

# KEPEKAAN ARUS INRUSH PADA KERJA RELE DIFERENSIAL TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK DURI KOSAMBI

Irvan Buchari Tamam<sup>1)</sup>, Agung Hariyanto<sup>2)</sup>, Harian Puteri Lokastithi<sup>3)</sup>

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik - PLN

<sup>1</sup>irvan\_buchari@sttpln.ac.id,

<sup>2</sup>agung.hariyanto@sttpln.ac.id

<sup>3</sup>putrilokastithi@gmail.com

**Abstract :** *At the time a given voltage power transformer there will be symptoms of transient inrush magnetization. This magnetization inrush can cause the magnetization inrush current at power transformer primary coil. This inrush currents perceived as a fault, and therefore at the same time differential relay can not distinguish them from the real fault current, the inrush current will be seen as an internal disorder which should be extinguished. Overcome the inrush current method is to delay, detain or block the relay so that the differential element during transient inrush relay state is not going to work. In this paper will be discussed studies on the effects of inrush current at the differential relay in substation duri kosambi.*

**Keywords:** *inrush current, transformer, differential relay.*

**Abstrak :** *Pada waktu suatu transformator daya diberi tegangan, maka akan terjadi gejala inrush magnetisasi secara transien (mendadak). Gejala inrush magnetisasi ini dapat menimbulkan arus inrush magnetisasi pada kumparan primer transformator tenaga. Arus inrush ini dirasakan sebagai gangguan, maka dari itu pada saat bersamaan rele diferensial tidak dapat membedakannya dengan arus gangguan sesungguhnya. Arus inrush ini akan dilihat sebagai gangguan internal yang harus dipadamkan. Untuk mengatasi arus inrush tersebut perlu adanya metoda penundaan, menahan atau memblok elemen diferensial rele sehingga selama keadaan transien inrush rele tidak akan bekerja. Pada Penelitian ini akan dibahas studi efek arus inrush pada kerja rele diferensial di Gardu Induk Duri Kosambi.*

**Kata Kunci :** *arus inrush, transformator, rele diferensial*

## 1. PENDAHULUAN

Rele diferensial merupakan suatu rele yang prinsip kerjanya berdasarkan keseimbangan (*balance*), yang membandingkan arus sekunder transformator arus (CT) terpasang pada terminal peralatan atau instalasi listrik yang diamankan. Rele diferensial digunakan sebagai pengaman utama (*main protection*) pada transformator daya yang berguna untuk mengamankan belitan transformator bila terjadi suatu gangguan.

Pada waktu transformator tenaga tidak berbeban pertama kali disuplai tegangan akan mengalir arus magnetisasi atau arus eksitasi secara transien. Arus inrush menyebabkan *inbalance current* (arus tidak seimbang) dan dianggap

sebagai internal fault oleh rele diferensial serta menyebabkan rele salah kerja. Agar transformator tetap stabil setiap terjadi inrush magnetisasi, maka sensitivitas rele terhadap magnetisasi inrush harus dikurangi atau dengan kata lain dapat membedakan antara gangguan arus hubung singkat dan arus *inrush*.

Pada rele diferensial dilengkapi dengan koil operating yang menghasilkan "*operating torque*" dan koil *restraining* yang menghasilkan "*restraining torque*" yang dapat menahan elemen diferensial rele, sehingga selama keadaan transien inrush rele tidak akan bekerja. Sehingga dapat diketahui kepekaan rele diferensial terhadap arus *inrush*.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Kesalahan Arus Diferensial

Dalam keadaan tidak ada gangguan di dalam, ada kemungkinan timbul “arus differensial” (sebut saja arus differensial palsu) yang menyebabkan alat pengaman salah kerja. Arus differensial palsu itu bisa disebabkan oleh :

- kesalahan trafo arus karena jenuh oleh “*through fault current*” / *external fault*
- perubahan posisi tap changer trafo tenaga (jika dipakai untuk proteksi trafo tenaga)
- koreksi perbandingan transformasi yang kurang tepat
- trafo tenaga yang kelewat jenuh akibat tegangan lebih atau frekuensi-kurang yang mengakibatkan arus eksitasinya terlalu besar
- inrush current*

### 2.2 Kestabilan Rele Diferensial Terhadap Arus *Inrush*

Karena rele diferensial melihat arus *inrush* sebagai suatu gangguan internal, diperlukan beberapa cara yang membedakan antara arus gangguan dan arus *inrush* atau mencegah rele operasi dalam kondisi arus *inrush* salah satunya dengan mengurangi kepekaan rele diferensial terhadap gelombang *inrush*.

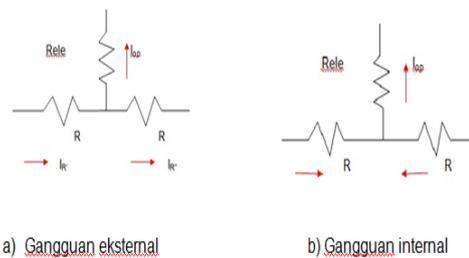
#### 2.2.1. *Inrush* Magnetisasi

Faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penerapan rele pengaman transformator adalah gejala magnetisasi. Pada waktu suatu transformator dinyalakan/ diberi tegangan, maka akan terjadi suatu gejala yang disebut serbuan magnetisasi (*magnetizing inrush*). Gejala ini terjadi secara transien dan bukan gangguan. Oleh karena bukan merupakan gangguan maka setiap waktu gejala ini terjadi, transformator harus tetap stabil.

Umumnya transformator dioperasikan dekat pada titik lutut (*knee point*) kurva magnetisasi. Akibatnya bila *flukx* naik sedikit arus magnetisasi akan naik drastis, arus ini dipandang sebagai arus *inrush*.

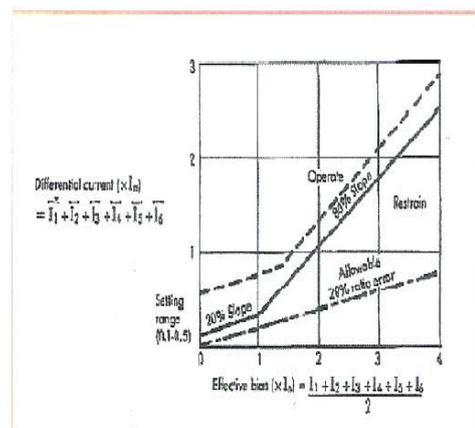
### 2.2.2. Rele Diferensial Persentase

Pada sistem proteksi diferensial tipe persentase kumparan sekunder transformator arus dihubungkan dengan kumparan restrain (R) yang menjadi bagian yang disatukan dengan kumparan rele, di mana arus yang mengalir dibuat cenderung untuk memblok rele agar tidak bekerja. Sementara arus yang mengalir pada kumparan kerja rele cenderung untuk membuat rele bekerja. Tujuannya adalah untuk mendapatkan rele diferensial yang sensitif terhadap gangguan internal yang kecil dengan tingkat stabilitas yang tinggi terhadap gangguan eksternal. Gambar 2.11 adalah rangkaian rele jenis persentase yang disederhanakan.



Gambar 1: Gangguan Eksternal dan Internal

Hubungan antara arus *restrain* dengan arus kerja digambarkan pada sumbu absis (arus *restrain*) dengan ordinat (arus kerja) berupa garis lurus dengan *slope* yang berbeda, tergantung perbandingan arus lewat dan arus kerja sebagai parameter (tap-tap setelan yang tersedia).



Gambar 2 : Karakteristik umum rele differensial

Untuk menentukan selop, gaya-gaya yang bekerja pada kumparan restrain dan kumparan kerja rele perlu diatur dengan memperhatikan arus yang mengalir dan jumlah belitan kumparan-kumparan tersebut. Misalnya jumlah torsi kumparan restrain adalah  $T_{res}=I_1N_1 + I_2N_2$ , sedang torsi pada kumparan kerja adalah  $T_{op}=(I_1-I_2) N_{op}$ , dimana  $N$  menunjukkan jumlah belitan dan  $I$  adalah arus sekunder yang mengalir. Untuk dapat bekerja perlu terpenuhi  $T_{op} > T_{res}$ . Karena  $N_1 = N_2 = N_R$ , maka  $(I_1-I_2)N_{op} > (I_1+I_2)N_{res}/2$ . Dengan demikian sudut kemiringan karakteristik rele dapat dinyatakan dengan persamaan berikut, atau dengan pernyataan lain kemiringan karakteristik dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$m = \frac{I_1 - I_2}{0.5(I_1 + I_2)} \geq \frac{N_{res}}{N_{op}} = \frac{I_{op}}{I_{res}}$$

Meskipun demikian, dengan memperhatikan factor inrush, posisi tap (*off nominal tap position*), trafo interposting dan gangguan eksternal maka karakteristik umum bias rele diferensial biasanya dibuat atas tiga seksi yang dimulai kisaran setelan 0.1 s/d 0.5  $I_d$ . Seksi pertama disetel lebih tinggi dari arus magnetisasi trafo. Seksi kedua untuk mengakomodasi bias pada posisi tap off nominal, baik pada posisi maksimum maupun pada posisi minimum. Sedangkan seksi ketiga dibuat dengan sudut bias yang lebih besar untuk meningkatkan kinerja rele pada gangguan-gangguan eksternal yang berat.

### 2.2.3. Kestabilan Rele Diferensial

Gejala magnetisasi mendadak yang menimbulkan arus *inrush* pada kumparan primer terjadi pada waktu pemberian tegangan pada kumparan transformator. Gejala ini dapat menimbulkan arus transien yaitu sebagai arus inrush magnetisasi. Pada saat itu, kumparan lain tidak merasakan arus ini dan karena rele diferensial tidak dapat membedakannya dengan arus gangguan sesungguhnya, maka arus inrush ini akan dilihat sebagai gangguan internal yang harus dipadamkan.

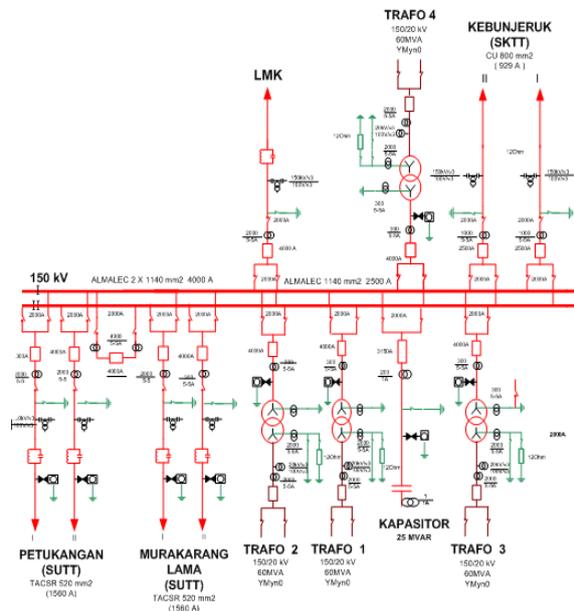
Masalah ini tidak bisa diatasi secara efektif dengan hanya meninggikan setelan

*inrush* karena setelan dibuat terlalu tinggi dapat berakibat rele tidak bekerja pada arus gangguan sesungguhnya. Metoda untuk magnetisasi inrush adalah dengan penundaan waktu, menahan atau memblok elemen differensial rele sehingga selama keadaan transien inrush rele tidak akan bekerja.

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Gardu Induk Duri Kosambi

Gambar 3 menunjukkan diagram satu garis dari Gardu Induk Duri Kosambi. Pada Gardu Induk Duri Kosambi terdapat 4 buah transformator tenaga 150/20 kV 4x60 MVA.



Gambar 3: Single Line Diagram Gardu Induk Duri Kosambi

### 3.2 Spesifikasi Transformator 3 Gardu Induk Duri Kosambi

Transformator	Ratio CT
Merk : POUWEL	Sisi 150 kV : 250 / 5
Type : TL-258	Sisi 20 kV : 2000 / 5
Teg Sistem : 150/20 kV	
Daya : 60 MVA	
In Primer : 230,9 A	
In Sekunder : 1732 A	
Vektor Group : YNyn0(d)	
Impedansi : Tap 9 : 12,409%	
No. Seri : 30111000XX	
Tahun Pembuatan : 2011	

Gambar 4: Spesifikasi Transformator GI Duri Kosambi

### 3.3 Proteksi Transformator Daya

Proteksi differensial pada setiap transformator menggunakan rele differensial persentasi 3 fasa dengan data sebagai berikut.

Differensial Fasa R		Differensial Fasa S	
Merk	: GEC ALSTHOM	Merk	: GEC ALSTHOM
Type	: MBCH	Type	: MBCH
Rasio Ip/Ir	: 73%	Rasio Ip/Ir	: 72%
No. Serie	: 701766D	No. Serie	: 701767D

#### Differensial Fasa T

Merk	: GEC ALSTHOM
Type	: MBCH
Rasio Ip/Ir	: 71%
No. Serie	: 701768D

**Gambar 5:** Proteksi Differensial Tiap Fasa

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pemeliharaan Rele Differensial

**Tabel 1:** Hasil Pengujian Rele Differensial Trafo

MERK	: GEC ALSHOM	Ratio CT 150 KV	: 250 / 5
TYPE	: MBCH	Ratio CT 20 KV	: 2000 / 5
RATING	: 5 A	Proteksi	: 150 / 20 KV Trafo 3
No. Serie fasa R	: 701772D	Lokasi	: Gl. Duri Kosambi
No. Serie fasa S	: 701773D	Tanggal	: 28 Juli 2015
No. Serie fasa T	: 701774D		

#### HASIL UJI ARUS KERJA

Phasa	R		S		T	
No. Klem	03-12	06-12	04-13	07-13	05-14	08-14
Setting ( Amp )	1	1	1	1	1	1
Arus Pick Up ( Amp )	1.61	1.63	1.65	1.65	1.7	1.69
Arus Drop Off ( Amp )	1.18	1.19	1.2	1.19	1.22	1.21
Ratio Ip / Ir ( % )	73%	73%	72%	72%	71%	71%
Waktu Kerja 150 % Ip ( dt )	0.045	0.04	0.042	0.042	0.046	0.045

**Tabel 2:** Karakteristik Differensial Fasa R

I <sub>1</sub> (amp)	2.63	3.87	5.13	6.45	7.86
I <sub>2</sub> (amp)	1	2	3	4	5
I <sub>h</sub> (I <sub>1</sub> +I <sub>2</sub> )/2 (amp)	1.815	2.935	4.065	5.225	6.43
I <sub>d</sub> (amp)	1.63	1.87	2.13	2.45	2.86

**Tabel 2:** Karakteristik Differensial Fasa S

I <sub>1</sub> (amp)	2.63	3.9	5.26	6.67	8.05
I <sub>2</sub> (amp)	1	2	3	4	5
I <sub>h</sub> (I <sub>1</sub> +I <sub>2</sub> )/2 (amp)	1.815	2.95	4.13	5.335	6.525
I <sub>d</sub> (amp)	1.63	1.9	2.26	2.67	3.05

### 4.2 Perhitungan Setting Rele Differensial

- Arus nominal trafo tenaga  
Arus nominal trafo sisi primer :

$$I_{n150} = \frac{60 \text{ MVA}}{150 \text{ kV} \sqrt{3}} = 230,94 \text{ A}$$

Arus nominal trafo sisi sekunder :

$$I_{n20} = \frac{60 \text{ MVA}}{20 \text{ kV} \sqrt{3}} = 1732,05 \text{ A}$$

- Rasio CT

$$\begin{aligned} CT_{150} &= 125\% \times I_{n150} \\ &= 125\% \times 230,94 \\ &= 288,675 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga rasio CT yang digunakan adalah 300 : 5

$$\begin{aligned} CT_{20} &= 125\% \times I_{n20} \\ &= 125\% \times 1732,05 \\ &= 2165,0625 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga rasio CT yang digunakan adalah 2000 : 5

- Arus sekunder CT

$$\begin{aligned} I_{sekCT150} &= \frac{I_{sek}}{I_{prim}} \times I_{n \text{ trafo}} \\ &= \frac{5}{300} \times 230,94 = 3,849 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{sekCT20} &= \frac{I_{sek}}{I_{prim}} \times I_{n \text{ trafo}} \\ &= \frac{5}{2000} \times 1732,05 = 4,33 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 4. Slope

a. Kesalahan CT<sub>150kV</sub> = 5%

b. Kesalahan CT<sub>20kV</sub> = 5%

c. Kesalahan tap

- Batas operasi tap tertinggi  $vH = 165 \text{ kV}$

$$\text{Arus operasi tap tertinggi } iH = \frac{60 \text{ MVA}}{165 \text{ kV} \sqrt{3}} = 209,95 \text{ A}$$

$$\text{Arus diff pada tap tertinggi } idH = \frac{209,95 - 1732,05}{1732,05} = -0,879 \text{ A}$$

- Batas tap terendah  $vL = 135 \text{ kV}$

$$\text{Arus operasi tap terendah } iL = \frac{60 \text{ MVA}}{135 \text{ kV} \sqrt{3}} = 0,111 \text{ A}$$

Arus diff kesalahan tap =  $idT = \max(idL, idL) = 11,1\%$

d. Mismatch

$$\begin{aligned} \text{CT}_{20} (\text{ideal}) &= \text{CT}_{150} \times \frac{v1}{v2} \\ &= 300 \times \frac{150 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} \\ &= 2250 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga faktor mismatch =  $\frac{\text{CT}_{20} (\text{ideal})}{\text{CT}_{20}} \% = \frac{2250}{3000} \% = 1,125\%$

e. Faktor keamanan = 5%

$$\begin{aligned} \text{TOTAL SLOPE} &= 5 + 5 + 11,1 + 1,125 + 5 \\ &= 27,225 \% \end{aligned}$$

Disetel slope 30%.

5. Arus kerja minimum

$$\begin{aligned} Id &= \text{slope} \times I_n \text{ rele} \\ &= 0,3 \times 5 \text{ A} \\ &= 1,5 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 4.3 Uji Arus Kerja Rele Differensial

Dari tabel hasil pengujian arus kerja dengan menggunakan tes *plug* dan rele tester merk ponovo. Tes ini bertujuan untuk mengetahui apakah rele masih bekerja dengan baik. Mula-mula seting sebesar 1A pada sisi sekunder, kemudian injeksikan arus dari nilai 0 - 1,61 A dan 1,63 A pada fasa R, kemudian pada fasa S injeksikan arus dari 0 - 1,65 A, dan pada fasa T injeksikan arus dari 0 - 1,69 A dan 1,7 A. Pada masing-masing test *plug* timbul arus *pick up* yang berbeda-beda, arus *pick up* ini merupakan arus dimana rele mulai bekerja dengan indikator bunyi “klik” serta lampu indikator pada rele menyala warna hijau.

Setelah mendapatkan nilai arus *pick up* kemudiandilakukan penurunan arus injeksi sehingga didapat arus drop off yang menunjukkan rele direset kembali dan terdengar bunyi “klik” serta lampu indikator menyala warna merah.

Untuk lebih meyakinkan apakah kerja rele tersebut masih baik, perlu diuji waktu kerja 150%  $I_p$  dan diperoleh waktu kerja rele 0,04 detik. Nilai tersebut masih memenuhi ketentuan bahwa waktu kerja yang dihasilkan dibawah 400ms.

#### 4.4 Karakteristik Differensial PerFasa

Pengujian karakteristik diferensial masing-masing fasa dilakukan dengan seolah-olah memberikan arus gangguan palsu pada transformator. Dalam pengujian ini  $I_2$  diseting dengan nilai semakin besar yaitu dari 1 A hingga 5 A hal ini bertujuan untuk menguji apakah restrain yang dihasilkan juga semakin besar. Pengujian ini dilakukan sampai rele trip sehingga dapat diketahui berapa nilai restrainnya.

#### 4.5 Operasional Trafo

Pada waktu dilakukan tes rele transformator dilepas dari sistem, setelah beberapa saat dilakukan tes rele transformator dikembalikan ke dalam sistem. Sewaktu transformator kembali dalam sistem terjadi arus *inrush* namun arus *inrush* ini tidak mempengaruhi kerja rele diferensial.

Pada tanggal 6 Februari 2014 pukul 02.31 berdasarkan data gangguan trafo 1 keluar dari sistem yang diakibatkan adanya breakdown PMT incoming 20 kV trafo 2. Pada tanggal yang sama pukul 05.20 trafo 1 kembali masuk ke dalam sistem, menurut data terlampir terjadi *reenergize* trafo setelah perbaikan gangguan.

Dari laporan operator ketika dibebani normal kembali tanpa adanya kinerja dari rele diferensial, hal ini menunjukkan arus *inrush* tidak mempengaruhi kerja rele.

#### 4.6 Arus Tidak Seimbang

Salah satu penyebab timbulnya arus tidak seimbang ini adalah adanya *magnetizing inrush* (arus serbu magnetisasi).

Peristiwa ini dapat membawa pengaruh kerja rele diferensial walaupun pada daerah pengaman tidak terjadi kesalahan.

Besarnya arus magnetisasi sendiri disebabkan oleh:

1. Fluks ( $\Phi$ ) permanen yang terperangkap pada inti besi trafo daya.
2. Kondisi gelombang tegangan pada saat *switching* terjadi.
3. Faktor-faktor lain seperti:
  - a. Pemberian tegangan pada trafo daya yang sudah dienergize tetap akan timbul gejala *inrush* tetapi magnetisasinya tidak sebesar waktu trafo pertama kali *dienergize*.
  - b. Tegangan *inrush* terjadi pada waktu gangguan hubung singkat tiga fasa dimana tegangan turun hingga nol dan 35 kembali secara mendadak setelah gangguan dipisahkan. Kejadian ini dapat menimbulkan *inrush* tetapi tidak sebesar *inrush* awal.

Untuk mengatasi masalah arus tidak seimbang ini rele diferensial dibuat sejalan dengan arus tak seimbang sehingga dapat menghindari terjadinya kesalahan kerja. Kesulitan dapat diatasi dengan cara menambah kumparan yang akan menahan kerja rele diferensial akibat arus tak seimbang. Kumparan ini disebut *restraining coil* atau rele diferensial tipe bias.

## 5 KESIMPULAN

Dari studi efek arus *inrush* pada kerja rele diferensial persentase dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tes rele diferensial persentase dengan menggunakan alat rele tester menunjukkan bahwa rele bekerja secara responsif.
2. Setelah dilakukan tes rele diferensial terjadi *reenergize* transformator daya dan *reenergize* tersebut tidak mempengaruhi kerja rele diferensial persentase.
3. Kondisi rele diferensial dengan *slope* yang diperoleh dari perhitungan

sebesar 30% dan id sebesar 1,5 A tidak responsive terhadap arus *inrush*.

## 6 REFERENSI

1. Buchori, Irvan, *Bahan Kuliah Sistem Proteksi* (Jakarta: STT-PLN,nd)
2. PT. PLN (Persero), P3B JB, *Buku Petunjuk Proteksi dan Kontrol Transformator*, (Jakarta: 2003)
3. PT. PLN (Persero), P3B Sumatra, *Perhitungan Setelan Rele Proteksi Trafo IBT 150/70kV 100 MVA – GIDKPRO* (Jakarta: 2008)
4. Sarimun, Wahyudi dan Kadarisman, Pribadi, *Bahan Kuliah Pengaman Sistem* (Jakarta: 2005)