

# STUDI SISTEM PROTEKSI RELE DIFERENSIAL PADA TRANSFORMATOR PT. PLN (PERSERO) KERAMASAN PALEMBANG

Subianto

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Palembang

Email : [subidan11@gmail.com](mailto:subidan11@gmail.com)

## **Abstract**

*The distribution of electric energy in the system required reliability of the protection system on the equipment to get a better job to transmit electrical energy to consumers, one of which, namely the protected Transformer protection by Differential Rele. The transformer is a tool to convert electrical voltage and current values are different in magnetic, and the Differential is a Rele rele the principle it works on the basis of the balance (balance), which compares the Current Transformer (CT) secondary of currents is installed on the terminal-terminal equipment or electrical installation which is secured. Here be discussed how to work when the differential rele interference in the area of work of such disorders, Differential Rele is short circuit interruption 3 Phase Transformer primary side 150 kV with the ratio of CT 400/5A and the secondary side of the transformer 70 kV CT ratio 800/5A. Obtained results of calculation for short circuit 3 primary side 150 kV Phase is 1204.57 Ampere with a value of Differential Current setting rele 1.99 Ampere, stated that Differential Rele don't work because the current setting rele is larger than the current calculation of short circuit 3 phase occurs. 3 Phase short circuit interruption in the secondary side 70 kV is 4636.77 Ampere and Rele will work there due to the current which passes through the area of work with a current rating rele differential setting rele is smaller than the current value of the differential or the value of current that operates from 3 Phase short circuit interruption.*

**Keywords:** Transformer Protection, Differential Relay, Short Circuit.

## **PENDAHULUAN**

Semakin meningkatnya dan semakin majunya teknologi yang ada saat ini tidak akan lepas dari kebutuhan akan tenaga listrik. Keandalan sistem tenaga listrik untuk dapat menyalurkan tenaga listrik kepada konsumen mempunyai peranan yang sangat penting sekali.

Keandalan suatu sistem tenaga listrik dapat terlihat ketika terjadinya gangguan yang dapat menyebabkan terganggunya penyaluran energi listrik ke konsumen. Dalam suatu sistem tenaga listrik tidak akan mungkin bebas dari gangguan. Gangguan yang terjadi bisa pada pembangkitan, transmisi maupun distribusi. Salah satu contoh adalah gangguan yang terjadi pada Tranformator Tenaga. Transformator adalah motor statis dan komponen yang sangat penting dalam pengangkit energi listrik yang diharapkan bekerja terus menerus untuk menyalurkan energi listrik kepada konsumen. Jika terjadi gangguan pada Tranformator maka akan menyebabkan terganggunya proses penyediaan energi listrik dan dapat menyebabkan kerusakan pada Tranformator itu sendiri. Karena sangat pentingnya proteksi Tranformator terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan hubung singkat yang terjadi didalam Tranformator. Pengaman ini berupa jenis rele diferensial yang bekerja dengan cara membandingkan arus pada sisi primer dan sisi sekunder. Rele Diferensial merupakan alat pengaman terhadap arus hubung singkat, ketidakseimbangan arus yang menggunakan prinsip secepat mungkin dalam beroperasi untuk mengatasi kerusakan yang terjadi pada Transformator. Dalam kondisi normal, jumlah arus yang mengalir melalui peralatan listrik yang diproteksi bersirkulasi melalui loop pada kedua sisi didaerah kerja. Jika terjadi gangguan didalam daerah kerja rele diferensial, maka arus dari kedua sisi akan saling menjumlah dan rele akan memberi perintah kepada *circuit breaker* untuk memutuskan arus, dan rele diferensial akan bekerja.

## 1. TINJAUAN PUSTAKA

### 1.2 Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah susunan perangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat-perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi proteksi. Gangguan pada sistem distribusi dapat diakibatkan oleh faktor alam, kelalaian manusia, atau kerusakan peralatan. Gangguan pada sistem tenaga listrik terdiri dari gangguan yang bersifat temporer yang dapat hilang dari sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangan dan gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskan diperlukan tindakan perbaikan untuk menghilangkan penyebab gangguan tersebut (Ramadhan, 2014). Ada beberapa aspek dasar sistem proteksi, yaitu :

#### 1. Keandalan

Keandalan didefinisikan sebagai tingkat kepastian bahwa sebuah relay atau sistem relay akan beroperasi dengan benar. Dengan kata lain, dapat diandalkan menunjukkan kemampuan sistem perlindungan untuk melakukan dengan benar bila diperlukan, sedangkan keamanan adalah kemampuannya untuk menghindari kesalahan dan masalah-masalah di luar zona ruang khusus operasi.

#### 2. Selektivitas

Selektivitas (juga dikenal sebagai relay koordinasi) adalah proses lamaran dan pengaturan relay pelindung yang melampaui relay lainnya sehingga mereka beroperasi secepat mungkin dalam zona utama mereka. Hal ini diperlukan untuk mengizinkan relay utama yang ditugaskan untuk cadangan.

#### 3. Kecepatan Operasi

Jelas, sangat diharapkan bahwa perlindungan mengisolasi zona masalah atau gangguan harus secepat mungkin, dengan demikian kecepatan sangatlah penting agar area yang dilindungi beroperasi secara stabil.

#### 4. Kesederhanaan

Sebuah rele pelindung sistem harus sederhana dan sebenarnya semudah mungkin untuk mencapai hasil tujuan yang jelas. Dan perlindungan, harus dipertimbangkan sangat hati-hati.

#### 5. Ekonomi

Dasar untuk mendapatkan perlindungan maksimal untuk biaya yang minimal, karena biaya selalu menjadi faktor utama. Selain itu, ini mungkin melibatkan kesulitan-kesulitan yang lebih besar dalam instalasi dan operasi, serta biaya pemeliharaan yang lebih tinggi.

### 2.3 Sistem Proteksi Transformator

Transformator tenaga adalah alat untuk mengkonversi nilai tegangan dan arus listrik yang berbeda secara magnetik. Seperti halnya peralatan listrik yang lain pada Transformator diperlukan peralatan pengaman yang dapat membebaskan gangguan pada Transformator dari gangguan internal maupun eksternal.

#### 1. Gangguan Internal

Penyebab gangguan internal biasanya akibat : Kebocoran minyak, Gangguan pada *tap changer*, Ketidaktahanan terhadap arus gangguan, Gangguan pada *bushing*, Gangguan pada sistem pendingin.

#### 2. Gangguan Eksternal

Gangguan eksternal Transformator ada beberapa macam, yaitu :

- a. Hubung Singkat Luar (*External Short Circuit*)
- b. Beban Lebih (*Overload*)

### 2.4 Rele Proteksi

Relai proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan bekerja

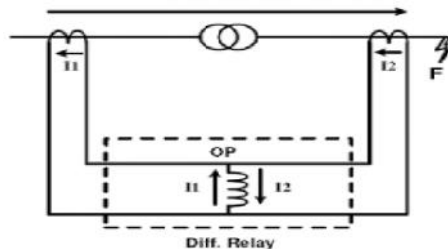
secara otomatis untuk mengatur atau memberikan informasi agar segera membuka pemutus tenaga, untuk memisahkan peralatan atau bagian sistem yang terganggu dan memberikan isyarat bahwa telah terjadi gangguan.

Sifat pengaman rele diferensial sebagai pengaman utama bekerja sangat efektif dan cepat, dan tidak perlu dikoordinir dengan rele lain. rele ini juga tidak dapat digunakan sebagai pengaman cadangan untuk seksi atau daerah berikutnya, daerah pengamannya dibatasi oleh pasangan trafo arus dimana rele diferensial dipasang. penggunaan rele diferensial untuk pengaman generator, trafo daya, saluran transmisi yang pendek dan motor-motor yang kapasitasnya besar.

### 2.5 Rele Diferensial

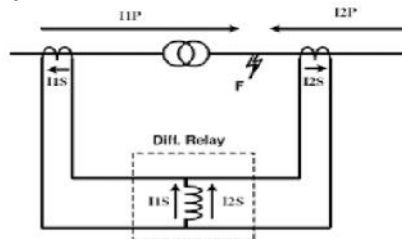
Rele diferensial merupakan suatu rele yang prinsip kerjanya berdasarkan keseimbangan (*balance*), yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus terpasang pada terminal-terminal peralatan atau instalasi listrik yang diamankan. Rele diferensial digunakan sebagai pengaman utama (*main protection*) pada busbarbila terjadi suatu gangguan. Rele ini sangat selektif dan sistem kerjanya sangat cepat (Jiwantoro, 2012). Rele diferensial mempunyai prinsip dalam kondisi normal, arus yang mengalir melalui peralatan listrik yang diamankan (Generator, Transformator).

Apabila terjadinya gangguan diluar daerah pengamannya maka rele diferensial tidak bekerja seperti gambar 2. dibawah ini, pada saat sisi primer kedua CT dialiri arus  $I_1$  dan arus  $I_2$ , dengan adanya rasuo CT1 dan CT2 yang menuju rele besarnya sama ( $I_1 = I_2$ ) maka rele tidak bekerja, karena sirkulasi arus gangguan diluar daerah kerja rele diferensial dan tidak mempeengaruhi arus yang mengalir ke CT yang terpasang pada alat proteksi (Setijasa, 2013).



Gambar 2.12. Rele Diferensial Kondisi Gangguan diluar

Jika rele diferensial dipasang sebagai proteksi suatu peralatan dan terjadi gangguan didaerah pengamanannya maka rele diferensial harus bekerja, seperti terlihat pada gambar 2. pada saat CT1 mengalir arus  $I_1$  maka pada CT2 tidak ada arus yang mengalir ( $I_2 = 0$ ), disebabkan karena arus gangguan mengalir pada titik gangguan sehingga pada CT2 tidak ada arus yang mengalir, maka disisi sekunder CT2 tidak ada arus yang mengalir ( $I_2 = 0$ ) yang mengakibatkan  $I_1 \neq I_2$  ( $I_1 \neq 0$ ) sehingga rele diferensial bekerja.



Gambar 2.13. Rele Diferensial Kondisi Gangguan didalam

**2.5.1 Karakteristik Rele Diferensial**

Karakteristik diferensial dibuat sejalan dengan *Unbalances Current* ( $I_u$ ), untuk menghindari erjadinya kesalahan kerja. Kesalahan kerja disebabkan karena *CT ratio mismatch*, adanya pergeseran fasa akibat belitan transformator tenaga terhubung (Y)-(Δ)(Wisatawan, 2012).

Perubahan tap tegangan (perubahan posisi *tap changer*) pada transformator tenaga oleh *On Load Tap Changer* (OLTC) yang menyebabkan *CT mismatch* juga ikut berubah, kesalahan akurasi CT, perbedaan kesalahan CT di daerah jenuh (Saturasi CT), dan *Inrush Current* pada saat transformator energize menimbulkan *Unbalances Current* ( $I_u$ ) yang bersifat transien.

Untuk mengatasi masalah *Unbalances Current* ( $I_u$ ) pada Rele Diferensial caranya dengan menambahkan kumparan yang menahan bekerjanya rele di daerah  $I_{set}$ . Kumparan ini disebut *Restraining Coil*, sedangkan kumparan yang mengerjakan rele tersebut disebut *Operating Coil*.

Arus diferensial didapat dari menjumlahkan komponen arus sekunder per fasa dibelitan 1 ( $I_{21}$ ) dan belitan 2 ( $I_{22}$ ).

$$I_{dif} = I_{21} + I_{22}$$

$$I_{dif} = \max(I_{21}, I_{22})$$

*Slope* didapat dengan membagi antara komponen arus diferensial dengan arus penahan. *Slope 1* akan menentukan arus diferensial dan arus penahan pada saat kondisi normal dan memastikan sensitifitas rele pada saat gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil. Sedangkan *Slope 2* berguna supaya rele tidak bekerja oleh gangguan eksternal yang berarus sangat besar sehingga salah satu CT mengalami saturasi (diset dengan *slope* lebih dari 50%).

$$\%Slope = \frac{I_{dif}}{I_{set}} \times 100\%$$

**2.5.2 Jenis Rele Diferensial**

Jenis rele diferensial ada dua macam yaitu, rele diferensial tipe longitudinal dan rele diferensial percentage.

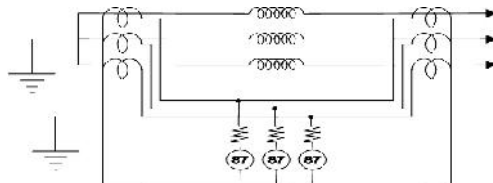
a. Longitudinal Differential Relay (LDR)

Rele ini biasa dikenal sebagai circulating current type. Dalam keadaan normal, maka gangguan yang terjadi diluar daerah pengaman mengakibatkan tidak ada arus atau bahkan sangat kecil yang mengalir di operating coil. Nilai setting longitudinal differensial relay adalah :  $I_{set} = I_1 - I_2$

Keterangan :

- $I_{set}$  = nilai setting LDR (A)
- $I_1$  = arus sisi primer (A)
- $I_2$  = arus sisi sekunder (A)

Untuk gambar rele Longitudinal Differensial Relay dapat dilihat pada gambar 2.14. dibawah ini :



Gambar 2.14. Longitudinal Differensial Relay (LDR)

b. Percentage Differensial Relay

Rele ini muncul karena kelemahan LDR yakni arus *setting* harus dibuat lebih besar dari arus operasi dalam keadaan normal untuk mengatasi arus inrush dan gangguan yang cukup besar berada

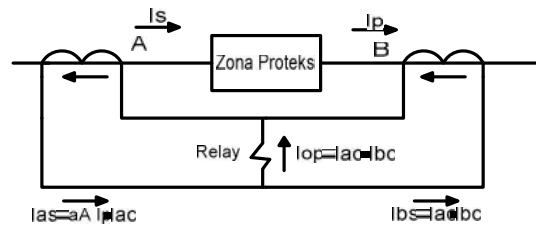
diluar daerah proteksi. Rele ini mempunyai *restraining coil* yang ditap pada bagian tengahnya, sehingga membentuk dua bagian dengan jumlah lilitan yang sama,  $N_r/2$ . *Restraining coil* dihubungkan pada bagian arus yang bersirkulasi, sehingga menerima arus gangguan yang lewat. *Operating coil* mempunyai jumlah lilitan  $N_o$ , yang dihubungkan pada bagian *spill*. Persamaan torsi untuk rele ini sebagai berikut :

$$\text{Total gaya restrain coil} = - ( \dots + \dots )$$

$$\text{Gaya restrain coil pada bagian kiri} = - \dots$$

$$\text{Gaya restrain coil pada bagian kanan} = \frac{1}{\dots}$$

Untuk gambar rele *percentage differential relay* dapat dilihat pada gambar 2.15. dibawah ini :



Gambar 2.15. *Percentage Differential Relay*

### 2.5.3 Sifat Pengaman Rele Diferensial

Sifat pengaman rele diferensial sebagai pengaman utama bekerja sangat efektif dan cepat, dan tidak perlu dikoordinir dengan rele lain. rele ini juga tidak dapat digunakan sebagai pengaman cadangan untuk seksi atau daerah berikutnya, daerah pengamannya dibatasi oleh pasangan trafo arus dimana rele diferensial dipasang. penggunaan rele diferensial untuk pengaman generator, trafo daya, saluran transmisi yang pendek dan motor-motor yang kapasitasnya besar (Samaulah, 2004).

### 2.5.4 Persyaratan Pengaman Rele Diferensial

Rele diferensial sendiri mempunyai beberapa syarat yang harus dipenuhi sebagai pengaman (Yuniarto, 2015) diantaranya :

- Current Transformer* (CT) yang digunakan harus mempunyai ratio perbandingan yang sama sehingga  $I_1 = I_2$  serta sambungan dan polaritas CT1 dan CT2 sama.
- Pemasangan *Auxiliary Current Transformer* yang terhubung Y karena harus membandingkan arus pada dua sisi tanpa perbedaan fasa.
- Karakteristik kejenuhan CT1 dan CT2 harus sama.

## 3. METODE PENELITIAN

Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari tanggal 03 Agustus sampai dengan 31 Agustus 2015. Tempat pelaksanaan penelitian dan pengambilan data dilakukan di Gardu Induk PT. PLN (Persero) Keramasan Palembang.

### a. Persiapan

Persiapan awal pekerjaan membuat penelitian dimulai pada bulan agustus dengan tahap awal yaitu study literatur, lalu dilanjutkan dengan pemilihan data yang didapat dari hasil lapangan, dan software yang digunakan adalah program Microsoft Office Visio 2007 yang digunakan untuk menggambar one line diagram Transformator Gardu Induk PT. PLN (Persero) Keramasan Palembang.

b. Pelaksanaan

Pelaksanaan membuat penelitian dilakukan dengan perhitungan data yang dimulai pada bulan Agustus. Setelah hasil perhitungan didapat selanjutnya menggambar One Line Diagram menggunakan program Microsoft Office Visio 2007 setelah perhitungan dan tahap penggambaran selesai.

**4. PERHITUNGAN**

**4.1. Data Transformator**

Dari pengambilan data di lapangan didapatkan spesifikasi pada tabel 4.1 dibawah ini:

**Tabel 4.1** Data Transformator 100 MVA GI Keramasan Palembang

Merk	PAUWELS
Daya nominal	100 MVA
Tegangan	150 / 70 Kv
Impedansi p.u ( Z % )	12,45%
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	70 kV
Rasio CT (150kV)	400/5 A
Rasio CT (70kV)	800/5 A
Hubungan Belitan	Ynd5

**4.2. Perhitungan**

**4.2.1. Perhitungan Rasio CT Ideal**

Perhitungan nilai arus nominal Trafo hanya pada sisi 150 kV dengan persamaan berikut :

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{100 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV}} = 384,897 \text{ Ampere}$$

Dengan memilih arus rasio trafo arus 400/5A maka arus yang mengalir pada rangkaian sekunder trafo arus adalah :

$$I_{\text{memilih CT}} = 384,897 \times \frac{5}{400} = 0,962 \text{ A}$$

Perhitungan nilai arus nominal Trafo hanya pada sisi 70 kV dengan persamaan berikut :

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{100 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 70 \text{ kV}} = 824,810 \text{ Ampere}$$

Dengan memilih arus rasio trafo arus 800/5A maka arus yang mengalir pada rangkaian sekunder trafo arus adalah :

$$I_{\text{CT}} = 824,810 \times \frac{5}{800} = 1,031 \text{ A}$$

Untuk perhitungan nilai Rasio CT ideal menggunakan persamaan berikut :

$$I_{\text{CT}} = 800 \times \frac{1,031}{0,962} = 373,33$$

$$I_{\text{CT}} = 400 \times \frac{1,031}{0,962} = 857,14$$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan nilai Rasio CT ideal. Untuk pengenal sekunder CT 1, 2 adalah 5 A. Sehingga Rasio CT ideal sisi primer di pilih 400/5A dan rasio CT ideal sisi sekunder dipilih 800/5A.

#### 4.2.2. Perhitungan *Error Mismatch*

*Error Mismatch* adalah perhitungan yang dapat ditentukan dengan membandingkan CT yang dipilih dengan rasio CT ideal yang di tentukan dari nilai pabrikan. Perbandingan kedua CT tersebut boleh dilakukan tidak boleh lebih dari 5% dari besarnya nilai rasio yang akan digunakan. Untuk nilai CT ideal diambil dari nilai CT sisi sekunder.

$$Error\ Mismatch = \frac{|I_{\text{nilai}} - I_{\text{deal}}|}{I_{\text{deal}}} \% = \frac{1,14}{112} \% = 1,071\%$$

#### 4.2.3. Perhitungan nilai arus rating sisi 150 kV dan sisi 70 kV

Untuk mencari nilai arus rating sisi 150 kV sebagai berikut :

$$I_{150} = 110\% \times I = 110\% \times 384,897 = 423,3867\text{ A}$$

Untuk mencari nilai arus rating sisi 70 kV sebagai berikut :

$$I_{70} = 110\% \times I = 110\% \times 824,810 = 907,291\text{ A}$$

Tabel 4.2. Hasil perhitungan nilai Rasio CT ideal

$I_{150}$ sisi 150 kV	384,897 A
$I_{70}$ sisi 70 kV	824,810
$I_{\text{sisi 70 kV}} / I_{\text{CT sisi 150 kV}}$	0,962 A
$I_{\text{sisi 150 kV}} / I_{\text{CT sisi 70 kV}}$	1,031 A
$I_{\text{ideal}} / I_{\text{CT}} / I_{\text{sisi 150 kV}}$	423,386 A
$I_{\text{ideal}} / I_{\text{CT}} / I_{\text{sisi 70 kV}}$	907,291 A
Rasio CT ideal sisi primer	400/5A
Rasio CT ideal sisi sekunder	800/5A
<i>Error Mismatch</i>	1,071%

Tabel 4.2. diatas menunjukkan bahwa nilai Rasio CT ideal didapat dari nilai arus rating dan nilai yang sebaiknya lebih mendekati nilai arus rating itu sendiri. Arus yang mengalir pada rangkaian sekunder trafo arus (CT) pada sisi 150 kV adalah sebesar 0,962 Aamper dan arus yang mengalir pada rangkaian sekunder trafo arus (CT) sisi 70 kV adalah sebesar 1,031 Amper.

#### 4.2.4. Perhitungan nilai Setting Rele Diferensial ( $I_{\text{d}}$ )

Penyetelan Rele Diferensial dapat dilakukan dengan memperhatikan besarnya *slope* dan juga arus setting harus disetel lebih tinggi dari nilai gangguan hubung singkat yang terjadi.

$$I_{\text{d}} = 0,962 + 1,031\text{ A} = 1,993\text{ A}$$

$$I_{\text{d}} = \frac{I_{\text{d}} \times 100}{100} = 0,99\text{ A}$$

Untuk menghitung nilai *Slope* dapat digunakan rumus :

$$\%Slope\ 1 = \frac{I_{\text{d}}}{I_{\text{CT}}} \times 100\% = 201,01\%$$

$$\%Slope\ 2 = I_{\text{d}} \times 2\% = 402\%$$

$$I_{\text{d}} = 201,01\% \times 0,99\text{ A} = 1,99\text{ A}$$

Dari hasil diatas maka diperoleh nilai Arus setting rele diferensial sebesar 1,99 Ampere. Agar rele dapat bekerja dengan optimal diharuskan nilai arus operasi lebih tinggi dari nilai arus setting rele diferensial.

#### 4.2.5. Perhitungan nilai Tap Auxillary CT

ACT adalah CT bantu yang berguna untuk menyesuaikan besarnya arus yang masuk ke rele diferensial akibat proses pergeseran fasa oleh transformator, dan menyamakan arus fasa. Untuk menentukan nilai Tap Rasio CT diambil dari sisi Rasio CT tegangan primer yang terhubung  $W_{je}$  (Y) = 400/5A. Untuk nilai I nominal sisi 150 kV = 384,897 A dan I nominal sisi 70 kV = 824,810 A, dan nilai Rasio CT primer = 400/5 A dan Rasio CT sekunder = 800/5 A.

Arus yang masuk ke rele (Sisi 150 kV) :

$$I_{CT} = \frac{I}{R} = \frac{384,897}{800/5} = 2,4056 \text{ A}$$

Maka arus yang masuk ke rele sebesar :

$$I_{CT} = 2,4056 \cdot \sqrt{3} = 4,16 \text{ Ampere}$$

Arus yang masuk ke rele (Sisi 70 kV) :

$$I_{CT} = \frac{I}{R} = \frac{824,810}{800/5} = 5,155 \text{ A}$$

Maka arus yang masuk ke rele sebesar :

$$I_{CT} = 5,155 \cdot \sqrt{3} = 8,93 \text{ Ampere}$$

Dari hasil arus yang masuk ke rele sisi 150 kV dan sisi 70 kV maka digunakan ACT, dengan cara mengatur posisi tap ACT.

$$\text{Tap ACT} = \frac{I_{CT}}{I_{CT}} \times 5 \text{ A} = 4,7 \text{ Ampere}$$

#### 4.2.6. Perhitungan setting Rele Diferensial saat gangguan di daerah kerja Rele

Setting rele diferensial saat gangguan dalam rele akan beroperasi jika :

$$I_{diferensial} < I_{setting} = \text{Rele diferensial beroperasi}$$

Sebelum menentukan nilai setting rele diferensial, terlebih dahulu menghitung arus hubung singkat pada Transformator untuk menentukan hasil arus *restrain*. Arus yang dihitung yaitu Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa, 2 Fasa dan Satu Fasa ketanah pada sisi 70 kV.

Menentukan nilai arus hubung singkat dibutuhkan nilai impedansi urutan Transformator dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Z_{012} = Z\% \times \frac{S_{base}}{100} \times \frac{1}{U_{base}} = 2,451\% \times \frac{1000}{10} \times \frac{1}{10} = 2,451 \text{ p.u}$$

Impedansi urutan positif ( $Z_1$ ) dan urutan negatif ( $Z_2$ ) Tranformator yaitu =  $j0,12451$  p.u dan nilai impedansi urutan Nol Transformator adalah  $Z_0 = 3 \cdot j0,12451$  p.u =  $j0,3735$  p.u

Untuk menentukan nilai tegangan perfasa dan nilai Arus base masing-masing sisi adalah :

$$V_{1\phi} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} = 86,60 \text{ kV} \qquad V_{1\phi} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} = 40,41 \text{ kV}$$

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}} = 149,99 \text{ A} \qquad I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}} = 577,36 \text{ A}$$

Perhitungan nilai arus base sisi 150 kV dan nilai arus base sisi 70 kV diperlukan untuk perhitungan arus hubung singkat 3 Fasa, dengan persamaan sebagai berikut :

Hubung singkat 3 Fasa sisi 70 kV :

$$I_{hubung\ singkat} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}} = 8,031 \times 577,36 = 4636,77 \text{ A}$$



Saat terjadi hubung singkat 3 fasa, maka :

$$I_{CT} = \frac{I_{\text{singkat}}}{n} = 5,795 \text{ A}$$

$$I_{ACT} = \frac{I_{\text{singkat}}}{4} = 5,61 \text{ A}$$

$$I = 5,61 + 1,031 = 6,64 \text{ A}$$

Rele akan bekerja, dikarenakan nilai  $I = 1,99 \text{ A}$  lebih kecil dari nilai  $I = 6,64 \text{ A}$ .

#### 4.2.7. Perhitungan setting Rele Diferensial saat gangguan diluar daerah kerja Rele

Setting rele diferensial saat gangguan diluar rele tidak beroperasi jika :

$I_{\text{diferensial}} > I_{\text{setting}} = \text{Rele diferensial beroperasi}$

Hubung singkat 3 Fasa sisi 150 kV :

$$I_{\text{singkat}} = \frac{V}{Z} = 8,031 \times 149,99 \text{ A} = 1204,57 \text{ A}$$

Saat terjadi hubung singkat 3 fasa, maka :

$$I_{CT} = \frac{I_{\text{singkat}}}{n} = 3,01 \text{ A}$$

$$I_{ACT} = \frac{I_{\text{singkat}}}{4} = 2,91 \text{ A}$$

$$I = 2,91 - 1,031 = 1,8 \text{ A}$$

Rele tidak bekerja, dikarenakan nilai  $I = 1,99 \text{ A}$  lebih besar dari nilai  $I = 1,8 \text{ A}$ .

### 4.3. Analisis

Dari hasil perhitungan diatas nilai Rasio CT1 yang terpasang di sisi 150 kV adalah 400/5A dan nilai Rasio CT2 sisi 70 kV adalah 800/A, nilai CT1 ideal pada sisi primer 150 kV adalah 373,33 dan nilai CT2 ideal pada sisi sekunder adalah 857,14 maka Rasio CT yang terpasang dengan Rasio CT ideal pada Transformator yaitu nilai Rasio CT yang ideal dan mempunyai nilai yang tidak terlalu jauh dari nilai Rasio CT yang terpasang dari pabrikan. Sedangkan nilai arus setting diferensial dalam keadaan normal sebesar 1,993 Ampere dan nilai arus penahan (*restrain*) adalah 0,99 Ampere, nilai Error Mismatch sebesar 1,071% dan tidak melebihi 5% dari ketentuan nilai rasio. Pada rele diferensial nilai *slope* disetel sebesar 100% agar pada kondisi ini Rele Diferensial tidak bekerja. Untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat dihitung pada daerah kerja rele diferensial atau disisi primer transformator 150 kV dan di saluran sekunder 70 kV atau diluar daerah kerja rele diferensial. Gangguan hubung singkat 3 fasa sebesar 4636,77 A pada sisi sekunder Transformator 70 kV maka rele akan beroperasi atau bekerja mentriapkan circuit breaker hal ini diakarenakan ada gangguan hubung singkat yang terjadi didaerah Transformator, hubung singkat yang terjadi diluar daerah kerja rele diferensial sebesar 1204,57 A pada sisi primer Transformator 150 kV maka rele diferensial tidak bekerja hal ini dikarenakan diluar daerah kerja Proteksi Rele Diferensial.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan sebagai berikut :  
 Proteksi Transformator menggunakan Proteksi Rele Diferensial, untuk melindungi Trafo dari gangguan yang mungkin terjadi, seperti gangguan hubung singkat. Pada transformator 100 MVA 150 kV dan 70 kV dengan arus nominal  $I_n = 384,897 \text{ Ampere}$  disisi 150 kV, arus nominal  $I_n = 824,810$  pada sisi 70 kV.

Cara menyetel rele diferensial didapat dari hasil perhitungan arus diferensial ( $I_r$ ) = 1,993 Amper dan arus penahan ( $I_s$ ) = 0,99 Amper.

Saat terjadi gangguan hubung singkat sebesar 4636,77 Amper di daerah kerja rele diferensial, karena Arus setting rele diferensial ( $I_{set}$ ) = 1,9 Amper lebih kecil dari nilai Arus operasi 6,64 Amper maka rele diferensial akan bekerja.

## 5.2. Saran

Untuk menghindari gangguan yang terjadi pada Transformator maka disarankan untuk dilihat atau di cek tingkat keamanan sebelum gangguan merusak atau merambat transformator dan diperlukan karakteristik kerja rele dan kurva rele dari pabrikannya untuk membantu bahan pertimbangan perhitungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Samaulah, Hazairin. 2004. Dasar-dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik. Universitas Sriwijaya. Palembang
- Ramadhan, R.T., Shidiq, M., Dhofir, M. 2014. Studi Koordinasi Sistem Pengaman Penyulang Trafo IV di Gardu Induk Waru. <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=187567&val=6454&title=Studi%20Koordinasi%20Sistem%20Pengaman%20Penyulang%20Trafo%20IV%20di%20Gardu%20Induk%20Waru> (10 September 2015).
- Jiwantoro, S.A., Pujiantara, Margo., Riawan, D.C. 2012. Studi Perencanaan Penggunaan Proteksi Power Bus di Sistem Kelistrikan Industri Gas. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-23690-2210105021-Paper.pdf> (18 Desember 2015).
- Setijasa, Hery. 2013. Pengujian Relai Diferensial GI. <http://www.scribd.com/doc/159882038/7-Hery-Setiyasa-Eksergi-Mei-2013#scribd> (18 Desember 2015).
- Yuniarto, dkk. 2015. *Setting Relay Diferensial* Pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi. UNDIP. Semarang.