

BAB II

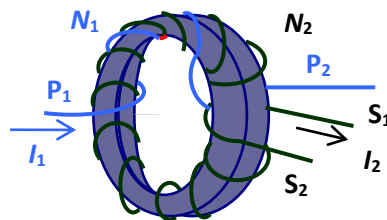
TRAFO ARUS DAN TEGANGAN

2.1 Trafo Arus

2.1.1 Pengertian Trafo Arus

Trafo Arus (*Current Transformator*) 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.

Prinsip kerja trafo arus adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1. Rangkaian pada Trafo Arus

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

Untuk trafo pada kondisi tidak berbeban:

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

Dimana

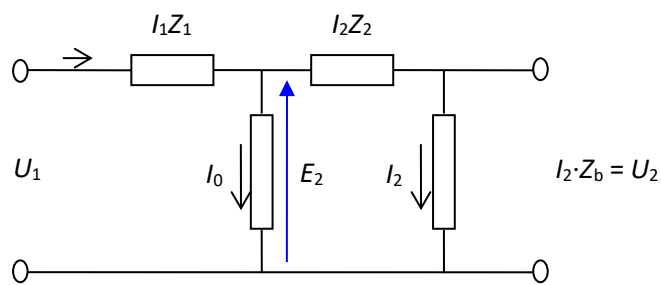
$$a = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(2.3)$$

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

N_1 = jumlah lilitan primer, dan

N_2 = jumlah lilitan sekunder.

Rangkaian Ekivalen



Gambar 2.2 Rangkaian Ekivalen Trafo 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 (m²)

f = frekuensi (Hz)

N_2 = jumlah lilitan sekunder

U_1 = tegangan sisi primer

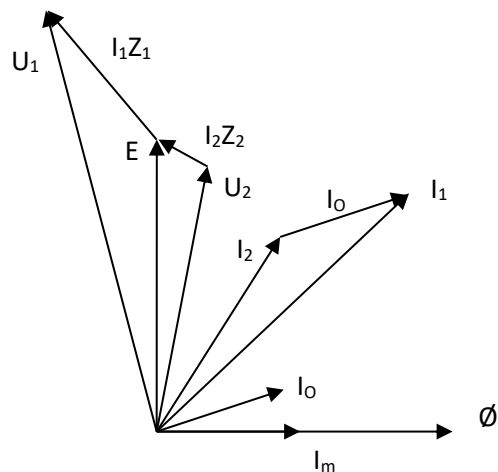
U_2 = tegangan sisi sekunder

Z_b = impedansi/tahanan beban trafo arus

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

Z_{inst} = impedansi/tahanan, 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

2.1.2 Fungsi Trafo Arus

Fungsi dari trafo 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 1 Amp dan 5 Amp

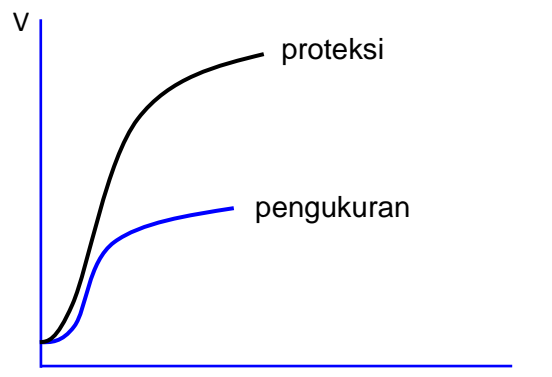
Secara fungsi trafo arus dibedakan menjadi dua yaitu:

Trafo arus pengukuran

- 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.
- Penggunaan trafo arus pengukuran untuk Amperemeter, Watt-meter, VARh-meter, dan $\cos \varphi$ meter.

Trafo arus proteksi

- 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.
- 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).



Gambar 2.4. Kurva kejenuhan CT untuk Pengukuran dan Proteksi

Trafo arus untuk pengukuran dirancang supaya lebih cepat jenuh dibandingkan trafo arus proteksi sehingga konstruksinya mempunyai luas penampang inti yang lebih kecil.

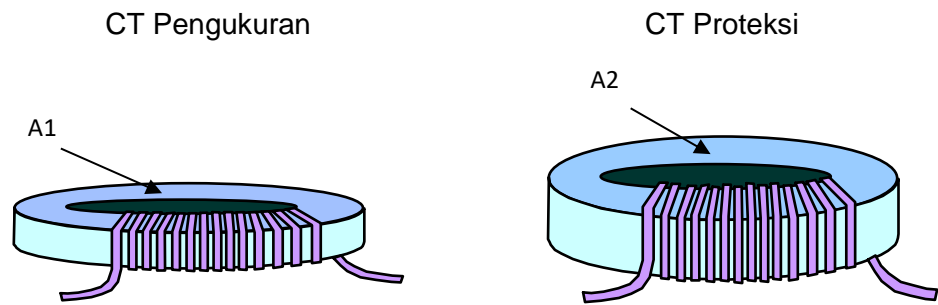
2.1.3 Dua Kelompok Dasar Trafo Arus

A. Trafo arus untuk pengukuran

- 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.
- Cepat jenuh Penggunaan trafo arus pengukuran untuk Amperemeter, Watt-meter, VARh-meter, dan $\cos \phi$ meter.

B. Trafo arus untuk proteksi

- 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.
- Tidak cepat jenuh, Penggunaan trafo arus proteksi untuk relai arus lebih (OCR dan GFR), relai beban lebih, relai diferensial, relai daya dan relai jarak. Kinerja relai tergantung dari trafo yang digunakan



Gambar 2.5. Luas Penampang Inti Trafo Arus

2.1.4 Jenis Trafo Arus

Jenis trafo arus menurut tipe konstruksi dan pasangannya.

Tipe Konstruksi

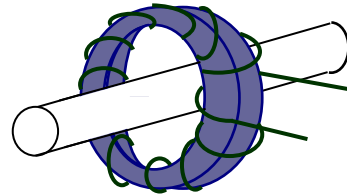
- Tipe cincin (ring / window type)
- Tipe cor-coran cast resin (*mounded cast resin type*)
- Tipe tangki minyak (*oil tank type*)
- Tipe trafo arus bushing

Tipe Pasangan.

- Pasangan dalam (*indoor*)
- Pasangan luar (*outdoor*)

Jenis trafo arus berdasarkan konstruksi belitan primer:

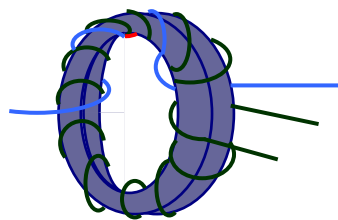
- Sisi primer batang (*bar primary*)



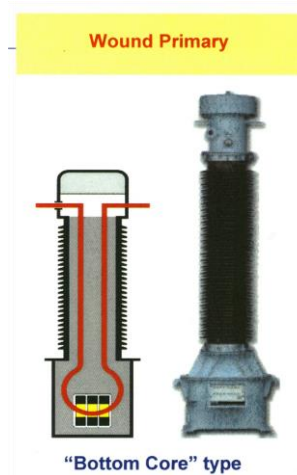
Gambar 2.6. *Bar Primary*



- Sisi tipe lilitan (*wound primary*).



Gambar 2.7 *Wound Primary*



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*)

Jenis trafo arus berdasarkan jenis isolasi

Berdasarkan jenis isolasinya, trafo arus dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

- **Trafo arus kering**

Trafo arus kering biasanya digunakan pada 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**

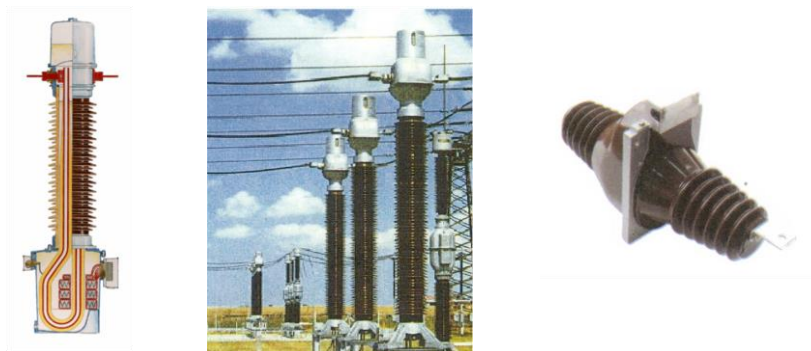
Trafo arus ini banyak digunakan pada pengukuran arus tegangan tinggi, umumnya digunakan pada pasangan di luar ruangan (*outdoor*) misalkan trafo arus tipe top-core.

Jenis trafo arus berdasarkan pemasangan

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

- **Trafo arus pemasangan luar ruangan (*outdoor*)**

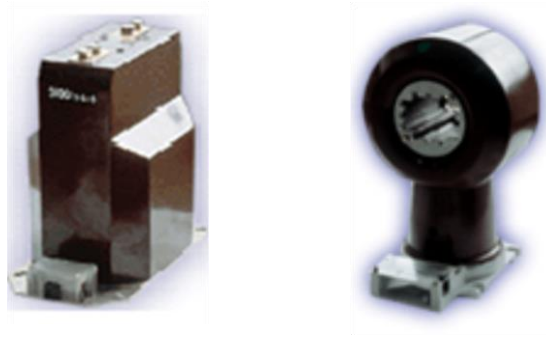
Trafo arus pemasangan luar ruangan memiliki konstruksi fisik yang kokoh, isolasi yang baik, biasanya menggunakan isolasi minyak untuk rangkaian elektrik internal dan bahan keramik/porcelain untuk isolator eksternal.



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

Jenis Trafo arus berdasarkan jumlah inti pada sekunder

- Trafo arus dengan inti tunggal

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

- Trafo arus dengan inti banyak

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

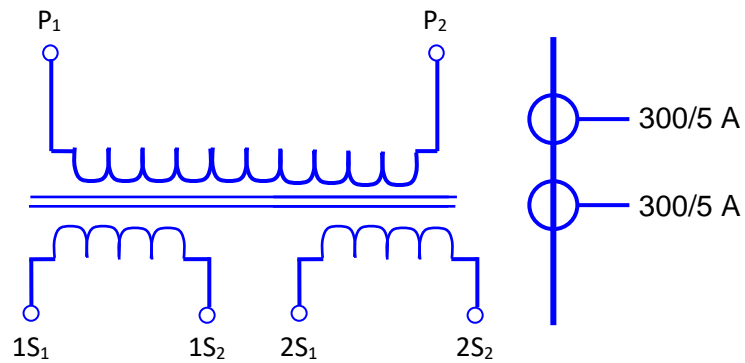
Contoh:

Trafo arus 2 (dua) inti 150 – 300 / 5 – 5 A

Penandaan primer: P₁-P₂

Penandaan sekunder inti ke-1: 1S₁-1S₂ (untuk pengukuran)

Penandaan sekunder inti ke-2: 2S₁-2S₂ (untuk relai arus lebih)



Gambar 2.10. Trafo Arus dengan 2 Inti

Trafo arus 4 (empat) inti 800 – 1600 / 5 – 5 – 5 – 5 A (Gambar 11).

Penandaan primer: P₁-P₂

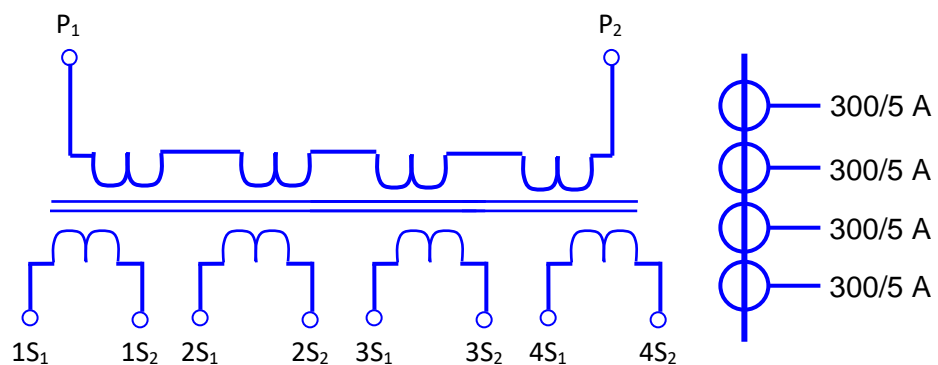
Penandaan sekunder inti ke-1: 1S₁-1S₂ (untuk pengukuran)

Penandaan sekunder inti ke-2: 2S₁-2S₂ (untuk relai arus lebih)

Penandaan sekunder inti ke-3: 3S₁-3S₂ (untuk relai jarak)

Penandaan sekunder inti ke-4: 4S₁-4S₂ (untuk proteksi rel)

Trafo arus 4 (empat) inti 800 – 1600 / 5 – 5 – 5 – 5 A



Gambar 1.11: Trafo Arus dengan 4 Inti

Jenis trafo arus berdasarkan pengenalan

Trafo arus memiliki dua pengenalan, yaitu pengenalan 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.

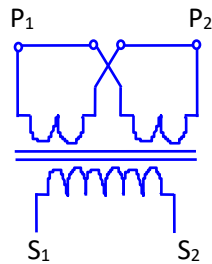
Pengenal sekunder yang biasa dipakai adalah 1 dan 5 A.

Berdasarkan pengenalnya, trafo arus dapat dibagi menjadi:

- Trafo arus dengan dua pengenal primer
 - o Primer seri

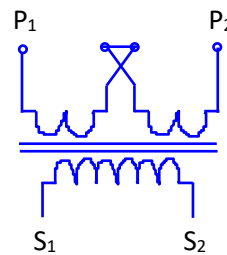
Contoh: CT 800 – 1600 / 1 A

Untuk hubungan primer seri, maka didapat rasio CT 800 / 1 A, lihat Gambar 12.a. berikut.



Gambar 2.12
Primer Paralel

CT rasio 1600 / 1 A



Gambar 2.13.
Primer Seri

CT rasio 800 / 1 A

- o Primer paralel

Contoh: CT dengan rasio 800 – 1600 / 1 A

Untuk hubungan primer paralel, maka didapat rasio CT 1600A, lihat Gambar 12.b.

- Trafo arus multi rasio/sekunder tap

Trafo arus multi rasio memiliki rasio tap yang merupakan kelipatan dari tap yang terkecil, umumnya trafo arus memiliki dua rasio tap, namun ada juga yang memiliki lebih dari dua tap (lihat Gambar 13).

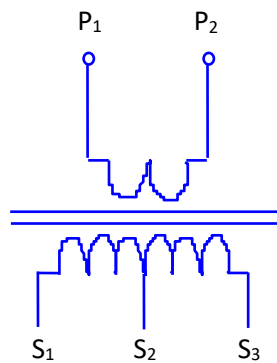
Contoh:

- Trafo arus dengan dua tap: 300 – 600 / 5 A

Pada Gambar 13.a., $S_1-S_2 = 300 / 5 \text{ A}$, $S_1-S_3 = 600 / 5 \text{ A}$.

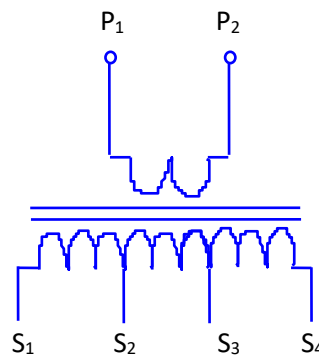
- Trafo arus dengan tiga tap: 150 – 300 – 600 / 5 A

Pada Gambar 13.b., $S_1-S_2 = 150 / 5 \text{ A}$, $S_1-S_3 = 300 / 5 \text{ A}$, $S_1-S_4 = 600 / 5 \text{ A}$.



Gambar 2.14

CT Sekunder 2 Tap



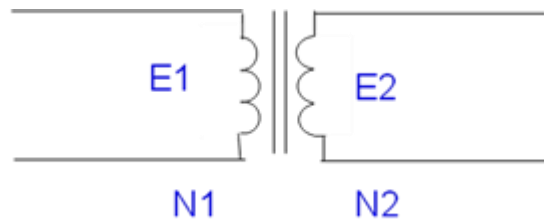
Gambar 2.15.

CT Sekunder 3 Tap

2.2 TRAFU TEGANGAN

2.2.1. Pengertian Trafo Tegangan

Trafo tegangan adalah peralatan yang mentransformasi tegangan sistem yang lebih tinggi ke suatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk peralatan indikator, alat ukur / meter dan relai.



Gambar 2.16. Prinsip Kerja Trafo Tegangan

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

a: perbandingan /rasio transformasi

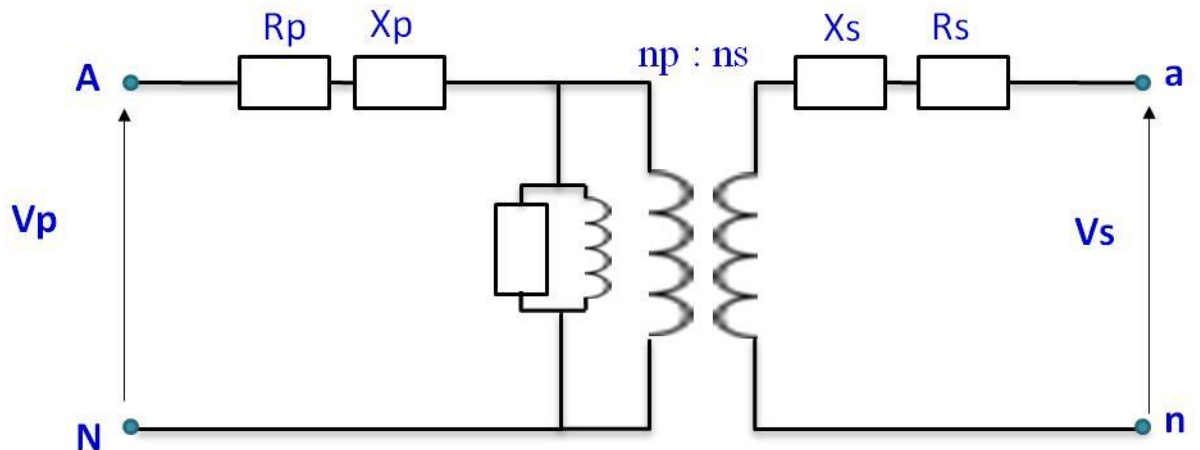
$$N_1 > N_2$$

N_1 = Jumlah belitan primer

N_2 = Jumlah belitan sekunder

E_1 = Tegangan primer

E_2 = Tegangan sekunder



Gambar 2.17. Rangkaian Ekuivalen Trafo Tegangan

Dimana:

I_m = arus eksitasi/magnetisasi

I_e = arus karena rugi besi

Trafo tegangan memiliki prinsip kerja yang sama dengan trafo tenaga tetapi rancangan Trafo tegangan berbeda yaitu :

- Kapasitasnya kecil (10 – 150 VA), karena digunakan hanya pada alat-alat ukur, relai dan peralatan indikasi yang konsumsi dayanya kecil.
- Memiliki tingkat ketelitian yang tinggi.
- Salah satu ujung terminal tegangan tingginya selalu ditanahkan.

2.2.2. Fungsi Trafo Tegangan

Fungsi dari trafo tegangan yaitu :

- Mentransformasikan besaran tegangan sistem dari yang tinggi ke besaran tegangan listrik yang lebih rendah sehingga dapat digunakan untuk peralatan proteksi dan pengukuran yang lebih aman, akurat dan teliti.
- Mengisolasi bagian primer yang tegangannya sangat tinggi dengan bagian sekunder yang tegangannya rendah untuk digunakan sebagai sistm proteksi dan pengukuran peralatan dibagian primer.
- Sebagai standarisasi besaran tegangan sekunder (100, $100/\sqrt{3}$, $110/\sqrt{3}$ dan 110 volt) untuk keperluan peralatan sisi sekunder.
- Memiliki 2 kelas, yaitu kelas proteksi (3P, 6P) dan kelas pengukuran (**0,1; 0,2; 0,5;1;3**)

2.2.3 Jenis Trafo Tegangan

Trafo tegangan dibagi dibagi menjadi dua jenis yaitu :

- Trafo tegangan magnetik (*Magnetik Voltage Transformer / VT*)

Disebut juga Trafo tegangan induktif. Terdiri dari belitan primer dan sekunder pada inti besi yang prinsip kerjanya belitan primer menginduksikan tegangan kebelitan sekundernya.

- Trafo tegangan kapasitif (*Capasitive Voltage Transformer / CVT*)

Trafo tegangan ini terdiri dari rangkaian seri 2 (dua) kapasitor atau lebih yang berfungsi sebagai pembagi tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah pada primer, selanjutnya tegangan pada satu kapasitor ditransformasikan menggunakan trafo tegangan yang lebih rendah agar diperoleh tegangan sekunder.

2.2.4 Bagian-Bagian Trafo Tegangan

Trafo Tegangan Jenis Magnetik

- Kertas / Isolasi Minyak

Berfungsi mengisolasi bagian yang bertegangan (belitan primer) dengan bagian bertegangan lainnya (belitan sekunder) dan juga dengan bagian badan (body). Terdiri dari minyak trafo dan kertas isolasi

- Rangkaian Electromagnetic

Berfungsi mentransformasikan besaran tegangan yang terdeteksi disisi primer ke besaran pengukuran yang lebih kecil.

- Dehydrating Breather

Adalah sebagai katup pernapasan untuk menyerap udara lembab pada kompartemen akibat perubahan volume minyak karena temperatur, sehingga mencegah penurunan kualitas isolasi minyak

- Terminal Primer

Satu terminal terhubung pada sisi tegangan tinggi (fasa) dan satu lagi terhubung pada sistim pentanahan (grounding)

- Inti

Terbuat dari plat besi yang dilapisi silicon yang berfungsi untuk jalannya flux.

- Struktur Mekanikal

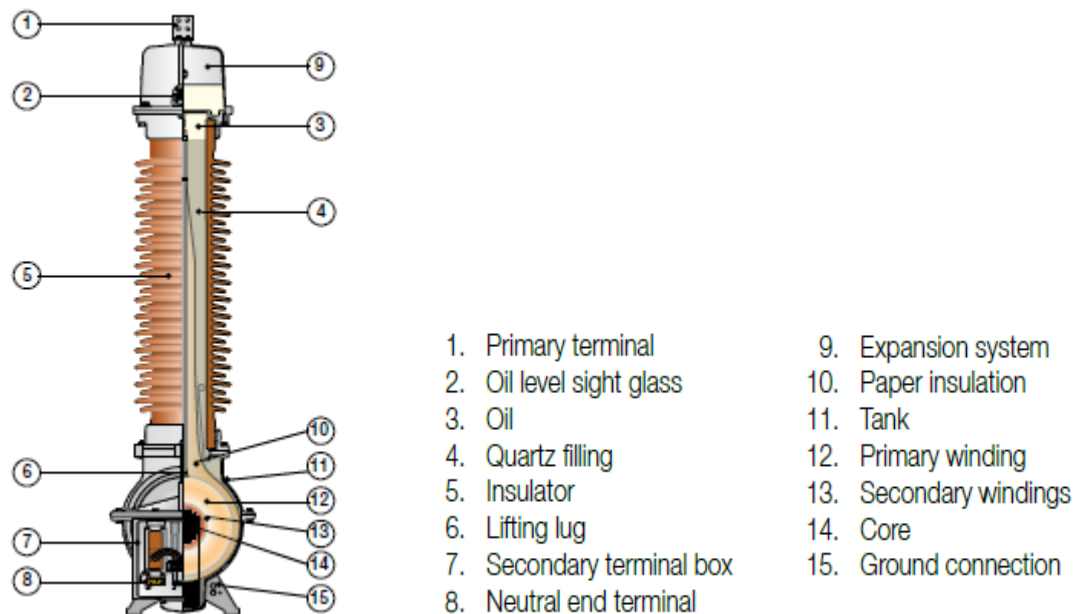
Struktur mekanikal adalah peralatan yang menyokong berdirinya trafo tegangan.

Terdiri dari :

- Pondasi
- Struktur penopang VT
- Isolator (keramik/polyester)

- Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan adalah peralatan yang berfungsi mengalirkan arus lebih akibat tegangan surja atau sambaran petir ke tanah



Gambar 2.18 Bagian-bagian VT

Trafo Tegangan Jenis Kapasitif

- **Dielectric**

- Minyak Isolasi

Berfungsi untuk mengisolasi bagian-bagian yang bertegangan dan sebagai media dielectric untuk memperoleh nilai kapasitansi dari 2 (dua) kapasitor atau lebih sebagai pembagi tegangan yang terhubung seri.

- Kertas-plastik film (*paper-polypropylane film*)

Berfungsi sebagai media dielectric untuk memperoleh nilai kapasitansi dari 2 (dua) kapasitor atau lebih sebagai pembagi tegangan yang terhubung seri bersama-sama minyak isolasi.

- **Pembagi Tegangan (Capacitive Voltage Devider)**

Berfungsi sebagai pembagi tegangan tinggi untuk diubah oleh trafo tegangan menjadi yang lebih rendah.

- **Electromagnetic Circuit**

Berfungsi sebagai penyesuai tegangan menengah (medium voltage choke) untuk mengatur/menyesuaikan agar tidak terjadi pergeseran fasa antara tegangan masukan (V_i) dengan tegangan keluaran (V_o) pada frekuensi dasar.

- **Trafo Tegangan**

Berfungsi untuk mentransformasikan besaran tegangan listrik dari tegangan menengah yang keluar dari kapasitor pembagi ke tegangan rendah yang akan digunakan pada rangkaian proteksi dan pengukuran.

- **Expansion Chamber**

Rubber bilow adalah sebagai katup pernapasan (*dehydrating breather*) untuk menyerap udara lembab pada kompartemen yang timbul akibat perubahan temperatur. Hal ini mencegah penurunan kualitas minyak isolasi.

- **Terminal Primer**

Satu terminal terhubung pada sisi tegangan tinggi (fasa) dan satu lagi terhubung pada sistim pentanahan (grounding).

- **Struktur Mekanikal**

Struktur mekanikal adalah peralatan yang menyokong berdirinya trafo tegangan.

Terdiri dari :

- Pondasi
- Struktur penopang CVT
- Isolator penyangga (porselen/polyester). tempat kedudukan kapasitor dan berfungsi sebagai isolasi pada bagian-bagian tegangan tinggi.

- **Sistem Pentanahan**

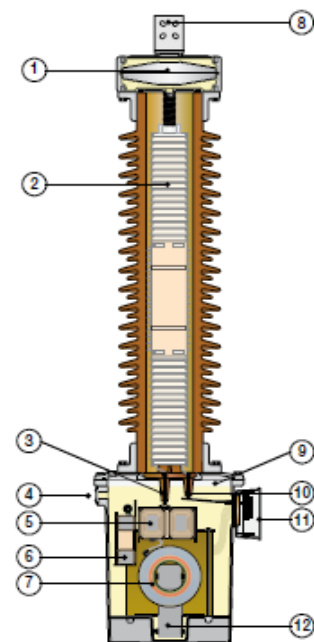
Sistem pentanahan adalah peralatan yang berfungsi mengalirkan arus lebih akibat tegangan surja atau sambaran petir ke tanah.

Capacitor Voltage Divider CSA or CSB

1. Expansion system
2. Capacitor elements
3. Intermediate voltage bushing
8. Primary terminal, flat 4-hole Al-pad
10. Low voltage terminal (for carrier frequency use)

Electromagnetic unit EOA or EOB

4. Oil level glass
5. Compensating reactor
6. Ferroresonance damping circuit
7. Primary and secondary windings
9. Gas cushion
11. Terminal box
12. Core



Gambar 2.19 Bagian-bagian CVT