
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Transformator Arus⁵

CT (Current Transformer) merupakan transformator arus yang berfungsi untuk mengkonversi arus yang melewatinya dari level tinggi ke level rendah yang dapat dimanfaatkan untuk input alat metering maupun alat proteksi pada suatu jaringan sistim tenaga listrik.



Gambar 2.1 Transformator Arus

Current Transformer merupakan komponen utama dalam sistim tenaga listrik, baik pada distribusi maupun pada pembangkitan. Dengan adanya current transformer, suatu peralatan ataupun jaringan dapat dimonitoring kondisinya melalui hasil pengukuran (metering) serta dapat dilindungi melalui proteksi apabila adanya gangguan yang menimbulkan arus yang sangat besar sebagai akibat short circuit (hubungan singkat) ataupun overload (kelebihan beban) dan lain sebagainya.

Dari hal diatas, pemanfaatan output dari current transformer dapat dibagi atas 2 hal, yaitu :

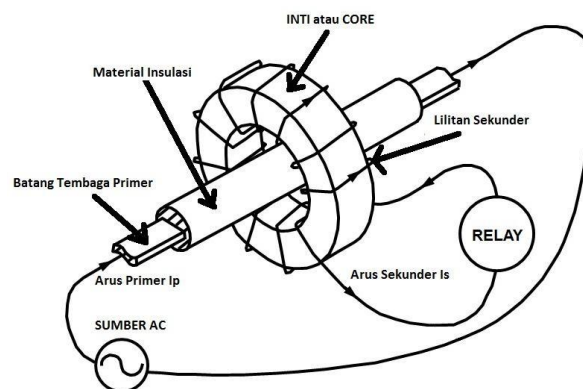
- Metering, output dari Current Transformer digunakan sebagai input pada alat ukur.
- Proteksi, output dari Current Transformer digunakan sebagai input untuk alat proteksi yang nantinya akan mentrigger alat proteksi untuk bekerja apabila ada gangguan.

⁵ PT. PLN (Persero). 2009. Pemeliharaan Trafo Arus (CT) dan Pemeliharaan Trafo Tegangan (PT)

2.2 Prinsip Kerja Transformator Arus

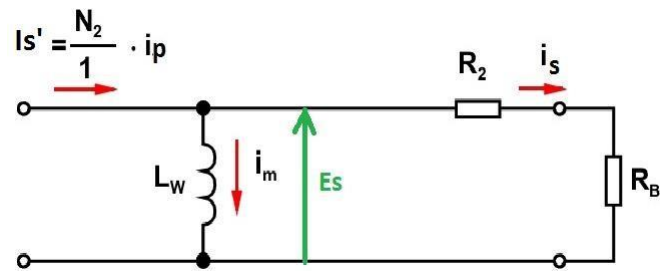
Arus yang mengalir pada sistem distribusi tegangan menengah ataupun tegangan rendah berkisar ratusan hingga ribuan ampere. Oleh karena itu, belitan primer dari transformator arus terbuat dari batangan tembaga dengan dimensi yang relatif besar agar mampu menahan arus yang mengalir secara terus-menerus disisi primer ataupun arus sesaat ketika terjadi kegagalan sistem. Karena terbuat dari batang tembaga yang cukup besar dan maksimal 2 lilitan untuk rasio ganda, maka impedansi disisi primer bisa diabaikan karena terlalu kecil dibandingkan impedansi sistem.

Gambar dibawah ini adalah contoh sederhana dari transformator arus yang menggunakan batang tembaga lilitan tunggal sebagai belitan primer.



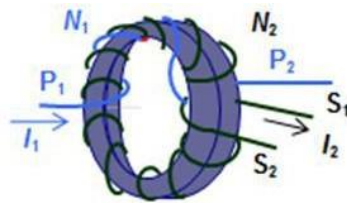
Gambar 2.2 Transformator Arus dengan Batang Tembaga Tunggal di Sisi Primer

- Pada saat arus primer I_p mengalir pada lilitan primer, maka akan muncul medan magnet disekeliling lilitan primer tersebut.
- Medan magnet tersebut akan terkumpul lebih banyak pada inti atau core. Medan magnet yang berputar di dalam inti atau core menghasilkan perubahan flux primer dan memotong lilitan sekunder sehingga menginduksikan tegangan pada lilitan sekunder sesuai hukum faraday.
- Karena lilitan sekunder membentuk loop tertutup, maka akan mengalir arus sekunder I_s yang akan membangkitkan medan magnet untuk melawan flux magnet yang dihasilkan oleh belitan primer sesuai hukum lenz.



Gambar 2.3 Model Diagram Listrik Sederhana dari Transformator Arus

Dari gambar diatas terlihat bahwa arus sekunder I_s yang mengalir pada burden atau beban mengalami perubahan karena adanya arus eksitasi yang diperlukan untuk menjamin terlaksananya proses transformasi.



Gambar 2.4 Rangkaian pada CT

Untuk transformator yang dihubung singkat :

$$N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2 \dots \dots \dots (2.1)$$

Untuk transformator pada kondisi tidak berbeban:

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

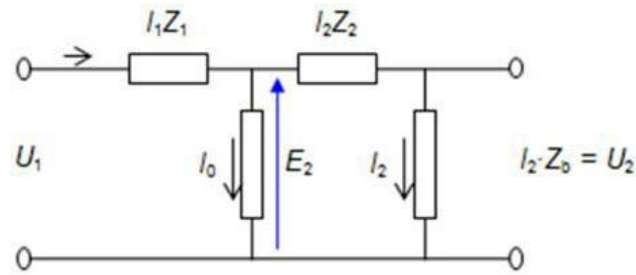
Dimana

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

$I_1 > I_2$ sehingga $N_1 < N_2$

N_1 = Jumlah lilitan primer

N_2 = Jumlah lilitan sekunder



Gambar 2.5 Rangkaian Ekivalen Transformator Arus

Tegangan induksi pada sisi sekunder adalah :

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

Tegangan jepit rangkaian sekunder adalah :

$$E_2 = I_2 \cdot (Z_2 + Z_b) \text{ volt} \dots\dots\dots (2.5)$$

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

Dalam aplikasinya harus dipenuhi $U_1 > U_2$

Dimana :

B = Kerapatan fluksi (tesla)

A = Luas penampang (m^2)

f = Frekuensi (Hz)

N_2 = Jumlah lilitan sekunder

U_1 = Tegangan sisi primer

U_2 = Tegangan sisi sekunder

Z_b = Impendansi/tahanan beban transformator arus

Z_{kawat} = Impendansi/tahanan kawat dari terminal CT ke instrument

Z_{inst} = Impendansi/tahanan internal instrumen, misalnya relay proteksi atau peralatan meter



2.3 Fungsi Transformator Arus⁴

Fungsi dari transformator arus adalah:

- Mengkonversi besaran arus pada sistem tenaga listrik dari besaran primer menjadi besaran sekunder untuk keperluan pengukuran sistem metering dan proteksi.
- Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, sebagai pengamanan terhadap manusia atau operator yang melakukan pengukuran.
- Standarisasi besaran sekunder, untuk arus nominal 1A dan 5A.

Secara fungsi trafo arus dibedakan menjadi dua yaitu:

- a) Transformator arus pengukuran
 - Transformator 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.
 - Penggunaan transformator arus pengukuran untuk Amperemeter, Watt-meter, VARh-meter, dan $\cos \varphi$ meter.
- b) Transformator arus proteksi.
 - Transformator arus untuk proteksi, memiliki ketelitian tinggi pada saat terjadi gangguan dimana arus yang mengalir beberapa kali dari arus pengenalnya dan tingkat kejenuhan cukup tinggi.
 - Penggunaan transformator arus proteksi untuk relai arus lebih (OCR dan GFR), relai beban lebih, relai diferensial, relai daya dan relai jarak.

2.4 Jenis Transformator Arus

Jenis transformator arus menurut tipe konstruksi dan pasangannya.

Tipe Konstruksi:

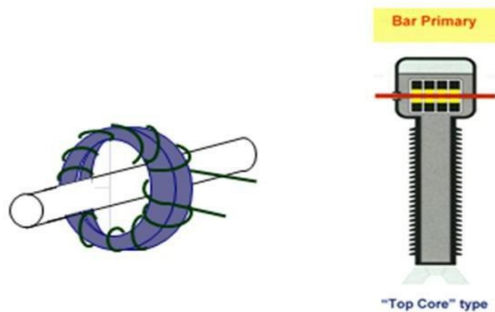
- 1 Tipe cincin (ring/window type)

⁴ PT. PLN (Persero). 2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Arus. Hal 3

- 2 Tipe cor-coran cast resin (mounded cast resin type)
- 3 Tipe tangki minyak (oil tank type)
- 4 Tipe trafo arus bushing
- 5 Tipe Pasangan.
- 6 Pasangan dalam (indoor)
- 7 Pasangan luar (outdoor)

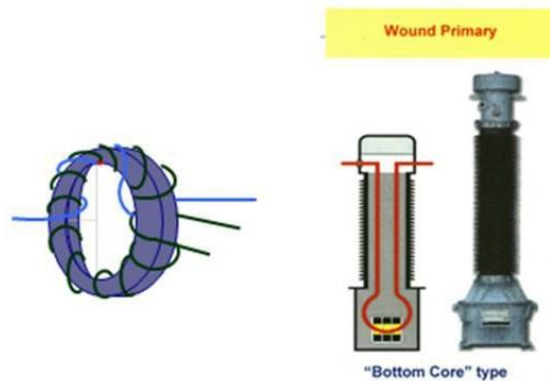
2.4.1 Jenis trafo arus berdasarkan konstruksi belitan primer

- Sisi primer batang (*bar primary*)



Gambar 2.6 Bar Primary

- Sisi tipe lilitan (*wound primary*)



Gambar 2.7 Wound Primary

2.4.2 Jenis Trafo Arus Berdasarkan Konstruksi Jenis Inti

- 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.

- 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*).

2.4.3 Jenis Trafo Arus Berdasarkan Jenis Isolasi

Berdasarkan jenis isolasinya, trafo arus terdiri dari:

- Trafo arus kering

Trafo arus kering biasanya digunakan di tegangan rendah, umumnya digunakan pada pasangan dalam ruangan (*indoor*).

- Trafo arus *cast resin*

Trafo arus ini biasanya digunakan pada tegangan menengah, umumnya digunakan pada pasangan dalam ruangan (*indoor*), misalnya trafo arus tipe cincin yang digunakan pada kubikel penyulang 20 kV.

- Trafo arus isolasi minyak

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

- Trafo arus isolasi SF6/*compound*

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

2.4.4 Jenis Trafo Arus Berdasarkan Pemasangan

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

- 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

- Trafo arus pemasangan dalam ruangan (*indoor*)

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



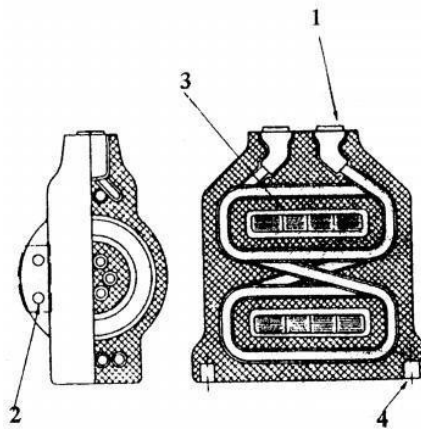
Gambar 2.9 Trafo Arus Pemasangan Dalam Ruangan

2.4.5 Komponen Trafo Arus

Tipe cincin (*ring/window type*) dan tipe cor-coran *cast resin* (*mounded cast resin type*).



Gambar 2.10 CT Tipe Cincin



Gambar 2.11 Komponen CT Tipe Cincin

Keterangan Gambar:

1. Terminal utama (*primary terminal*)
2. Terminal sekunder (*secondary terminal*)
3. Kumaran sekunder (*secondary winding*)

CT tipe cincin dan cor-coran cast resin biasanya digunakan pada kubikel penyulang (tegangan 20 kV dan pemasangan *indoor*). Jenis isolasi pada CT cincin adalah *Cast Resin*.

2.5 Kesalahan Trafo Arus

Pada trafo arus dikenal 2 jenis kesalahan, yaitu:

2.5.1 Kesalahan Perbandingan/Rasio⁷

Kesalahan perbandingan/rasio trafo arus berdasarkan SPLN D3 014-1.2009. Transformer Arus 1. Hal 2 adalah kesalahan besaran arus karena perbedaan rasio pengenal trafo arus dengan rasio sebenarnya dinyatakan dalam :

$$\varepsilon = \frac{K_n \cdot I_s - I_p}{I_p} \times 100\% \dots \dots \dots (2.7)$$

Di mana :

ε = kesalahan rasio trafo arus (%)

K_n = pengenal rasio trafo arus (Faktor kali: 10, 20, 30, 40, 60 dst.)

⁷ SPLN D3 014-1.2009. Transformer Arus 1. Hal 2

I_P = arus primer aktual transformator arus (A)

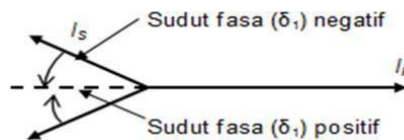
I_S = arus sekunder aktual transformator arus (A)

2.5.2 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 sudat fasa berdasarkan persentase pembebanan dan kelas CT metering.

Kesalahan sudut fasa dibagi menjadi dua nilai, yaitu:

- Bernilai positif (+) jika sudut fasa I_S mendahului I_P
- Bernilai negatif (-) jika sudut fasa I_S tertinggal I_P



Gambar 2.12 Kesalahan Sudut Transformator Arus

Tabel 2.1 Batas Kesalahan Transformator Arus Metering

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

**Tabel 2.2 Batas Kesalahan Transformator Arus Metering**

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

2.6 Spesifikasi Transformator Arus

Transformator Arus umumnya selain digunakan sebagai media proteksi juga digunakan dalam sistem metering (pembacaan). Transformator arus dalam penggunaannya sangatlah kompleks sehingga CT itu sendiri dibuat dengan spesifikasi dan kelas yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan sistem yang ada.

Spesifikasi pada CT antara lain:

- *Ratio* CT, rasio CT merupakan spesifikasi dasar yang harus ada pada CT, di mana representasi nilai arus yang ada di lapangan dihitung dari besarnya rasio CT. Misal CT dengan rasio 2000/5 A, nilai yang terukur di sekunder CT adalah 2,5 A, maka nilai aktual arus yang mengalir di penghantar adalah 1000 A. Kesalahan *ratio* ataupun besarnya presentasi *Error* (%error) dapat berdampak pada besarnya kesalahan pembacaan di alat ukur, kesalahan perhitungan tarif, dan kesalahan operasi sistem proteksi.
- *Burden* atau nilai maksimum daya (dalam satuan VA) yang mampu dipikul oleh CT. Nilai daya ini harus lebih besar dari nilai yang terukur dari terminal sekunder CT sampai dengan koil relay proteksi yang dikerjakan.
- *Class*, kelas CT menentukan untuk sistem proteksi jenis apakah *core* CT tersebut. Misal untuk proteksi arus lebih digunakan kelas 5P20, untuk kelas tarif metering digunakan kelas 0.2 atau 0.5, untuk sistem proteksi busbar digunakan *Class X* atau *PX*.
- *Kneepoint*, adalah titik saturasi/jenuh saat CT melakukan excitasi tegangan. Umumnya proteksi busbar menggunakan tegangan sebagai penggerak koilnya. Tegangan dapat dihasilkan oleh CT ketika sekunder CT diberikan *impedansi*



seperti yang tertera pada Hukum Ohm. *Kneepoint* hanya terdapat pada CT dengan *Class X* atau *PX*. Besarnya tegangan *kneepoint* bisa mencapai 2000 Volt, dan tentu saja besarnya *kneepoint* tergantung dari nilai atau desain yang diinginkan.

- *Secondary Winding Resistance (RCT)*, atau *impedansi* dalam CT. *Impedansi* dalam CT pada umumnya sangat kecil, namun pada *Class X* nilai ini ditentukan dan tidak boleh melebihi nilai yang tertera disana. Misal: <2.5Ohm, maka *impedansi* CT pada *Class X* tidak boleh lebih dari 2.5Ohm atau CT tersebut dikembalikan ke pabrik untuk dilakukan penggantian.

2.6.1 Memilih CT (Current Transformer)

- Ratio arus (dihitung dari arus beban dalam (Ampere), misal : 20/5-5 (untuk pelanggan TM sekunder 2 belitan) dan 100/5 (untuk pelanggan TR sekunder 1 belitan).
- Class proteksi (P): 5P5, 5P10, 5P15, 5P20, 5P25, 5P30.
- Class pengukuran : 0,2S (S=Saturation).
- Class isolasi : Class E.
- Burden = batas kemampuan CT menampung beban (VA) : 2,5 VA, 3VA, 5 VA, 7,5 VA, 10 VA, 20 VA, 25 VA, dan 30 VA. Untuk pemilihan burden CT perlu dilihat beban yang disambungkan pada CT (beban : CT + kabel + alat ukur yang akan disambung VA).
- I_{th} = Arus thermis adalah kemampuan CT menerima arus besar selama 1 detik, untuk pelanggan TM dapat dipilih (5 kA – 25 kA) dalam pemilihan arus thermis sebaiknya dihitung arus gangguan disisi tegangan 20 kV, untuk pelanggan TR dapat dipilih besarnya pembatas arus yang terpasang dan lamanya waktu trip.
- I_{dy} = Arus dynamic = $2,5 \times I_{th}$ adalah nilai puncak arus primer CT tanpa ada kerusakan secara electric dan mechanic yang dihasilkan dari tenaga elektromagnetik.
- F_s = Instrument security factor adalah rasion antara nilai arus lebih primer (I_{ps})



dan nilai primer (I_p), nilainya 5 atau 10 dipilih 5.

- Tegangan = 0,6/12/24/50/125 kV.
- Frekuensi = 50 Hz.

Hal-hal tersebut diatas harus tercantum pada nameplate CT.

2.6.2 Burden Sirkuit Sekunder CT

Resistansi konduktor kabel NYAF, burden sepasang kabel (dua buah kawat pada suhu 40°C) dan arus keluaran 5 A dalam fungsi panjang seperti pada tabel.

Tabel 2.3 Resistansi Kabel NYAF

Luas Penampang (mm ²)	Resistansi Konduktor pada 20°C (Ω/km)
4	4,95
6	3,30
10	1,91

Tabel 2.4 Burden KWh Meter

Jenis kWh meter	Burden (VA) Per-fasa untuk kelas akurasi				
	0,2 S	0,5 S	0,5	1	2
Fasa Tunggal dan Fasa Tiga	1	1	6	8	2,5

2.6.3 Menentukan Spesifikasi

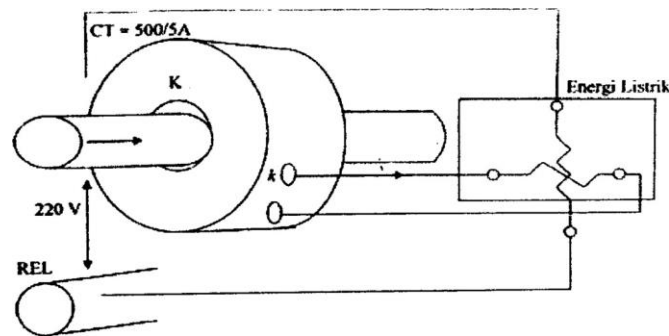
Sebuah current transformer, tidak saja ratio CT saja yang perlu diperhatikan, ada beberapa hal yang mesti dipenuhi agar sebuah current transformer dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan yang dibutuhkan pada sebuah jaringan sistem tenaga listrik, yaitu :

- Turns ratio – perbandingan arus disisi primer dengan arus di sisi sekunder
- Burden - beban normal dalam satuan VA yang dapat disuplai oleh sebuah

current transformer⁷.

- Accuracy factors - batas akurasi pada kondisi steady dan transient.
- Physical configuration – jumlah belitan pada sisi primer dan sekunder, ukuran, bentuk, dimensi dll yang disesuaikan dengan kondisi lapangan.
- Arus sekunder biasanya didesain 5 A nominal

$\frac{\text{Arus primer}}{\text{Arus sekunder}}$ Yang dibaca pada CT adalah merupakan ratio CT.....(2.8)



Gambar 2.13 Skema Hubungan Trafo Arus dengan KWh Meter

Trafo Arus (CT) 500/5 misal CT TR terpasang pada rel

$$CT = \frac{500}{5} A \dots\dots\dots(2.9)$$

Bila arus I_p pada rel mengalir sebesar 500 A, maka arus sekunder I_s nilainya = 5 A rasionya

$$CT = \frac{500}{5} A = 100 \text{ (Faktor kali)} \dots\dots\dots(2.10)$$

Bila I_p 300A

$$I_s' = \frac{I_p'}{I_p} \times I_s = \frac{300}{500} \times 5A = 3A \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

I_p = Arus primer maksimal yang dapat diterima CT

I_s = Arus Sekunder maksimal yang dikonversikan CT

I_p' = Arus yang masuk ke CT

I_s' = Arus yang dikonversikan CT

⁷ SPLN D3 014-1.2009.Transformer Arus 1.Hal 17



2.6.4 Perhitungan Faktor Kali dan penentuan pemilihan CT

Pada pengukuran tidak langsung pelanggan TR, angka stand yang tertera pada selisih angka stand kWh dikalikan dengan Faktor kali (dengan catatan pada meter saat ini, Faktor kali meter = 1).

Pemakaian kWh = (Stand bulan lalu – Stand bulan ini) x Faktor Kali.
Besaran Faktor Kali ditentukan sebagai berikut:

- Untuk pelanggan TR, Faktor kali adalah Angka Rasio CT
- Untuk pelanggan TM dan TT, faktor kali adalah angka rasio CT dikalikan dengan Angka Rasio PT Faktor Kali = Rasio CT x Rasio PT

2.6.5 Penentuan Besaran Trafo Arus

Untuk menentukan besaran Trafo Arus, digunakan rumus sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots (2.12)$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots (2.13)$$

Sebagai contoh beberapa perhitungan:

Pelanggan TR dengan daya 105 KVA. Berapa CT yang harus dipilih dan berapa factor kalinya? Tahap 1, Menghitung Besaran Arus Nominal.

$$I = \frac{105000VA}{\sqrt{3} \times 380V} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$I = 159,72 \text{ A} \dots\dots\dots (2.15)$$

Tahap 2, Memilih CT yang ada dipasaran dengan syarat lebih besar dari arus nominal dan besarannya yang paling mendekati. Maka dipilih CT pasaran yang mendekati, yaitu CT TR : 200/5 A Faktor kali untuk pelanggan tersebut adalah 200/5 = 40. Contoh lain Pelanggan TM dengan daya 345 KVA. Berapa CT dan PT yang harus dipilih dan berapa faktor kalinya ?

Menghitung besaran Arus Nominal

$$I = \frac{345000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 20000V} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$I = 9,97A \dots\dots\dots (2.17)$$

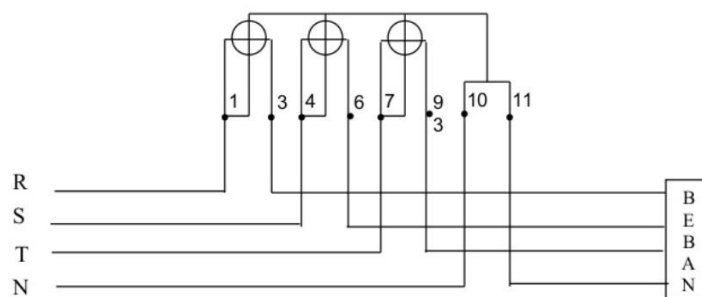
Memilih CT yang ada dipasaran dengan syarat lebih besar dari arusnominal dan besarnya yang paling mendekati. Maka dipilih CT pasaran yang mendekati, yaitu CT TM : 10 A / 5 A Memilih PT. Karena tegangan kWh Meter harus dibawah 400 Volt maka memilih yang ada dipasaran, yaitu PT TM : 20.000 V / 100 V Faktor kali pelanggan tersebut = FK CT x FK PT = $[10 / 5] \times [20.000 / 100] = 400$.

2.7 Pengawatan KWH Meter 3 Fasa⁶

2.7.1 Pengawatan Secara Langsung (Direct)

Pengawatan kWh meter secara langsung adalah kWh meter 3 fasa yang akan dipasangkan ke konsumen dengan cara langsung di hubungkan dengan suplay tegangan. Dalam pemasangan kWh meter 3 fasa ini dimana fasa R dihubungkan langsung dengan terminal 1 pada kWh meter, fasa S dihubungkan langsung dengan terminal 4 pada kWh meter dan fasa T dihubungkan langsung dengan terminal 7 pada kWh meter. Kemudian keluaran terminal 3 dihubungkan ke pengaman konsumen (MCB) begitu juga dengan terminal 6 dan 9 juga dihubungkan dengan MCB, kemudian terminal 2 dan 5 dihubungkan dengan terminal 1 dan 2 yang lain.

Kemudian netral dihubungkan dengan terminal 10, lalu terminal 12 dihubungkan ke konsumen. Pengawatan secara langsung ini digunakan untuk pelanggan listrik konsumen tegangan tipe sekunder, contohnya rumah tinggal yang menggunakan daya di atas 1300 Watt.



Gambar 2.14 Pengawatan KWh Meter 3 Fasa Pengukuran Langsung

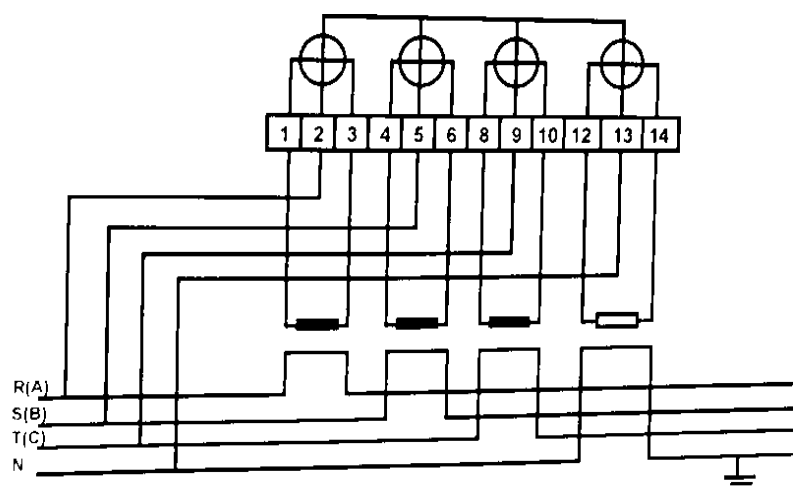
⁶ PT. PLN (Persero). 2010. Pusklat Teori Dasar KWh Meter

2.7.2 Pengawatan Secara Tak Langsung (In Direct)

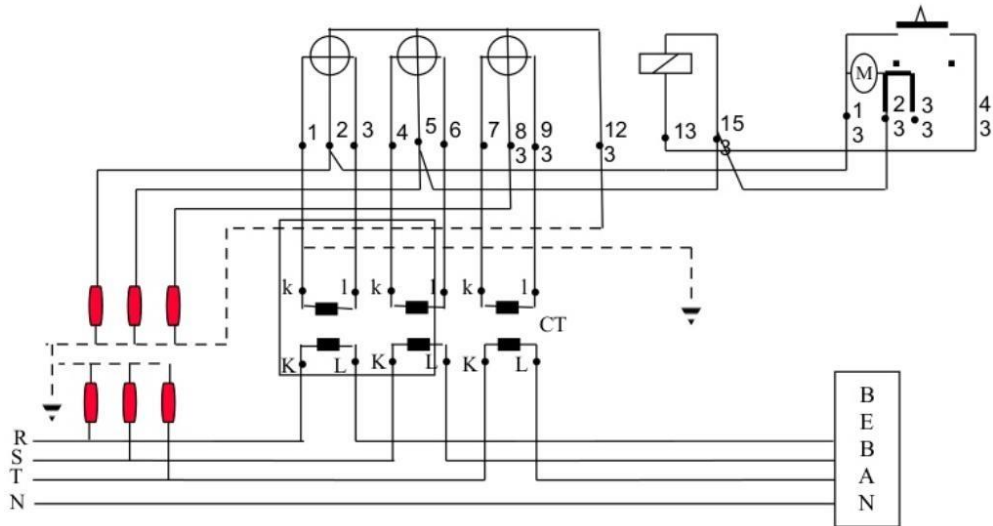
Yang dimaksud dengan pengawatan tak langsung adalah hubungan alat ukur standar kWh meter yang dihubungkan dengan alat ukur bantu, seperti Current Transformer (CT) dan Potential Transformer (PT) terlebih dahulu kemudian dihubungkan dengan suplay tegangan.

Dalam pengawatan tak langsung ini terminal 2, 5, dan 8 dihubungkan langsung dengan sumber tegangan 3 fasa (R S T), kemudian terminal 1 dan 3 pada kWh Meter dihubungkan dengan terminal K dan L pada trafo ukur arus (CT) 1. Begitu juga dengan terminal 4 dan 6, 7 dan 9 dihubungkan juga dengan terminal K dan L pada trafo ukur arus (CT) 2 dan 3. Kemudian terminal K trafo ukur arus (CT) 1,2,3 dihubungkan dengan tegangan suplai 3 fasa dan terminal 1 trafo ukur arus (CT) dihubungkan dengan pengamanan konsumen.

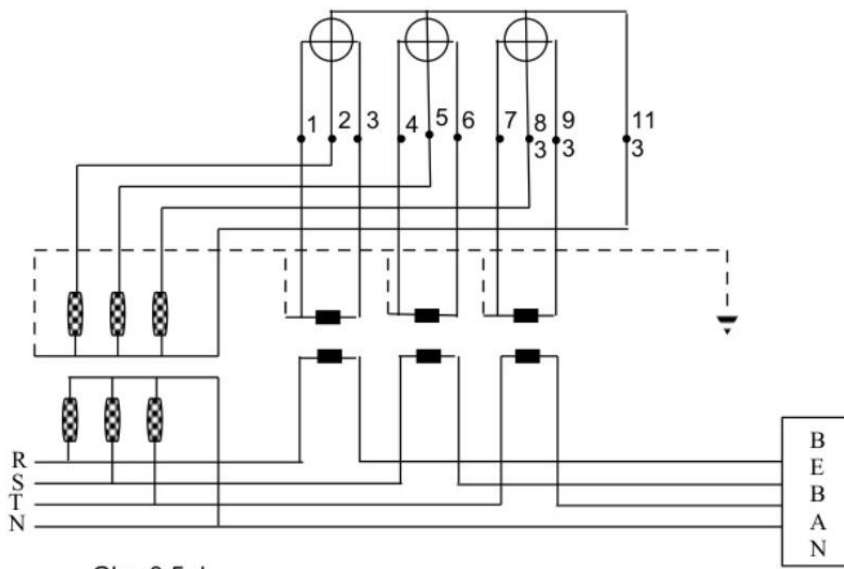
Pengawatan secara tak langsung ini digunakan untuk pelanggan listrik konsumen tegangan rendah tipe primer seperti rumah sakit, gedung perkantoran, dan industri yang berskala kecil. Hubungan tak langsung ini adalah untuk memperkecil luas hantaran penampang yang dihubungkan dengan kWh meter sebab tidak mungkin arus yang besar dihubungkan langsung dengan kWh meter dan untuk mengkonversi arus yang lebih besar ke arus yang lebih kecil adalah dengan menggunakan alat trafo ukur arus (CT).



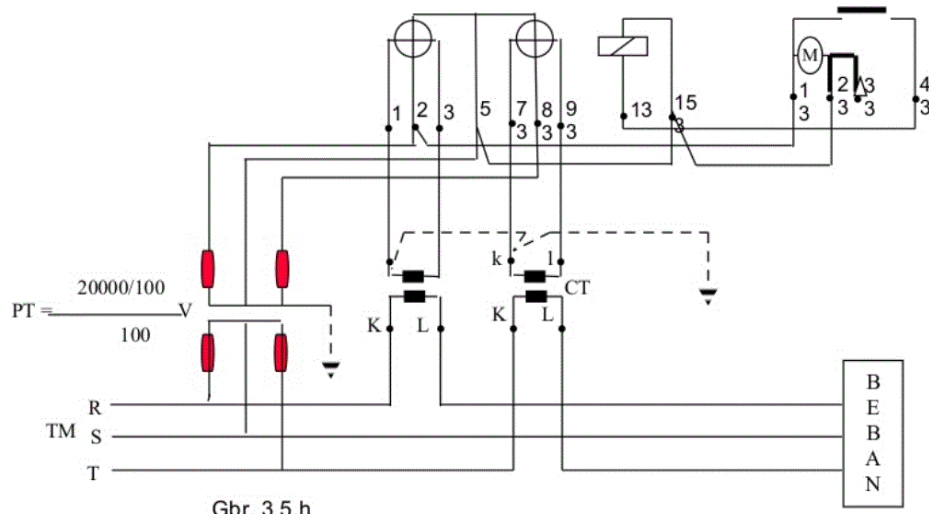
Gambar 2.15 Pengawatan kWh Meter 3 Fasa Pengukuran Tidak Langsung



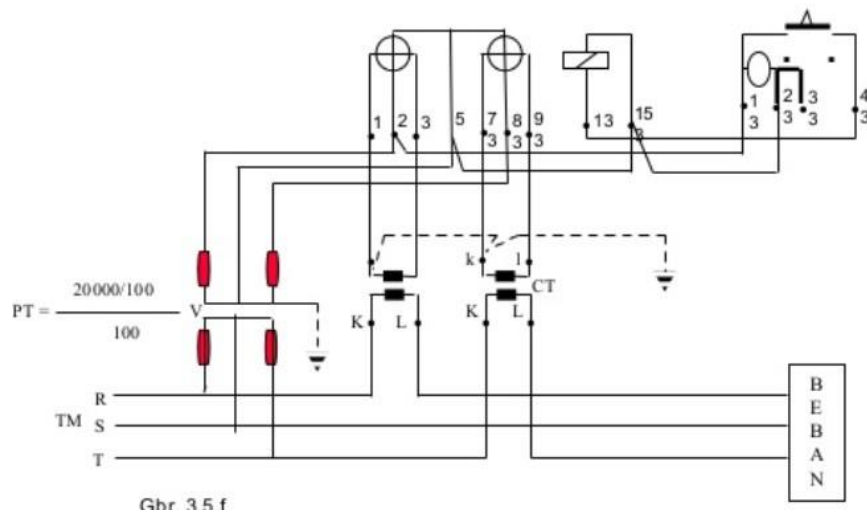
Gambar 2.16 Pengawatan KWh 3 Fasa, 4 Kawat Sambungan CT dan PT Tarif Ganda



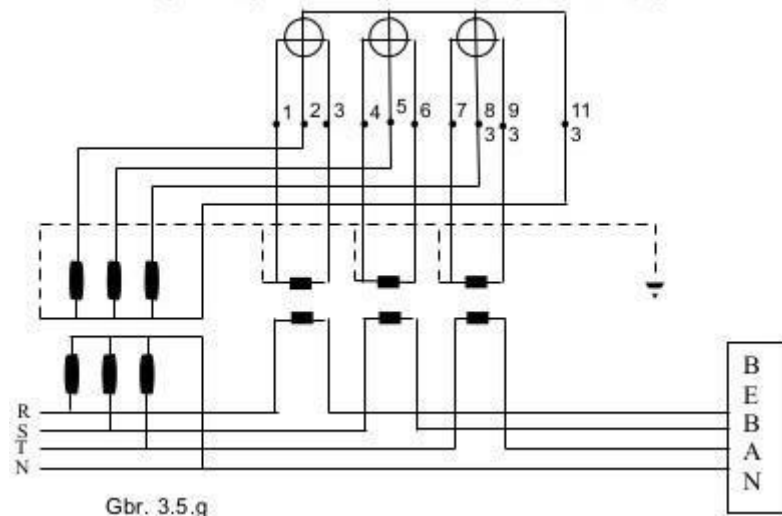
Gambar 2.17 Pengawatan KWh 3 Fasa, 4 Kawat Tidak Sambungan Langsung Tarif Tunggal



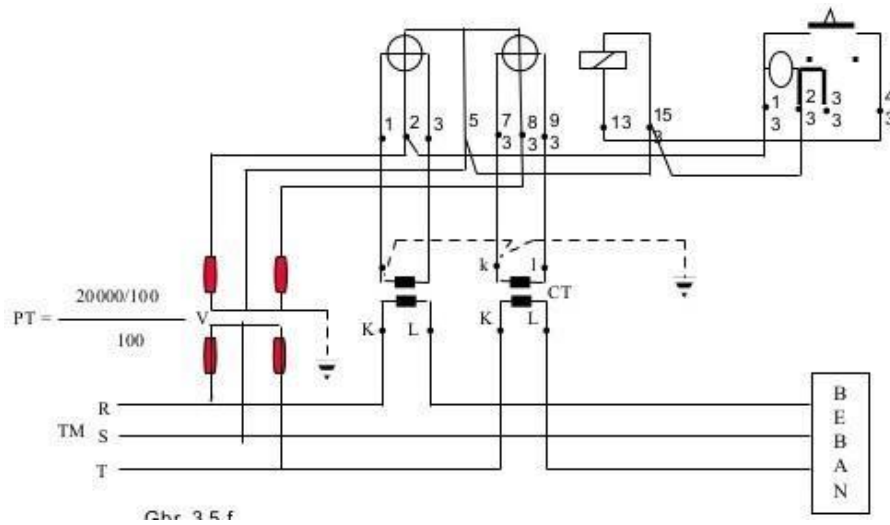
Gambar 2.18 Pengawatan KWh Meter 3 Fasa, 3 Kawat Sambungan melalui CT dan PT, Tarif Tunggal



Gambar 2.19 Pengawatan KWh Meter 3 Fasa, 3 Kawat Sambungan melalui CT dan PT, Tarif Ganda



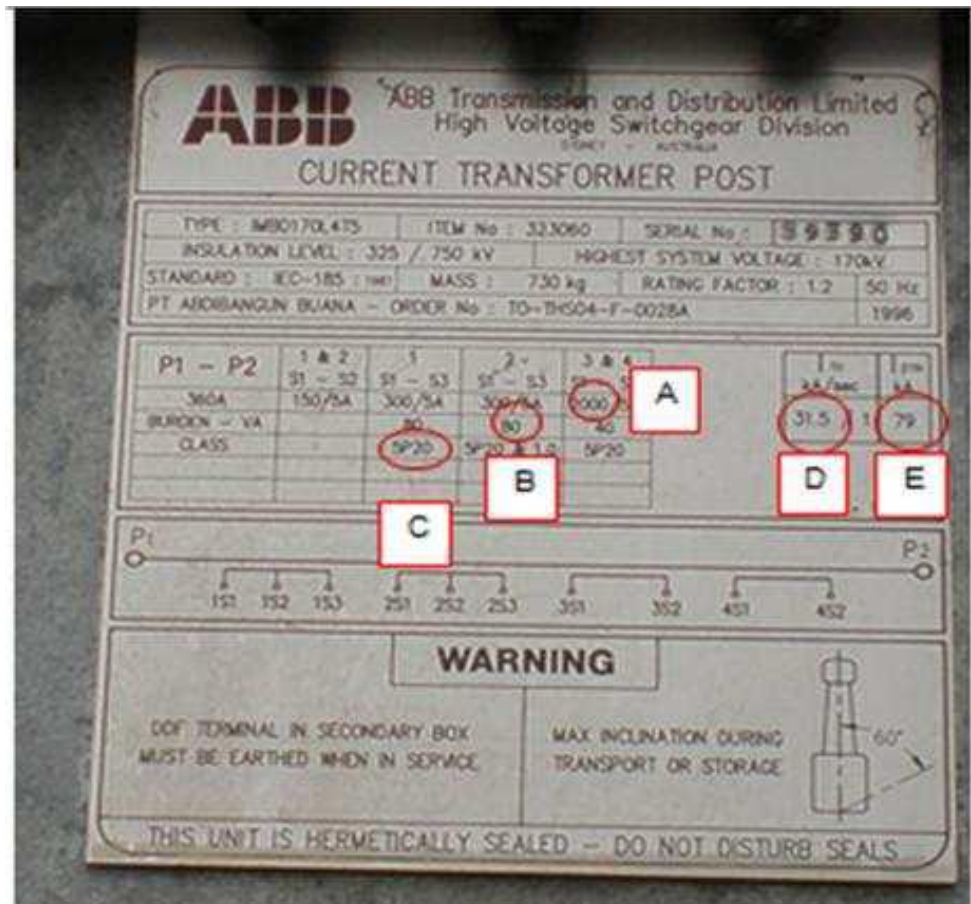
Gambar 2.20 Pengawatan KWh Meter 3 fasa, 4 Kawat Sambungan melalui CT dan PT, Tarif Tunggal



Gambar 2.21 Pengawatan KWh Meter 3 Fasa, 4 Kawat Sambungan melalui CT dan PT, Tarif Ganda

2.8 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 di bawah.



Gambar 2.22 Komponen CT Tipe Tangki

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*)



2.8.1 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.

2.8.2 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.

2.8.3 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 diperbolehkan mengalir dalam waktu tertentu dengan sekunder trafo arus terhubung singkat sesuai dengan tanda pengenal trafo arus (*nameplate*), contoh: $I_{th} = 31.5 \text{ kA/1 s}$.

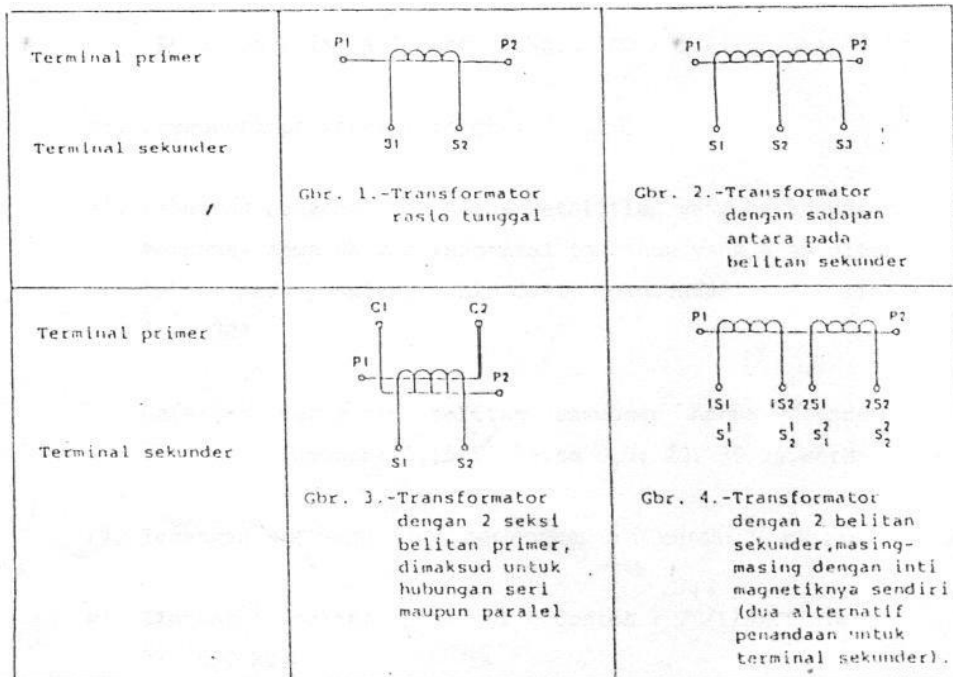
2.8.4 Pengenal Arus Dinamik (Dynamic Rated Current)

Pengenal arus dinamik adalah perbandingan I_{peak}/I_{rated} dimana I_{peak} adalah arus puncak primer maksimum trafo arus yang diijinkan tanpa menimbulkan kerusakan dan I_{rated} adalah arus nominal primer trafo arus, contoh: $I_{dyn} = 40 \text{ kA}$.

2.9 Penandaan CT (Current Transformer)

Terminal harus ditandai dengan jelas dan tak dapat dlhapus balk pada permukaannya maupun pada tempat di sekitarnya. Bila perlu penandaan harus terdiri dari huruf yang diikuti atau didahului oleh angka. Hurufnya harus huruf besar.

Penandaan terminal Transformator arus harus ditunjukkan oleh gambarberikut ini.



Gambar 2.23 Penandaan Terminal CT

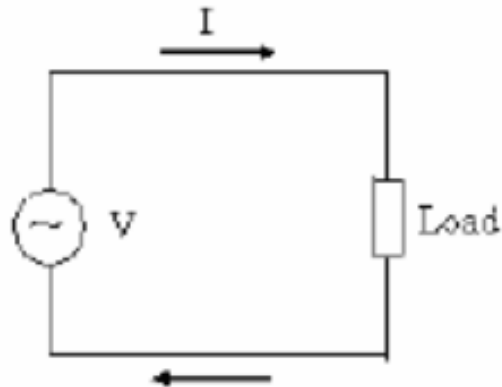
2.10 Pengertian Daya

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau Horsepower (HP), Horsepower merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara 746 Watt atau lbft/second. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik dimana 1 Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt.

Daya dinyatakan dalam P, Tegangan dinyatakan dalam V dan Arus dinyatakan dalam I, sehingga besarnya daya dinyatakan :

$$S = V \times I \dots\dots\dots (2.18)$$

$$P = \text{Volt} \times \text{Ampere} \times \text{Cos } \phi \dots\dots\dots (2.19)$$



Gambar 2.24 Arah Aliran Arus Listrik

2.10.1 Daya Aktif

Daya aktif (Active Power) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain – lain.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (2.20)$$

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja.

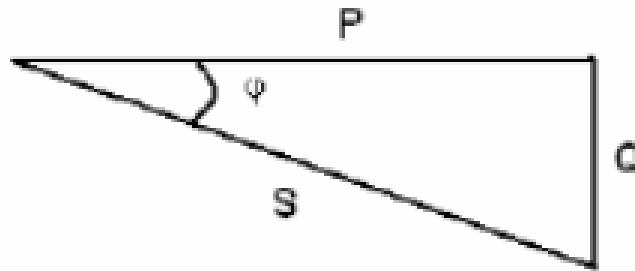
2.10.2 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah Var.

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \dots\dots\dots (2.21)$$

2.10.3 Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe tipe daya yang berbeda (active power dan reactive power) berdasarkan prinsip trigonometri.



Gambar 2.25 Diagram Faktor Daya

Di mana berlaku hubungan :

$$P = S / \cos \varphi \dots\dots\dots(2.22)$$

$$Q = S / \sin \varphi \dots\dots\dots(2.23)$$

2.10.4 Faktor Daya

Faktor daya (Cos) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya semu (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos \varphi$.

$$\begin{aligned} \text{Faktor Daya} &= \text{Daya Aktif (P) / Daya Semu (S)} \\ &= \text{kW / kVA} \\ &= V.I \cos \varphi / V.I \\ &= \cos \varphi \dots\dots\dots(2.24) \end{aligned}$$

2.10.5 Energi (Watt-hour)

Jika dalam daya aktif (watt) adalah daya sesaat maka untuk mengetahui penggunaan energi dalam beberapa waktu digunakan rumus sebagai berikut.

$$E = P \times t \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana

$$E = \text{Energi (Watt-hour)}$$

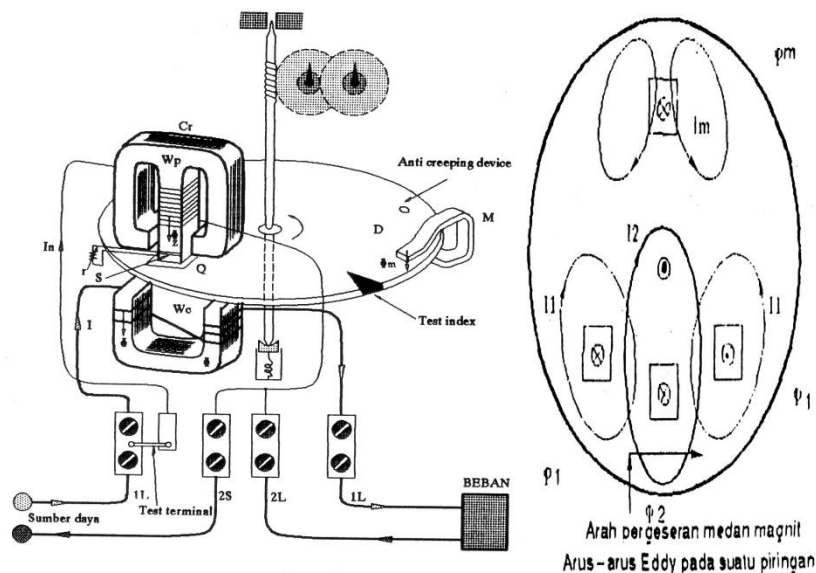
$P = \text{Daya aktif (Watt)}$

$t = \text{waktu (hour)}$

2.11 Prinsip Dasar KWh Meter ⁶

KWh meter adalah alat pengukur energi listrik yang mengukur secara langsung hasil kali tegangan, arus factor kerja, kali waktu yang tertentu ($VI \cos \phi t$) yang bekerja padanya selama jangka waktu tertentu tersebut. Hal ini berdasarkan bekerjanya induksi magnetis oleh medan magnet yang dibangkitkan oleh arus melalui kumparan arus terhadap disc (piringan putar) kWh meter, dimana induksi magnetis ini berpotongan dengan induksi magnetis yang dibangkitkan oleh arus melewati kumparan tegangan terhadap disc yang sama.

Koppel putar dapat dibangkitkan terhadap disc karena induksi magnetis kedua medan magnet tersebut diatas bergeser fasa sebesar 90^0 satu terhadap lainnya (azas Ferrari). Hal ini dimungkinkan dengan konstruksi kumparan tegangan dibuat dalam jumlah besar gulungan sehingga dapat dianggap inductance murni.



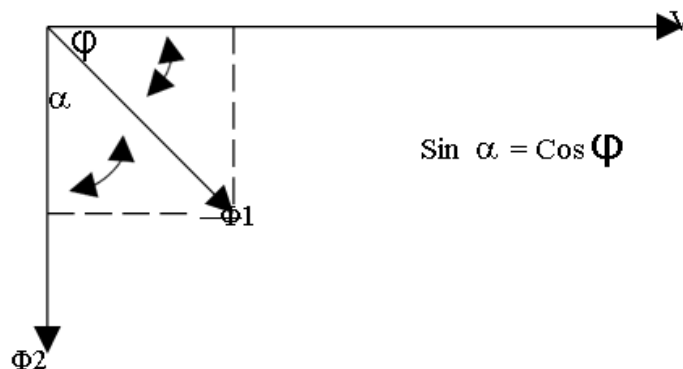
Gambar 2.26 Prinsip Suatu Meter Penunjuk Energi Listrik Arus B-B (Jenis Induksi)

⁶ PT. PLN (Persero). 2010. Pustdiklat Teori Dasar KWh Meter

Keterangan Gambar :

M	=	Magnet permanent
Cp	=	inti besi kumparan tegangan
Wp	=	kumparan tegangan yang dapat dianggap sebagai reaktansi murni, karena lilitan cukup besar
Cc	=	Inti besi kumparan arus
Wc	=	kumparan arus
I _p	=	arus yang mengalir melalui Wp
I	=	Arus beban yang mengalir melalui Wc
F	=	Kumparan penyesuaian fasa yang diberi tahanan R
RGS	=	Register
1L & 2S	=	Terminal sumber daya masuk
2L & 1S	=	Terminal daya keluar

Prinsip kerja dari kWh meter adalah ketika Φ_1 ditimbulkan oleh arus I mengalir di kumparan Wc dan Φ_2 ditimbulkan oleh arus I_p mengalir di kumparan Wp dan I_p lagging 90° terhadap tegangannya.



Gambar 2.27 Diagram Fasor Prinsip Kerja KWh Meter



Dengan mengambil persamaan moment alat ukur type induksi :

$$T = KW \Phi_1 \cdot \Phi_2 \sin \alpha \dots\dots\dots (2.26)$$

Φ_1 sebanding dengan I dan Φ_2 sebanding dengan V/W. Dengan demikian maka terhadap piringan logam D terdapat momen gerak TD yang berbanding lurus terhadap daya beban. Apabila oleh karena pengaruh momen TD. Piring logam D berputar dengan kecepatan n, maka sambil berputar piringan tersebut memotong garis – garis fluksi magnetic m (akibat adanya magnet permanen) sehingga menyebabkan terjadinya arus – arus putar (arus Foucault) didalam piringan logam yang berbanding lurus terhadap $n \cdot \Phi$ m.

Arus – arus putar yang terjadi pada piringan logam D akibat adanya Φ_1 , Φ_2 dan Φ m seperti dalam gambar 2.26. Arus – arus putar yang memotong garis – garis fluksi m menyebabkan piringan logam D mengalami momen redaman TD yang berbanding lurus dengan $n \cdot \Phi$ m².

2.11.1 Klasifikasi KWh Meter dan Batas Kesalahan

Klasifikasi kWh meter dibagi dalam 3 kelas :

- kWh meter kelas 0,5 dipakai sebagai meter standard
- kWh meter kelas 1 dipakai untuk pengukuran skunder (memakai trafo ukur)
- kWh meter kelas 2 dipakai untuk pengukuran primer (tanpa trafo ukur)

Batas – batas kesalahan kWh meter yang ditentukan oleh kamar tera PLN (atas kebijaksanaan PLN Wilayah/Distribusi setempat).

**Tabel 2.5 Batas Kesalahan Pengukuran KWh Meter**

Arus	Faktor Kerja	Batas kesalahan kWh meter dalam %		
		Kl 2	Kl 1	Kl 0,5
100% In	11	+ 0 + 2	+ 0 + 1	+ 0 +
100% In	0,5 (ind)	+ 0 + 2	+ 0 + 1	0,5*
50% In	1	+ 0 +	+ 0 + 1	+ 0 + 0,8*
50% In	0,5 (ind)	2	+ 0 + 1	+ 0 + 0,5
10% In	1	+ 0 +	+ 0 + 1	+
5% In	1	2	+ 0 + 1,5	+ 0 + 0,8
		+ 0 +		+
		2		+ 0 + 0,5
		+ 0 + 2,5		+
				+ 0 + 1

Keterangan :

Tanda * : Titik 2 kesalahan yang biasa diubah, bila menyimpang dari batas yang ditentukan..

Tanda + : Titik 2 kesalahan yang tidak bisa diubah, bila menyimpang dari batas yang ditentukan.