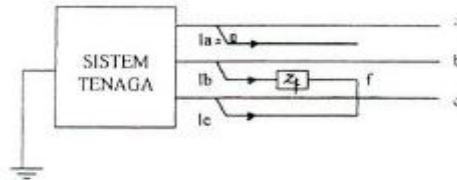
$V_f$  adalah tegangan gangguan (Volt)

$Z_1$  adalah impedansi total urutan positif (Ohm)

$Z_f$  adalah impedansi gangguan (Ohm)

### 1.2 Persamaan Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Keadaan saat terjadi gangguan hubung singkat dua fasa dengan impedansi  $Z_f$  ditunjukkan pada gambar 2 berikut.



Gambar 2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Pada Gambar 2 diatas, dengan terjadinya gangguan dikedua fasanya, akan menimbulkan gangguan hubung singkat antar fasa. Maka dapat dicari nilai arus hubung singkat dua fasa sebesar :

$$I_{f2\phi} = \pm \frac{j\sqrt{3} V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (2)$$

Keterangan:

$V_f$  adalah tegangan gangguan (Volt)

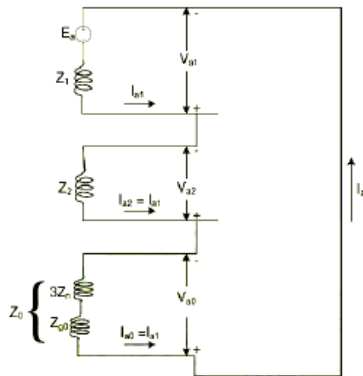
$Z_1$  adalah impedansi total urutan positif (ohm)

$Z_2$  adalah impedansi total urutan negatif (ohm)

$Z_f$  adalah impedansi gangguan (ohm)

### 1.3 Persamaan Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gambar 3 dibawah ini menunjukkan keadaan saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dengan impedansi pentanahan  $Z_n$ .



Gambar 3 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat pada Gambar 3 diatas, gangguan yang berhubungan dengan impedansi pentanahan. Biasanya arus gangguan ini relatif kecil yang memungkinkan dipakai untuk mensetting rele arus lebih. Nilai arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat diperoleh dengan cara :

$$I_{f-T} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_n} \quad (3)$$

Keterangan :

$V_f$  adalah tegangan gangguan (Volt)

$Z_1$  adalah impedansi total urutan positif (ohm)

$Z_2$  adalah impedansi total urutan negatif (ohm)

$Z_n$  adalah impedansi pentanahan (ohm)

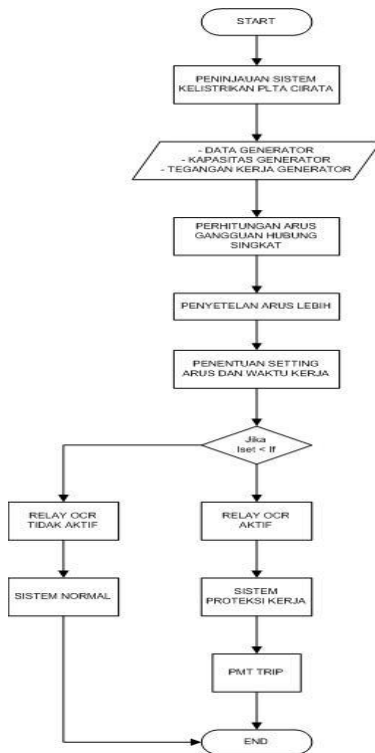
$Z_0$  adalah impedansi total urutan nol

Maksud dan tujuan dilakukan penelitian pada jurnal ini adalah untuk:

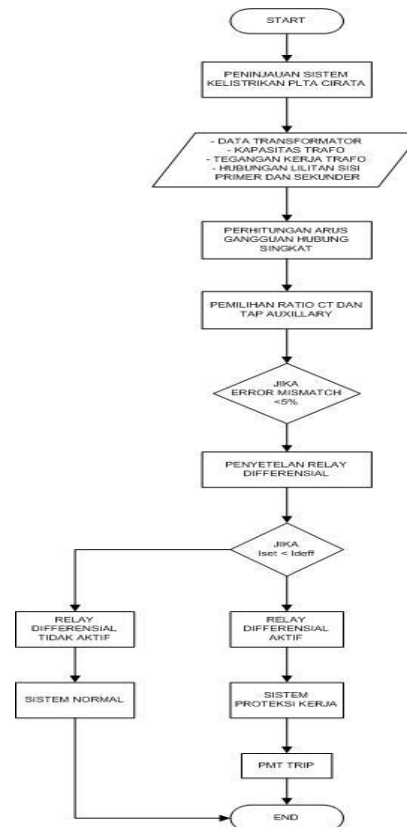
- Menentukan arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah pada generator yang digunakan untuk setting rele arus lebih terhadap generator.
- Menentukan arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa serta satu fasa ke tanah pada transformator sisi 16,5 kV dan sisi 500 kV untuk menentukan setting rele diferensial pada gangguan di dalam transformator.

## 2. METODOLOGI PENENTUAN SETTING RELE

Metodologi penelitian merupakan proses ataupun langkah-langkah yang bertujuan supaya penentuan setting rele dapat dilakukan secara sistematis. Metode penelitian dapat dibuat dengan diagram alir. Dan dibawah ini adalah diagram alir pemecahan masalah setting rele arus lebih pada generator dan setting rele diferensial pada transformator.



Gambar 4 Flowchart setting relay arus lebih pada Generator



Gambar 5 Flowchart setting relay diferensial pada transformator

Pada Gambar 4 merupakan diagram alir penentuan setting rele arus lebih pada generator dengan urutan :

- Menghitung arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah dengan rumus seperti yang tertulis pada pendahuluan dengan mencari nilai arus terkecil diantara

ketiga arus hubung singkat untuk digunakan sebagai perhitungan arus *pick up* pada penyetelan rele arus lebih.

- Mencari nilai arus *pick up* rele dengan rumus :

$$I_{pick\ up} = \frac{I_{f\ \phi}}{I_{set}} \quad (4)$$

Namun sebelumnya menentukan nilai arus nominal dengan cara :

$$I_n = I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3}V_{base}} \quad (5)$$

Kemudian menentukan arus yang mengalir pada rele arus lebih sebesar :

$$I_{relay} = I_{base} \times \text{Ratio CT} \quad (6)$$

Dengan arus setting :

$$I_{set\ OCR} = 1,1 \times I_n \quad (7)$$

Setelah didapat semua, baru menentukan arus *pick up*.

- Menentukan setting waktu sesuai dengan karakteristik rele arus lebih *normally inverse* yaitu terlihat pada Tabel 1 standarisasi PLN 2005.

Tabel 1 Konstanta Karakteristik Rele Arus Lebih

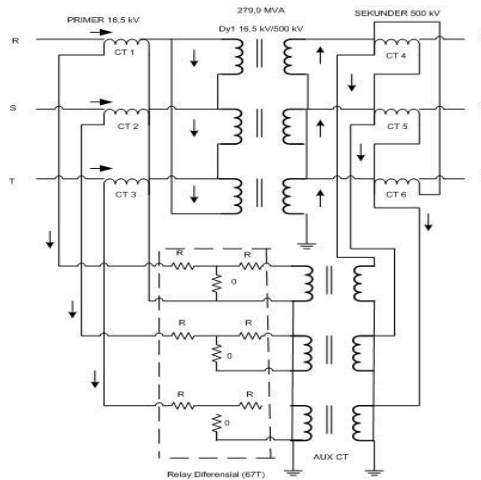
No	Deskripsi	k	C	$\alpha$
1	Definit time	-	0-100	-
2	Standart inverse	0,14	0	0,02
3	Very inverse	13,5	0	1
4	Extremely inverse	80	0	2
5	Long time inverse	120	0	1

Maka setting waktunya :

$$t = \text{TMS (td)} \times \frac{k}{(I/I_s)^\alpha} + c \quad (8)$$

Sedangkan pada Gambar 5 adalah diagram alir penentuan setting rele diferensial pada transformator yang meliputi :

- Menghitung arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah dengan rumus seperti yang tertulis pada pendahuluan dengan mencari nilai arus terbesar diantara ketiga arus hubung singkat untuk digunakan dalam perhitungan penentuan setting rele diferensial.
- Pemilihan ratio CT dan tap *auxillary* dengan cara mengetahui arus nominal pada sisi primer dan sekunder untuk pemilihan ratio CT sesuai dengan yang ada di pasaran. Setelah dilakukan pemilihan ratio CT dan tap *auxillary*, maka vektor group transformator akan menjadi seperti Gambar 6 dibawah ini :



Gambar 6 Rangkaian Pengganti Vektor Group Transformator Dy1

*Auxillary* CT adalah CT bantu yang berguna untuk menyesuaikan besar arus yang masuk ke relay diferensial akibat proses pergeseran fasa oleh transformator dan beda tegangan primer dan sekunder transformator.

Untuk pemilihan tap *auxillary* CT sama dengan CT dan penempatan CT *auxillary* diletakan pada sisi 500 kV yang CT dihubung delta untuk menghilangkan arus urutan nol dan menyamakan fasa (lihat pada Gambar 6).

3. Menentukan *error mismatch* dengan membandingkan ratio CT ideal dengan yang ada di pasaran, dengan pertimbangan toleransi tidak melebihi 5% dari besar ratio CT yang dipilih.

Meskipun dari perhitungan telah didapat ratio CT pada sisi 16,5 kV (CT1) = 10000 : 5 dan pada sisi 500 kV (CT2) = 500 : 5. Akan tetapi karena adanya perbedaan nilai CT yang ada di pasaran maka akan terjadi kesalahan dalam membaca perbedaan arus dan tegangan di sisi primer dan sekunder transformator serta pergeseran fasa di trafo arus. Kesalahan ini disebut *error mosmatch*. (Anderson Anvenue, 2001).

Pada relay diferensial untuk melihat mismatch error didapat perbandingan CT dengan tegangan pada persamaan dibawah ini: (Anderson Anvenue, 2003).

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_1}{V_2} \quad (9)$$

Untuk menghitung error mismatch sebelumnya terlebih dahulu menghitung nilai CT yang ideal di salah satu sisi transformator, misal untuk sisi 500 kV (CT2) dengan persamaan berikut:

$$CT_{2(ideal)} = CT_1 \times \frac{V_1}{V_2} \quad (10)$$

4. Menghitung arus diferensial/arus *operate* menggunakan rumus:

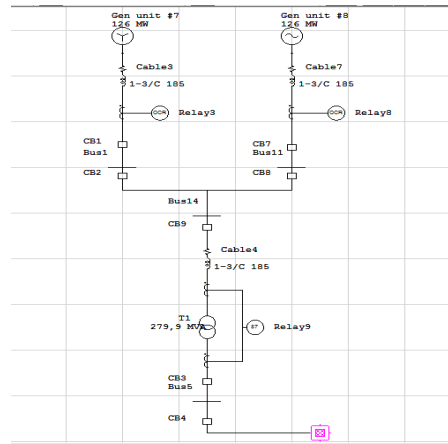
$$I_d = \left| \vec{I_p} \right| + \left| \vec{I_s} \right| \quad (11)$$

Dengan mencari arus setting menggunakan slope 1 sebesar 25%, maka apabila

$I_{set} < I_{operate}$  maka relay diferensial aktif (mengaktifkan CB)

### 3. HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISIS

Dibawah ini Gambar 7 yang merupakan gambar single line diagram pembangkitan generator unit 7 dan 8 yang melewati transformator unit 4 untuk menaikkan tegangan dari 16,5 kV ke 500 kV yang dilengkapi dengan rele arus lebih pada generator dan rele diferensial pada transformator.



Gambar 7 Single Line Diagram Pembangkitan

Berikut adalah Tabel 2 data spesifikasi generator unit 7 dan 8 Cirata II :

Tabel 2 Data Generator Unit 7 dan Unit 8 Cirata II

No	Spesifikasi	Generator Unit 7 dan 8 Cirata II
1	Rated Power	140 MVA
2	Rated Voltage	16,5 kV
3	Rated Current	4699 A
4	Power Factor	0,9
5	$X_d$	0,776 pu
6	$X_d'$	0,27 pu
7	$X_d''$	0,18 pu

#### 3.1 Menentukan Arus Hubung Singkat Pada Generator

Sesuai perhitungan dengan menggunakan rumus yang ada, didapatkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah dalam keadaan sub transient, transient dan steady-state dalam tabel 3 berikut.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Gangguan Hubung Singkat Generator Unit 7 dan 8 Cirata II

No	Gangguan	3 Fasa (A)	2 Fasa (A)	1 Fasa ke Tanah (A)
1	$I_f''$	21577,09	10788,54	7192,36
2	$I_f'$	15451,1	13381,04	5150,36
3	$I_f$	5951,39	5154,06	1976,59

### 3.2 Menghitung Setting Rele Arus Lebih Pada Generator Unit 7 dan 8 Cirata II

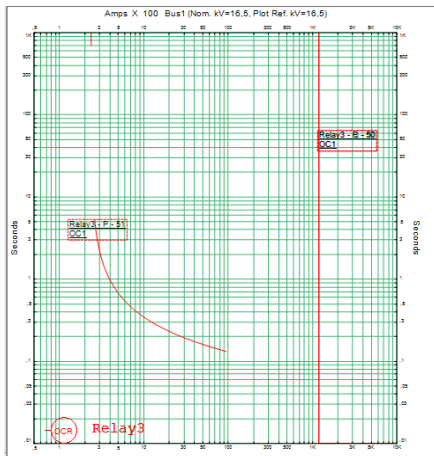
Dari hasil perhitungan hubung singkat pada generator diatas maka kita dapat men-*set* waktu OCR sebagai proteksi pada generator. (Satria, Andika. 2011)

Maka setting rele arus lebih pada Generator Unit 7 dan 8 sesuai persamaan (4) sampai dengan (8) didapatkan hasil seperti pada Tabel 4 dibawah ini :

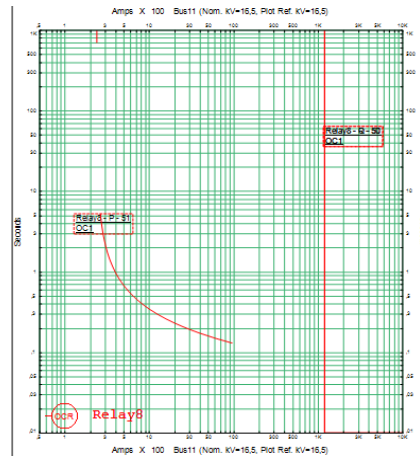
Tabel 4 Hasil Perhitungan Setting Rele Arus Lebih Pada Generator

No	Keterangan	Nilai
1	Arus nominal	4,898 kA
2	Ratio CT	6000 : 1 A
3	Arus yang melalui rele	0,81 A
4	Arus setting rele arus lebih	5,387 kA
5	Arus <i>pick up</i>	2,65 A
6	Waktu kerja rele	0,068 detik

Hasil simulasi software, digambarkan pada kurva karakteristik rele arus lebih yang ditunjukkan pada Gambar 8 yang merupakan kurva karakteristik rele srud lebih pada generator unit 7. Sedangkan Gambar 9 adalah kurva karakteristik rele arus lebih generator unit 8. Kedua gambar tersebut dengan spesifikasi generator yang sama dan menggunakan karakteristik rele arus lebih *normally inverse* diperoleh dengan waktu setting 0,068 detik dan arus rele sebesar 2.65 A:



Gambar 8 Kurva Karakteristik OCR Generator Unit 7



Gambar 9 Kurva Karakteristik OCR Generator Unit 8

Pada Tabel 5 berikut adalah data spesifikasi transformator unit 4 Cirata II yang akan digunakan pada setting rele diferensial.

Tabel 5 Data Transformator Unit 4 Cirata II

No	Spesifikasi	Transformator Unit 4 Cirata II
1	Rated Power	279,9 MVA
2	HV Winding Rated Voltage	500 kV
3	LV Winding Rated Voltage	16,5 kV
4	HV Winding Rated Current	0,1867 kA
5	LV Winding Rated Current	5,657 kA



6	Xt %	4,7 %
7	Transformer Impedance	18,4 %

### 3.3 Setting Rele Diferensial Pada Transformator

Dengan mengacu pada Tabel 5 dan wiring diagram vektor group transformator pada Gambar 6 dihasilkan data spesifikasi untuk menentukan setting rele diferensial pada Tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 6 Data Spesifikasi Setting Transformator Unit 7 dan 8 Cirata II

No	Data	Belitan 1 Primer 16,5 kV	Belitan 1 Sekunder 500 kV
1	Rated MVA	279,9 MVA	279,9 MVA
2	Tegangan Nominal Fasa-fasa	16,5 kV	500 kV
3	CT Ratio	6000/1 A	500/1 A
4	Tegangan Fasa Netral	9,5 kV	288,6 kV
5	Pentanahan Netral		157,46 $\Omega$

Sesuai data yang ada di lapangan, nilai arus hubung singkat pada sisi 16,5 kV dan 500 kV seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7 Data Arus Hubung Singkat Transformator Unit 4 Cirata II

No	Hubung Singkat	Sisi 16,5 kV	Sisi 500 kV
1	Tiga Fasa	53,22 kA	1,76 kA
2	Satu Fasa	17,74 kA	0,58 kA

#### 3.3.1 Menghitung Gangguan Arus Hubung Singkat Pada Transformator

Dengan perhitungan gangguan hubung singkat, didapat nilai arus hubung singkat pada sisi 16,5 kV dan 500 kV menggunakan rumus persamaan (1) sampai (3) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8 Hasil Perhitungan Gangguan Hubung Singkat Pada Transformator Unit 4 Cirata II

No	Jenis arus hubung singkat	Sisi 16,5 kV	Sisi 500 kV
1	Arus gangguan hubung singkat 3 fasa	28,01 kA	0,89 kA
2	Arus gangguan hubung singkat 2 fasa	24,26 kA	0,77 kA
3	Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah	0,060 kA	0,907 kA

#### 3.3.2 Pemilihan CT Ratio dan Tap *Auxillary*

Pemilihan CT disesuaikan dengan alat ukur dan proteksi. Pemilihan CT dengan kualitas baik akan memberikan perlindungan sistem yang baik pula. Rele diferensial sangat tergantung terhadap karakteristik CT. (Bien, Ek & Helna, Dita. 2007)

CT ratio untuk diferensial yang dipilih sebaiknya memiliki nilai yang mendekati nilai Irating. (Sukmawidjaja, 1995)

Tabel 9 dibawah ini adalah arus nominal pada sisi primer dan sisi sekunder transformator unit 4 un tuk pemilihan CT dan ratio.

Tabel 9 Hasil Perhitungan Pemilihan CT Ratio dan Tap *Auxillary*

No	Keterangan	Nilai
1	Arus nominal sisi 16,5 kV	9,793 kA
2	Arus nominal sisi 500 kV	323,2 A
3	Arus rating CT sisi 16,5 kV	10,773 kA
4	Arus rating CT sisi 500 kV	355,52 A
5	CT ratio sisi 16,5 kV	10000 : 5 A
6	CT ratio sisi 500 kV	500 : 5 A
7	Arus <i>auxillary</i> CT	5,71 : 5 A

### 3.3.3 Menghitung Setting Rele Diferensial Transformator Unit 4 Cirata II

Rele akan bekerja saat transformator mendapatkan gangguan *internal* (didalam) dan tidak akan bekerja saat terjadi gangguan *eksternal* (diluar).

Untuk ganggun didalam transformator, relay akan bekerja bila :

$$I_{set} < I_{operate} = \text{relay aktif}$$

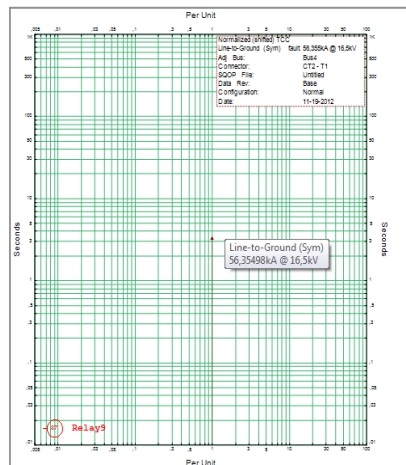
Tabel 10 dibawah ini menerangkan hasil perhitungan setting rele diferensial dengan menggunakan persamaan (9) sampai (11).

Tabel 10 Hasil Perhitungan Setting Rele Diferensial

No	Keterangan	Nilai
1	Arus yang mengalir sisi primer	14,01 A
2	Arus yang mengalir sisi sekunder	8,9 A
3	Arus <i>restraint</i>	14,01 A
4	Arus setting diferensial	3,5 A
5	Arus diferensial	22,91 A
6	Error mismatch	0,66 %

Karena  $I_{set} < I_{operate}$  maka relay diferensial aktif (mengaktifkan CB)

Dibawah ini adalah Gambar 10 karakteristik rele diferensial pada saat gangguan hubung singkat didalam transformator yang disimulasikan dengan software dengan tegangan fasa-tanah sebesar 56,15 kV.



Gambar 10 Kurva Karakteristik Relay Diferensial Transformator Unit 4

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan manual dan hasil tabel dapat disimpulkan, antara lain sebagai berikut :

1. Besar arus gangguan satu fasa ke tanah yang terjadi sebesar 14319,31 A dan gangguan fasa-fasa sebesar 29323,64 A sehingga arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yang digunakan dalam perhitungan setting relay proteksi arus lebih untuk memperoleh sensitivitas dan kehandalan relay, sehingga dengan arus gangguan terkecil relay proteksi dapat mendeteksi gangguan tersebut.
2. Pada setting *over current relay* di generator unit 7 dan 8 dengan arus *pick up* yang sama sebesar 2,65 A dan setting waktu 0,068 detik.
3. Pada karakteristik relay diferensial, setelan relay diferensial untuk gangguan di dalam transformator sebesar 25% lebih kecil dibandingkan untuk gangguan di luar transformator sebesar 100% dan untuk nilai *pick up* di ambil dari ratio *error CT*.
4. Pada gangguan di dalam transformator dengan setelan slope 1 25%, didapat arus setting 3,5 A dan arus diferensial 22,91 A. Karena arus setting lebih kecil dari arus diferensial maka relay aktif.
5. *Error mismatch* adalah kesalahan membaca perbedaan arus dan tegangan di sisi primer dan sekunder transformator serta pergeseran fasa di trafo arus. Nilai *error mismatch* harus lebih kecil dari 5% agar proteksi relay diferensial lebih optimal dalam mengamankan transformator. Dan nilai *error mismatch* pada studi ini sebesar 0,66 %.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Anderson Avenue, Markham, Ontario. 2001. *Transformer Management Relay Instruction Manual*. Canada: GE Power Management.
- Anderson Avenue, Markham, Ontario. 2003. *T60 Transformer Management Relay UR Series Instruction Manual*. Canada: GE Power Management.
- Bien, Ek & Helna, Dita. 2007. Jurnal: *Studi Penyetelan Relay Diferensial Pada Transformator PT Chevron Pacific Indonesia*. Jakarta: Universitas Trisakti
- Lesmana, Dede. 2012. Laporan Tugas Akhir *Analisa Proteksi Generator Terhadap arus Lebih Pada Sistem Pembangkit PT Angkasa Pura*. Bandung: ITENAS
- Satria, Andika. 2011. Laporan Tugas Akhir *Perancangan dan Setting Relay proteksi Sebagai Pengaman Generator dan Transformator Untuk Gangguan Pada Sisi Busbar 6,6 kV dan 20 kV PLTA Tangka-Manipi*. Bandung: ITENAS
- Sukmawidjaja, Maula. 1995. Edisi ke-2. *Teori Soal dan penyelesaian Analisa Sistem Listrik II*. Jakarta: Jurusan Teknik Elektro. Universitas Trisakti.