



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pemeliharaan**

Dalam istilah perawatan disebutkan bahwa disana tercakup dua pekerjaan yaitu istilah “perawatan” dan “perbaikan”. Perawatan dimaksudkan sebagai aktifitas untuk mencegah kerusakan, sedangkan istilah perbaikan dimaksudkan sebagai tindakan untuk memperbaiki kerusakan.

Bentuk bentuk Perawatan :

##### **1. Pemeliharaan Preventif**

Adalah pekerjaan perawatan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan, atau cara perawatan yang direncanakan untuk pencegahan (preventif). Ruang lingkup pekerjaan preventif termasuk: inspeksi, perbaikan kecil, pelumasan dan penyetelan, sehingga peralatan atau mesinmesin selama beroperasi terhindar dari kerusakan.

##### **2. Pemeliharaan Korektif**

Adalah pekerjaan perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki dan meningkatkan kondisi fasilitas/peralatan sehingga mencapai standar yang dapat diterima. Dalam perbaikan dapat dilakukan peningkatan-peningkatan sedemikian rupa, seperti melakukan perubahan atau modifikasi rancangan agar peralatan menjadi lebih baik.

##### **3. Pemeliharaan Prediktif**

Perawatan prediktif ini dilakukan untuk mengetahui terjadinya perubahan atau kelainan dalam kondisi fisik maupun fungsi dari sistem peralatan. Biasanya perawatan prediktif dilakukan dengan bantuan panca indra atau alat-alat monitor yang canggih.



#### 4. Pemeliharaan Darurat

Adalah pekerjaan perbaikan yang harus segera dilakukan karena terjadi kemacetan atau kerusakan yang tidak terduga.

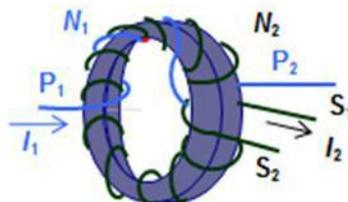
## 2.2 Current Transformer

### 2.2.1 Pengertian

Trafo Arus (*Current Transformer - CT*) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi primer (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi.<sup>1</sup>

### 2.2.2 Prinsip Kerja

Prinsip kerja trafo arus adalah sebagai berikut:



Gambar 2-1 Rangkaian pada CT

Untuk trafo yang dihubung singkat :  $I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2 \dots (2.1)$

Untuk trafo pada kondisi tidak berbeban:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots \dots \dots (2.2)$$

<sup>1</sup> PT. PLN (PERSERO), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO), No. 0520-2.K/DIR/2014, Oktober 2014.



Dimana

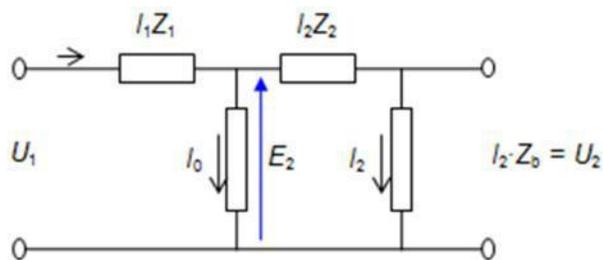
$$a = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots (2.3)$$

$I_1 > I_2$  sehingga  $N_1 < N_2$ ,

$N_1$  = Jumlah lilitan primer, dan

$N_2$  = Jumlah lilitan sekunder.

Rangkaian Ekivalen



Gambar 2-2 Rangkaian Ekivalen<sup>2</sup>

Tegangan induksi pada sisi sekunder adalah

$$E_2 = 4,44 . B . A . f . N_2 \text{ Volt} \dots\dots\dots (2.4)$$

Tegangan jepit rangkaian sekunder adalah

$$E_2 = I_2 . (Z_2 + Z_b) \text{ Volt} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$Z_b = Z_{kawat} + Z_{inst} \text{ Volt} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dalam aplikasinya harus dipenuhi  $U_1 > U_2$

Dimana:

$B$  = kerapatan fluksi (tesla)

$A$  = luas penampang (m<sup>2</sup>)

<sup>2</sup> PT. PLN (PERSERO), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO), No. 0520-2.K/DIR/2014, Oktober 2014.



$f$  = frekuensi (Hz)

$N_2$  = jumlah lilitan sekunder<sup>3</sup>

$U_1$  = tegangan sisi primer

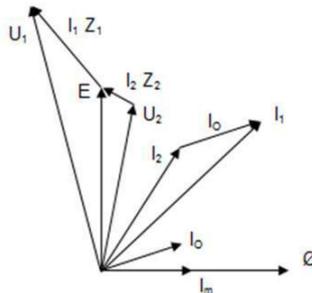
$U_2$  = tegangan sisi sekunder

$Z_b$  = impedansi/tahanan beban trafo arus

$Z_{kawat}$  = impedansi/tahanan kawat dari terminasi CT ke instrumen

$Z_{inst}$  = Impedansi/tahanan internal instrumen, misalnya relai proteksi atau peralatan meter

Diagram Fasor Arus dan Tegangan pada Trafo Arus (CT)



Gambar 2-3 Diagram Fasor Arus dan Tegangan pada Trafo

### 2.2.3 Aplikasi Trafo Arus

Aplikasi dari trafo arus adalah:

- Mengkonversi besaran arus pada sistem tenaga listrik dari besaran primer menjadi besaran sekunder untuk keperluan pengukuran sistem metering dan proteksi

<sup>3</sup> PT. PLN (PERSERO), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO), No. 0520-2.K/DIR/2014, Oktober 2014.



- Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, sebagai pengamanan terhadap manusia atau operator yang melakukan pengukuran.
  - Standarisasi besaran sekunder, untuk arus nominal 1 Amp dan 5 Amp
- Secara fungsi trafo arus dibedakan menjadi dua yaitu:

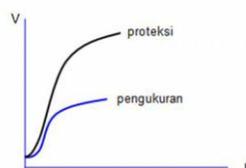
a). Trafo arus pengukuran

1. Trafo arus pengukuran untuk metering memiliki ketelitian tinggi pada daerah kerja (daerah pengenalnya) 5% - 120% arus nominalnya tergantung dari kelasnya dan tingkat kejenuhan yang relatif rendah dibandingkan trafo arus untuk proteksi.
2. Penggunaan trafo arus pengukuran untuk Amperemeter, Watt-meter, VARh meter, dan cos p meter.

b). Trafo arus proteksi

1. Trafo arus untuk proteksi, memiliki ketelitian tinggi pada saat terjadi gangguan dimana arus yang mengalir beberapa kali dari arus pengenalnya dan tingkat kejenuhan cukup tinggi.
2. Penggunaan trafo arus proteksi untuk relai arus lebih (OCR dan GFR), relai beban lebih, relai diferensial, relai daya dan relai jarak.

Perbedaan mendasar trafo arus pengukuran dan proteksi adalah pada titik saturasinya seperti pada kurva saturasi dibawah (Gambar 2-4).<sup>4</sup>

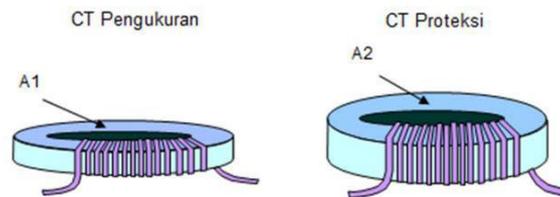


Gambar 2-4 Kurva Saturasi

<sup>4</sup> SPLN T3.003-1: 2011, "Pedoman Pemilihan Transformator Arus (CT) untuk Sistem Transmisi", Standar PT PLN (Persero)



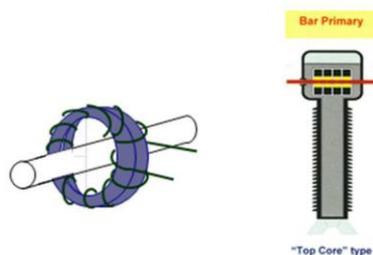
- Trafo arus untuk pengukuran dirancang supaya lebih cepat jenuh dibandingkan trafo arus proteksi sehingga konstruksinya mempunyai luas penampang inti yang lebih kecil (Gambar 1-5).<sup>5</sup>



Gambar 2-5 Luas Penampang CT

#### 2.2.4 Klasifikasi Trafo Arus

1. Jenis trafo arus menurut tipe konstruksi dan pasangannya
  - a. Tipe Konstruksi
    - Tipe Cincin
    - Tipe cor coran cast resin
    - Tipe tangki minyak
    - Tipe trafo arus bushing
  - b. Tipe Pemasangan
    - A. Pasangan Dalam
    - B. Pasangan Luar
2. Jenis trafo arus berdasarkan konstruksi belitan primer
  - a. Sisi Primer Batang (Bar Primary)



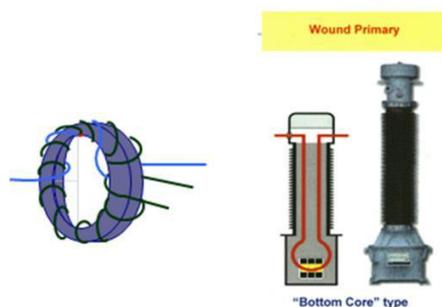
Gambar 2-6 Top Core Type<sup>6</sup>

<sup>5</sup> SPLN T3.003-1: 2011, "Pedoman Pemilihan Transformator Arus (CT) untuk Sistem Transmisi", Standar PT PLN (Persero)

<sup>6</sup> PT. PLN (PERSERO), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO), No. 0520-2.K/DIR/2014, Oktober 2014.



b. Sisi Tipe Lilitan (Wound Primary)



Gambar 2-7 Bottom Core Type

3. Jenis trafo arus berdasarkan konstruksi jenis inti

a. Trafo arus dengan inti besi

Trafo arus dengan inti besi adalah trafo arus yang umum digunakan pada arus yang kecil (jauh dibawah nilai nominal) terdapat kecenderungan kesalahan dan pada arus yang besar (beberapa kali nilai nominal) trafo arus akan mengalami saturasi.

b. Trafo arus tanpa inti besi

Trafo arus tanpa inti besi tidak memiliki saturasi dan rugi histerisis, transformasi dari besaran primer ke besaran sekunder adalah linier di seluruh jangkauan pengukuran, contohnya adalah koil rogowski (*coil rogowski*)

4. Jenis trafo arus berdasarkan jenis isolasi

Berdasarkan jenis isolasinya, trafo arus terdiri dari:

a. Trafo arus kering

Trafo arus kering biasanya digunakan pada tegangan rendah, umumnya digunakan pada pasangan dalam ruangan (*indoor*).<sup>7</sup>

b. Trafo arus *cast resin*

Trafo arus ini biasanya digunakan pada tegangan menengah, umumnya digunakan pada pasangan dalam ruangan

<sup>7</sup> PT. PLN (PERSERO), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO), No. 0520-2.K/DIR/2014, Oktober 2014.



(*indoor*), misalnya trafo arus tipe cincin yang digunakan pada kubikel penyulang 20 kV.

c. Trafo arus isolasi minyak

Trafo arus isolasi minyak banyak digunakan pada pengukuran arus tegangan tinggi, umumnya digunakan pada pemasangan di luar ruangan (*outdoor*) misalkan trafo arus tipe bushing yang digunakan pada pengukuran arus penghantar tegangan 70 kV dan 150 kV.

d. Trafo arus isolasi SF<sub>6</sub>/*compound*

Trafo arus ini banyak digunakan pada pengukuran arus tegangan tinggi, umumnya digunakan pada pemasangan di luar ruangan (*outdoor*) misalkan trafo arus tipe *top-core*.

5. Jenis trafo arus berdasarkan pemasangan

Berdasarkan lokasi pemasangannya, trafo arus dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

a. Trafo arus pemasangan luar ruangan (*outdoor*)

Trafo arus pemasangan luar ruangan memiliki konstruksi fisik yang kokoh, isolasi yang baik, biasanya menggunakan isolasi minyak untuk rangkaian elektrik internal dan bahan keramik/porcelain untuk isolator eksternal.



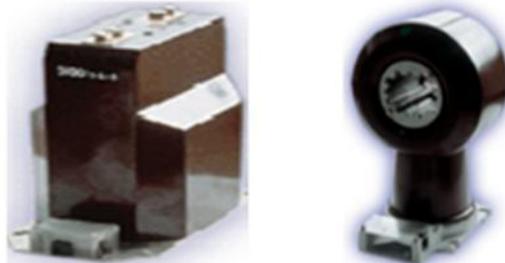
Gambar 2-8 Trafo Arus Pemasangan Luar Ruangan<sup>8</sup>

b. Trafo arus pemasangan dalam ruangan (*indoor*)

<sup>8</sup> PT. PLN (PERSERO), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO), No. 0520-2.K/DIR/2014, Oktober 2014.



Trafo arus pemasangan dalam ruangan biasanya memiliki ukuran yang lebih kecil dari pada trafo arus pemasangan luar ruangan, menggunakan isolator dari bahan resin.



Gambar 2-9 rafo Arus Pemasangan Dalam Ruangan

6. Jenis Trafo arus berdasarkan jumlah inti pada sekunder

a. Trafo arus dengan inti tunggal

Contoh: 150 – 300 / 5 A, 200 – 400 / 5 A, atau 300 – 600 / 1 A.

b. Trafo arus dengan inti banyak

Trafo arus dengan inti banyak dirancang untuk berbagai keperluan yang mempunyai sifat penggunaan yang berbeda dan untuk menghemat tempat.

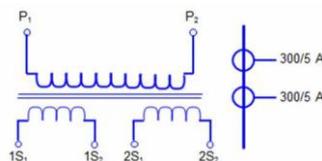
Contoh:

Trafo arus 2 (dua) inti 150 – 300 / 5 – 5 A (Gambar 2-10).

Penandaan primer: P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>

Penandaan sekunder inti ke-1: 1S<sub>1</sub>-1S<sub>2</sub> (untuk pengukuran)

Penandaan sekunder inti ke-2: 2S<sub>1</sub>-2S<sub>2</sub> (untuk relai arus lebih)<sup>9</sup>



Gambar 2-10 Trafo Arus dengan 2 Inti

<sup>9</sup> PT. PLN (PERSERO), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO), No. 0520-2.K/DIR/2014, Oktober 2014.



Trafo arus 4 (empat) inti  $800 - \underline{1600} / 5 - 5 - 5 - 5$  A (Gambar 2-11).

Penandaan primer: P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>

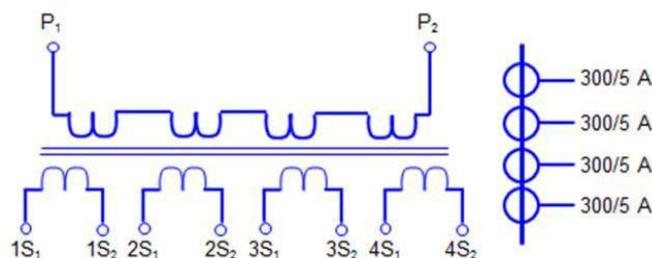
Penandaan sekunder inti ke-1: 1S<sub>1</sub>-1S<sub>2</sub> (untuk pengukuran)

Penandaan sekunder inti ke-2: 2S<sub>1</sub>-2S<sub>2</sub> (untuk relai arus lebih)

Penandaan sekunder inti ke-3: 3S<sub>1</sub>-3S<sub>2</sub> (untuk relai jarak)

Penandaan sekunder inti ke-4: 4S<sub>1</sub>-4S<sub>2</sub> (untuk proteksi rel)

Trafo arus 4 (empat) inti  $800 - \underline{1600} / 5 - 5 - 5 - 5$  A



Gambar 2-11 Trafo Arus dengan 4 Inti

## 7. Jenis trafo arus berdasarkan pengenal

Trafo arus memiliki dua pengenal, yaitu pengenal primer dan sekunder. Pengenal primer yang biasanya dipakai adalah 150, 200, 300, 400, 600, 800, 900, 1000, 1200, 1600, 1800, 2000, 2500, 3000 dan 3600. Pengenal sekunder yang biasa dipakai adalah 1 dan 5 A.

Berdasarkan pengenalnya, trafo arus dapat dibagi menjadi:

Trafo arus dengan dua pengenal primer<sup>10</sup>

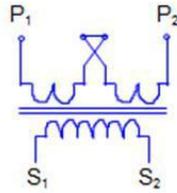
### A. Primer seri

Contoh: CT 800 – 1600 / 1 A Untuk hubungan primer seri, maka didapat rasio CT

<sup>10</sup> PT. PLN (PERSERO), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO), No. 0520-2.K/DIR/2014, Oktober 2014.



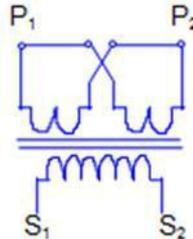
800 / 1 A, lihat Gambar 2-12 berikut:



Gambar 2-12 Primer Seri CT rasio 800 / 1 A

#### B. Primer paralel

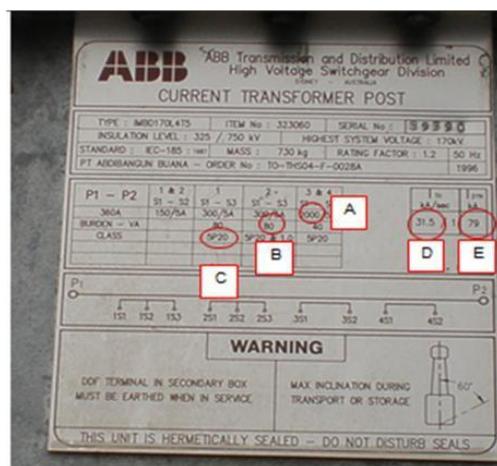
Contoh: CT dengan rasio 800 – 1600 / 1 A. Untuk hubungan primer paralel, maka didapat rasio CT 1600 A lihat Gambar 2-13 berikut.



Gambar 2-13 Primer Paralel CT rasio 1600 / 1 A

### 2.2.5 Pengenal (Rating) Trafo Arus

Umumnya sebagian data teknis trafo arus dituliskan pada *nameplate*, seperti data *rated burden*, *rated current*, *instantaneous rated current* dan yang lainnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2-14.



Gambar 2-14 Komponen CT



Keterangan Gambar:

A= Pengenal Arus Kontinyu (*Continuous Rated Current*)

B= Pengenal Beban (*Rated Burden*)

C= Ketelitian/Akurasi Trafo Arus

D= Pengenal Arus Sesaat (*Instantaneous Rated Current*)

E= Pengenal Arus Dinamik (*Dynamic Rated Current*)

### 1. Pengenal Arus Kontinyu (*Continuous Rated Current*)

Pengenal arus kontinyu adalah arus primer maksimum yang diperbolehkan mengalir secara terus-menerus (arus nominal). Umumnya dinyatakan pada pengenal trafo arus, contoh: 300/5 A.<sup>11</sup>

### 2. Pengenal Beban (*Rated Burden*)

Pengenal beban adalah pengenal dari beban trafo arus dimana akurasi trafo arus masih bisa dicapai dan dinyatakan dalam satuan VA. Umumnya bernilai 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30 dan 40 VA.

### 3. Pengenal Arus Sesaat (*Instantaneous Rated Current*)

Pengenal arus sesaat atau sering disebut *short time rated current* adalah arus primer maksimum (dinyatakan dalam nilai rms) yang<sup>12</sup>diperbolehkan mengalir dalam waktu tertentu dengan sekunder trafo arus terhubung singkat sesuai dengan tanda pengenal trafo arus (*nameplate*), contoh:  $I_{th} = 31.5 \text{ kA/1 s}$

### 4. Pengenal Arus Dinamik (*Dynamic Rated Current*)

Pengenal arus dinamik adalah perbandingan  $\frac{I_{Peak}}{I_{Rated}}$  dimana  $I_{Peak}$  adalah arus puncak primer maksimum trafo arus yang diijinkan tanpa

<sup>11</sup> PT. PLN (PERSERO), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO), No. 0520-2.K/DIR/2014, Oktober 2014.

<sup>12</sup> PT. PLN (PERSERO), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO), No. 0520-2.K/DIR/2014, Oktober 2014.



menimbulkan kerusakan dan  $I_{rated}$  adalah arus nominal primer trafo arus, contoh:  $I_{dyn} = 40$  kA.

### 2.2.6 Kesalahan Trafo Arus

Pada trafo arus dikenal 2 jenis kesalahan, yaitu:

#### 1. Kesalahan Perbandingan/Rasio

Kesalahan perbandingan/rasio trafo arus berdasarkan IEC-60044-1 Edisi 1.2 tahun 2003 adalah kesalahan besaran arus karena perbedaan rasio pengenal trafo arus dengan rasio sebenarnya dinyatakan dalam:

$$e = \frac{Kn \cdot Is - Ip}{Ip} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana

e = Kesalahan Trafo Arus (%)

Kn = Pengenal rasio trafo arus

Ip = Arus primer aktual trafo arus (A)

Is = Arus sekunder aktual trafo arus (A)

#### 2. Kesalahan Sudut Fasa

Kesalahan sudut fasa adalah kesalahan akibat pergeseran fasa antara arus sisi primer dengan arus sisi sekunder. Kesalahan sudut fasa akan memberikan pengaruh pada pengukuran berhubungan dengan besaran arus dan tegangan, misalnya pada pengukuran daya aktif maupun daya reaktif, pengukuran energi dan relai arah. Pemeriksaan ini umumnya dilakukan pada saat komisioning atau saat investigasi. Batasan maksimum nilai kesalahan sudut fasa berdasarkan persentase pembebanan dan kelas CT metering dapat dilihat pada Tabel 2-1 dan Tabel 2-2, sedangkan untuk kelas CT proteksi dapat dilihat pada Tabel 2-3.



### 2.2.7 Ketelitian/Akurasi Trafo Arus

Ketelitian trafo arus dinyatakan dalam tingkat kesalahannya. Semakin kecil kesalahan sebuah trafo arus, semakin tinggi tingkat ketelitian/akurasinya.<sup>13</sup>

#### A. Batas Ketelitian Arus Primer (*Accuracy Limit Primary Current*)

Batas ketelitian arus primer adalah batasan kesalahan arus primer minimum dimana kesalahan komposit dari trafo arus sama atau lebih kecil dari 5% atau 10% pada saat sekunder dibebani arus pengenalnya.

#### B. Faktor Batas Ketelitian (*Accuracy Limit Factor/ALF*)

Faktor batas ketelitian disebut juga faktor kejenuhan inti adalah batasan perbandingan nilai arus primer minimum terhadap arus primer pengenal dimana kesalahan komposit dari trafo arus sama atau lebih kecil dari 5% atau 10% pada sekunder yang dibebani arus pengenalnya. ALF merupakan perbandingan dari  $\frac{I_{primer}}{I_{rated}}$ <sup>14</sup>

Contoh:

CT 5P20 dengan rasio 300 / 1 A, artinya *Accuracy Limit Factor* (ALF) = 20, maka batas ketelitian trafo arus tersebut adalah

$$\begin{aligned} &\leq 5\% \text{ pada nilai } 20 \times \text{Arus pengenal primer atau} \\ &\leq 5\% * 300 \text{ A pada pengukuran arus primer } 20 * \\ &300 \text{ A, atau } \leq 15 \text{ A pada pengukuran arus primer} \\ &6000 \text{ A} \end{aligned}$$

### 2.2.8 Kelas Ketelitian Trafo Arus Metering

Trafo arus metering memiliki ketelitian tinggi untuk daerah pengukuran sampai 1,2 kali nominalnya. Daerah kerja trafo arus metering

<sup>13</sup> PT. PLN (PERSERO), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO), No. 0520-2.K/DIR/2014, Oktober 2014.

<sup>14</sup> IEEE Std C57.13-1993 "Standard Requirements for Instrument Transformers".



antara:  $0.1 - 1.2 \times I_N$  trafo arus. Kelas ketelitian trafo arus metering dinyatakan dalam prosentase kesalahan rasio pengukuran baik untuk arus maupun pergeseran sudut fasa, seperti pada Tabel 1 dan 2 di bawah.

**Tabel 2-1**  
**Batas Kesalahan Trafo Arus Metering**

Kelas Ketelitian	+/- % Kesalahan Rasio Arus pada % dari Arus Pengenal				+/- Pergeseran Fase pada % dari Arus Pengenal Menit (1/60 derajat)			
	5	20	100	120	5	20	100	120
<b>0,1</b>	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5
<b>0,2</b>	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10
<b>0,5</b>	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
<b>1,0</b>	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60

**Tabel 2-2**  
**Batas Kesalahan Trafo Arus Metering**

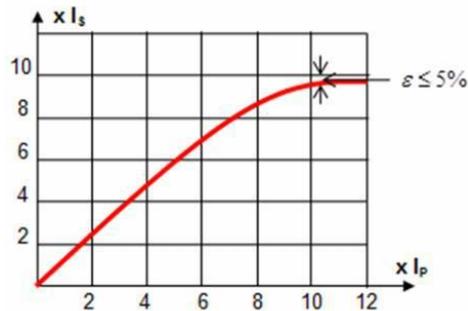
Kelas Ketelitian	+/- % Kesalahan Rasio Arus pada % dari Arus Pengenal					+/- Pergeseran Fase pada % dari Arus Pengenal Menit (1/60 derajat)				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
<b>0,25</b>	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10
<b>0,55</b>	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30

Contoh pembacaan kedua tabel di atas adalah sebagai berikut:

Trafo arus dengan spesifikasi sebagai berikut; Rasio 300/5 A, kelas 0,2 dan dibebani sebesar 60 Amp (20%  $I_N$ ), maka kesalahan maksimum Rasio



arus yang diijinkan adalah  $\pm 0,35\%$  dan pergeseran maksimum fasa sebesar  $\pm 15/60$  derajat atau  $0,25$  derajat.<sup>15</sup>



Gambar 2-15 Kurva Faktor Batas Ketelitian

## 2.2.9 Kelas Ketelitian Trafo Arus Proteksi

### A. Kelas P

CT yang mempunyai batas ketelitian berdasarkan kesalahan komposit yang ditentukan dalam keadaan *steady state* arus primer simetris. Kelas ketelitian trafo arus proteksi dinyatakan dalam pengenal sebagai berikut: 15 VA, 10P20.

15 VA	= Pengenal beban ( <i>burden</i> ) trafo arus, sebesar 15 VA
10 P	= Kelas proteksi, kesalahan komposit 10% pada pengenal
batas	akurasi
20	= <i>Accuracy Limit Factor</i> , batas ketelitian trafo arus
s.d. 20	kali arus pengenalnya

**Tabel 2-3**

### Kesalahan Rasio dan Pergeseran Fasa Trafo Arus Proteksi

<sup>15</sup> <sup>15</sup> IEEE Std C57.13-1993 "Standard Requirements for Instrument Transformers".



Kelas Ketelitian	Pada Arus Pengenal		Kesalahan Komposit pada batas ketelitian arus primer pengenal (%)
	Kesalahan Rasio (%)	Kesalahan Sudut (Menit)	
<b>5P</b>	$\pm 1$	$\pm 60$	5
<b>10P</b>	$\pm 3$	-	10

### B. Kelas PX, PR,TPS,TPX, TPY dan TPZ

Trafo arus yang mempunyai sirkit tanpa ataupun dengan celah udara serta mempunyai tipikal konstanta waktu sekunder, dikelompokkan sebagai berikut :<sup>16</sup>

#### 1) Kelas PX

Trafo arus yang harus memiliki kebocoran reaktansi rendah dan informasi khusus seperti Rasio, tegangan *Knee Point*, arus eksitasi maksimum dan *secondary circuit resistance* (Rct).

#### 2) Kelas PR

Trafo arus yang sama dengan kelas P tetapi mempunyai remanensi rendah.

#### 3) Kelas TPS

Trafo arus yang mempunyai kebocoran fluksi rendah dimana unjuk kerjanya ditentukan oleh kurva magnetisasi (*V knee*), arus magnetisasi, serta tahanan belitan sekunder. Tidak ada batasan untuk remanensi fluksi. Trafo arus TPS adalah trafo arus tanpa celah udara sehingga kebocoran

<sup>16</sup> SPLN T3.003-1: 2011, "Pedoman Pemilihan Transformator Arus (CT) untuk Sistem Transmisi", Standar PT PLN (Persero)



fluksi yang kecil. Tipe ini juga bersesuaian dengan Trafo Arus **kelas X** menurut *British Standart 3938* tahun 1973 yang direkomendasikan untuk relai *Differential*.

#### 4) Kelas TPX (non gapped core)

Trafo arus yang mempunyai batas ketelitian berdasarkan kesalahan komposit yang ditentukan selama siklus kerja transien dan tidak ada batasan untuk remanensi fluksi. Trafo arus TPX adalah trafo arus tanpa celah udara dengan konstanta waktu lebih lama dari 5 detik, umumnya 5 s.d. 20 detik. Trafo arus jenis ini mempunyai ketelitian tinggi, arus magnetisasi yang sangat rendah, presisi pada transformasi komponen AC dan DC.

- Cocok untuk semua jenis proteksi
- Faktor remanensi  $K_R \approx 0.8$
- Trafo arus jenis ini mempunyai inti yang besar sehingga berat dan mahal
- Dapat dikombinasikan dengan trafo arus jenis TP<sup>17</sup>
- Pengguna (*user*) harus menyertakan nilai minimum dari  $V_{knee}$  dan nilai rms maksimum dari arus eksitasi<sup>18</sup>
- Trafo arus jenis TPX ini pada umumnya digunakan pada sistem tegangan tinggi/tegangan ekstra tinggi untuk proteksi: Busbar, CCP, dan RF

#### 5) Kelas TPY (*anti remanence gapped core*)

Trafo arus yang memiliki batas ketelitian berdasarkan kesalahan nilai maksimum sesaat selama siklus kerja transien. Remanensi fluksi tidak melebihi 10% dari nilai kejenuhan (saturasi). Trafo arus TPY adalah trafo arus yang memiliki celah udara kecil (pada inti) dengan konstanta waktu 0.2

<sup>17</sup> SPLN T3.003-1: 2011, "Pedoman Pemilihan Transformator Arus (CT) untuk Sistem Transmisi", Standar PT PLN (Persero)

<sup>18</sup> SPLN T3.003-1: 2011, "Pedoman Pemilihan Transformator Arus (CT) untuk Sistem Transmisi", Standar PT PLN (Persero)



s.d. 5 detik. Trafo arus jenis ini hampir sama dengan trafo arus jenis TPX namun transformasi komponen DC tidak seteliti trafo arus TPX.

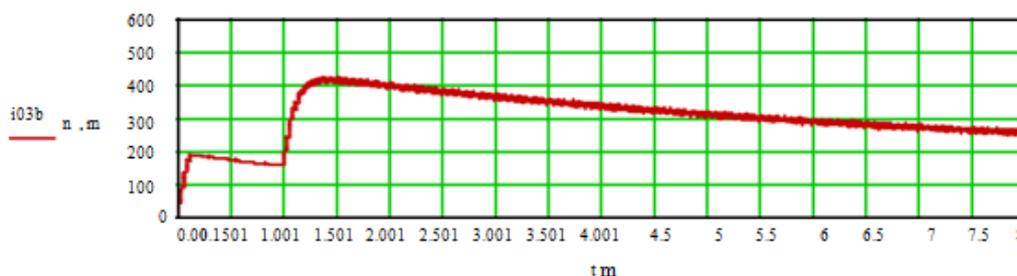
- Kesalahan transien lebih besar pada konstanta waktu yang kecil
- Faktor remenensi  $KR < 0.1$
- Trafo arus jenis ini mempunyai inti yang besar sehingga berat dan mahal
- Cocok untuk semua jenis proteksi
- Toleransi konstanta waktu sekunder  $\square 20\%$  jika  $T_s < 2$  detik dan CT digunakan untuk proteksi penghantar (LP) tegangan ekstra tinggi

#### 6) Kelas TPZ (*linear core*)

Trafo arus yang memiliki batas ketelitian yang ditentukan berdasarkan kesalahan nilai maksimum sesaat komponen bolak balik selama energisasi yang tunggal dengan nilai dc *offset* yang maksimum pada konstanta waktu rangkaian sekunder tertutup. Trafo arus TPZ adalah trafo arus yang memiliki celah udara besar (pada inti) dengan konstanta waktu 60 milidetik  $\pm 10\%$ .

Arus magnetisasi 53% dari arus sekunder pada keadaan diam (*steady state*).

- Faktor remenensi  $KR \approx 0$
- Ukuran core 1/3 dari tipe TPX dan TPY untuk keperluan yang sama,
- Hanya dapat dikombinasikan dengan trafo arus jenis TPZ saja.<sup>19</sup>



<sup>19</sup> PT. PLN (PERSERO), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO), No. 0520-2.K/DIR/2014, Oktober 2014.



Gambar 2-16 Pengaruh Remanansi CT untuk Auto Reclose yang Tepat

### 2.2.10 Perhitungan Kejenuhan Inti

Diketahui arus hubung singkat maksimum  $I_F \max = 7266 \text{ A}$ , rasio CT 1000 /5 A dan kelas 10P20, *burden* 7.5 VA. CT tersebut dihubungkan pada rangkaian relai proteksi dengan nilai tahanan internal  $R_{CT} = 0.26\Omega$ ,  $R_{relai} = 0.02\Omega$ ,  $R_{kawat} = 0.15 \Omega$ .

- Perhitungan untuk relai arus lebih:

$$V_s = I_f \cdot (R_{ct} + R_{relay} + R_{kawat}) \text{ Volt} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$V_s = 7226 \times \frac{5}{1000} \cdot (0,26 + 0,02 + 0,15) \text{ Volt}$$

$$V_s = 15,54 \text{ Volt}$$

- Tegangan Knee (V knee) CT Adalah

$$V_k = \left( \frac{VA}{I_n} + R_{ct} \cdot I_n \right) \times ALF \dots\dots\dots (2.9)$$

$$V_k = \left( \frac{7.5}{5} + 0,26 \cdot 5 \right) \times 20 \text{ Volt}$$

$$V_k = 56 \text{ Volt}$$

$V_k > V_s$  Dengan demikian CT masih memenuhi kebutuhan<sup>20</sup>

<sup>20</sup> PT. PLN (PERSERO), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO), No. 0520-2.K/DIR/2014, Oktober 2014.