



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Transformator

Tranformator adalah suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan / mengubah energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu.<sup>[3]</sup>

Trafo atau transformator adalah alat yang dibuat dari gulungan kawat yang fungsinya memindahkan tenaga dari bagian input yaitu gulungan primer ke bagian outputnya yaitu gulungan sekundernya.<sup>[12]</sup>

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gendengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.

Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandingan impedansi (*input impedance*) antara sumber dan beban, untuk menghambat arus searah ( $DC=Direct\ Current$ ) dan melewatkan arus bolak-balik, dan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan AC.



Gambar 2.1 Transformator

---

<sup>3</sup> Badaruddin dkk.2016. Analisa Minyak Transformator Pada Transformator Tiga Fasa Di Pt X. jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana ISSN:2086-9479 Vol.7 No.2 Mei 2016.

<sup>12</sup> Wahyudi, U. 2018. Mahir dan Terampil Belajar Elektronika Untuk Pemula. Yogyakarta: Deepublish.

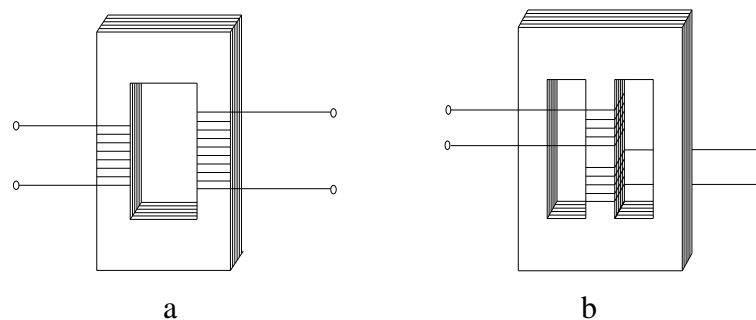


## 2.2 Bentuk dan Konstruksi Transformator Daya

Pada prinsipnya konstruksi transformator dibedakan menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut :

1. Konstruksi jenis inti (*core*), lilitan primer membelit salah satu kaki transformator dan lilitan sekunder membelit kaki transformator yang lain.
2. Konstruksi jenis cangkang (*shell*), lilitan primer dan lilitan sekunder membelit kaki yang sama (kaki tengah) pada transformator

Pada gambar 2.2 diperlihatkan konstruksi dari kedua inti, dimana kedua kumparan dililitkan saling tergabung secara magnetis, namun kumparan tersebut tidak tergabung secara elektrik.<sup>[1]</sup>



Gambar 2.2 Konstruksi Tranformator

a. Tipe Inti (*core type*), b. Tipe Cangkang (*shell type*)

## 2.3 Komponen Utama Transformator Daya<sup>[7]</sup>

Komponen utama transformator tenaga terdiri dari bagian-bagian diantaranya seperti inti besi, kumparan transformator, minyak transformator, bushing, tangki konservator, peralatan bantu pendinginan transformator, tap changer dan alat pernapasan (*dehydrating breather*).

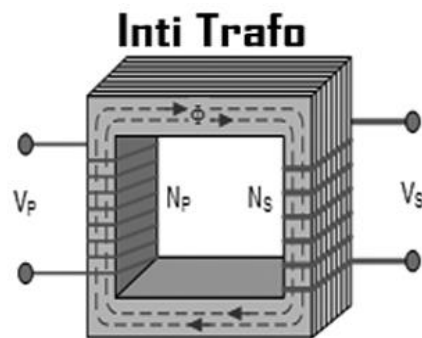
<sup>1</sup> Alvebi Hopaliki. Perhitungan Efisiensi Transformator 12KV/400V 1500KVA di MCC#6b Building 2001K UTL PS.2 Pertamina(persero) RU III Plaju, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang, 2009, Hal 5

<sup>7</sup> Permata, Endi dkk.2020. Maintenance Preventive Pada Transformator Step-Down AV05 Dengan Kapasitas 150kV Di PT. Krakatau Daya Listrik Vol. 3, No.1, 2020, Hal. 485-493.



### 1. Inti Besi (Core)

Inti besi (core) berfungsi untuk mempermudah jalan fluks, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang diisolasi oleh silicon, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus pusar atau eddy current.

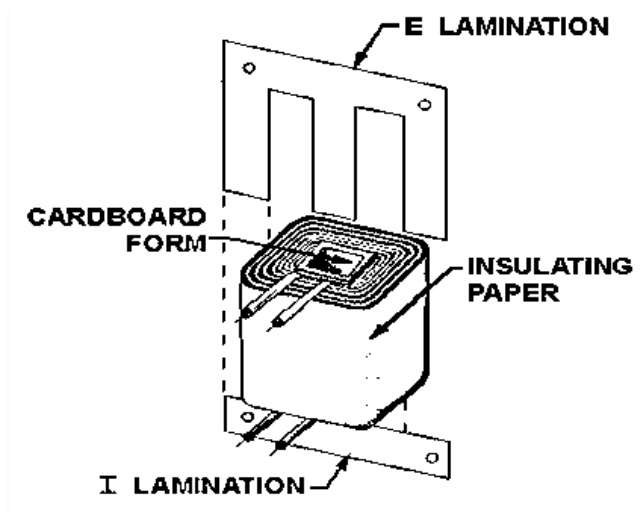


Gambar 2.3 Inti Trafo

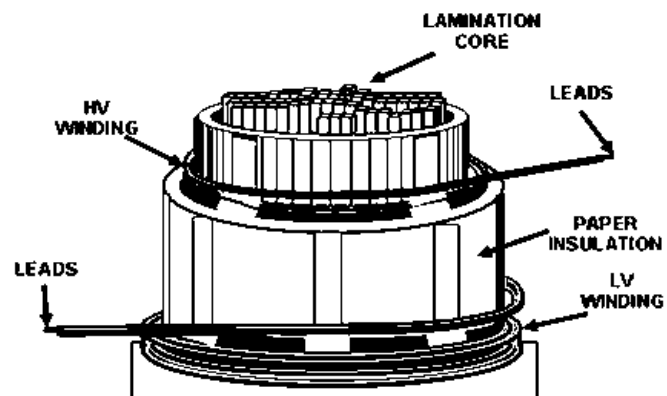
### 2. Belitan

Belitan atau Kumparan (winding) terdiri dari tembaga ataupun aluminium berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak-balik mengalir pada belitan tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan fluks magnetik.

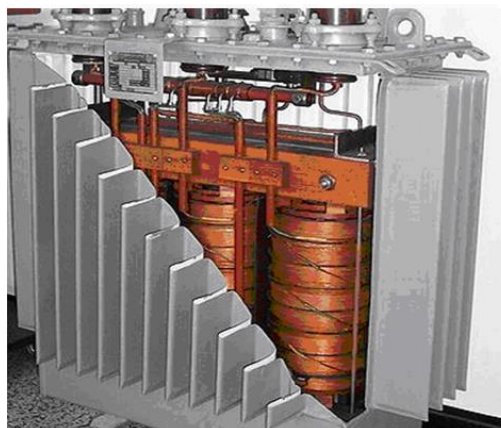
Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus.



Gambar 2.4 Konstruksi Belitan Transformator



Gambar 2.5 Gambaran Fisik Belitan Transformator Tenaga



Gambar 2.6 Komponen-Komponen Internal Transformator



### 3. Minyak transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang digunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagai bagian dari bahan isolasi, minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan. Minyak transformator mempunyai unsur atau senyawa hidrokarbon yang terkandung adalah senyawa hidrokarbon parafinik, senyawa hidrokarbon naftenik dan senyawa hidrokarbon aromatik. Selain ketiga senyawa tersebut, minyak transformator masih mengandung senyawa yang disebut zat aditif meskipun kandungannya sangat kecil.

### 4. Bushing

Hubungan antara kumparan transformator ke jaringan luar melalui terminal yaitu bushing, yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator.



Gambar 2.7 Bushing Transformator



### 5. Tangki Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo yang ditempatkan di dalam tangki baja. Tangki trafo-trafo distribusi umumnya dilengkapi dengan sirip-sirip pendingin (cooling fin) yang berfungsi memperluas permukaan dinding tangki, sehingga penyaluran panas minyak pada saat konveksi menjadi semakin baik dan efektif untuk menampung pemuaiannya minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator<sup>[2]</sup>



Gambar 2.8 Tangki Konservator

### 6. Pendingin Trafo

Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan.



Gambar 2.9 Pendingin Transformator

<sup>2</sup> Aprianto, Agung, dkk. (2010). Pemeliharaan Transformator. Jurnal teknik, Vol. 20 No. 1

Tabel 2.1 Klasifikasi Pendinginan Transformator<sup>[6]</sup>

Cara Pendinginan	Jenis	Singkatan
Pendinginan Alam	Air Natural Colling (Pendinginan dengan udara biasa)	AN
	Oil-immersed Natural Colling (Pendinginan dengan direndam kedalam minyak)	ON
	Oil natural Air natural (pendinginan dengan udara dan minyak)	ONAN
	Oil-immersed forced-oil circulation (pendinginan dengan direndam kedalam minyak yang dialirkan)	OFN
Pendinginan Buatan (Udara)	Oil-immersed Forced-Oil Corculation with Air-Blast Colling (Pendinginan dengan direndam kedalam minyak yang dialirkan dengan semburan udara)	OFB
	Oil-immersed Air-blast Colling/Oil Naturan Air Force (Pendinginan dengan direndam kedalam minyak dan dihembuskan udara)	OB/ONAF
	Air-blast Colling (Pendinginan dengan udara yang dihembuskan)	AB
Pendinginan buatan (Air)	Oil-immersed Water Colling (Pendingin dengan direndam minyak dan juga dibantu dengan air)	OFW
	Oil-immersed Forced-oil Circulation with Water Colling (Pendingin dengan direndam kedalam minyak yang dialirkan dan juga dibantu dengan pendinginan air)	

<sup>6</sup> M. Solikhudin. 2010. Studi Gangguan. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 2010 Hal 4-6



### 7. Tap Changer

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Trafo dituntut memiliki nilai tegangan output yang stabil sedangkan besarnya tegangan input tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan sehingga dapat merubah rasio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan output atau sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input atau primernya. Penyesuaian ratio belitan ini disebut Tap changer.

### 8. Alat Pernafasan (Dehydrating Breather)

Pada konservator ini permukaan minyak diusahakan tidak boleh bersinggungan dengan udara, karena kelembaban udara yang mengandung uap air akan mengkontaminasi minyak walaupun proses pengkontaminasinya berlangsung cukup lama. Untuk mengatasi hal tersebut, udara yang masuk kedalam tangki konservator pada saat minyak menjadi dingin memerlukan suatu media penghisap kelembaban, yang digunakan biasanya adalah silica gel.

## 2.4 Prinsip Kerja

Transformator menggunakan prinsip hukum induksi Faraday dan hukum Lorentz dalam menyalurkan daya, dimana apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka akan mengalir arus dalam kumparan primer menimbulkan perubahan fluks magnetik dalam inti besi.<sup>[3]</sup>

Trafo menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum hokum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet atau fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi. Arus AC yang mengalir pada belitan primer membangkitkan flux magnet yang mengalir melalui inti besi yang

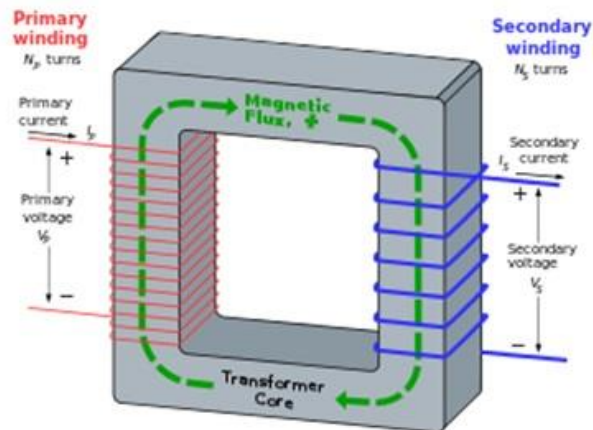
---

<sup>3</sup> Badaruddin dkk.2016. Analisa Minyak Transformator Pada Transformator Tiga Fasa Di Pt X. jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana ISSN:2086-9479 Vol.7 No.2 Mei 2016.





terdapat diantara dua belitan, flux magnet tersebut menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial /tegangan induksi.<sup>[10]</sup>



Gambar 2.9 Prinsip Kerja Transformator

Penggunaan transformator pada sistem penyaluran tenaga listrik dapat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu:

1. Trafo penaik tegangan (step up) atau disebut trafo daya yang berfungsi untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi tegangan transmisi.
2. Trafo penurun tegangan (step down) atau disebut trafo distribusi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.
3. Trafo instrumen adalah pengukuran yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dan arus agar dapat masuk ke meter-meter pengukuran.

## 2.5 Jenis-Jenis Transformator<sup>[7]</sup>

### 2.5.1. Berdasarkan Level Tegangan<sup>[8]</sup>

- a. Trafo Tegangan Tinggi (Trafo 500/150kV, 150/70kV)
- b. Trafo Tegangan Menengah (Trafo 150/30kV, 150/20kV)

<sup>10</sup> Tim PT PLN. 2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. Jakarta: PT PLN (PERSERO).

<sup>7</sup> Permata, Endi dkk. 2020. Maintenance Preventive Pada Transformator Step-Down AV05 Dengan Kapasitas 150KV Di PT. Krakatau Daya Listrik Vol. 3, No.1, 2020, Hal. 485-493.

<sup>8</sup> Puntoko. 2008. Modul Training Transformator. Banten: Krakatau Daya Listrik.



- c. Trafo Tegangan Rendah (Trafo 20kV/380V, 6kV/380V)

### 2.5.2 Berdasarkan fungsi/pemakaian

- a. Trafo Pembangkitan.

Merupakan Trafo step up yang membangkitkan tegangan dari generator ke Gardu Induk untuk ditransmisikan ke pemakaian.

- b. Trafo Gardu Induk.

Merupakan Trafo step down yang digunakan untuk pemakaian pabrik/industri.

- c. Trafo Distribusi.

Merupakan Trafo step down yang digunakan untuk pemakaian perumahan dan infrastruktur.

### 2.5.3 Jenis trafo secara umum

1. Trafo Daya

Trafo daya adalah trafo yang biasa digunakan di GI baik itu GI pembangkit dan GI Distribusi dimana trafo tersebut memiliki kapasitas daya yang besar.



Gambar 2.10 Transformator Daya



## 2. Trafo Distribusi

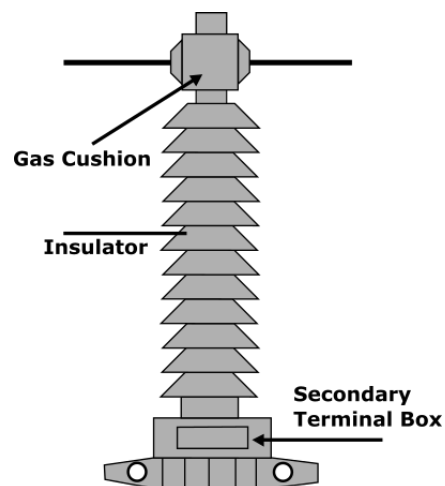
Trafo distribusi adalah trafo yang digunakan untuk menurunkan tegangan menengah (11,6/20kV) menjadi tegangan rendah (220/380V).



Gambar 2.11 Transformator Distribusi

## 3. Trafo Tegangan (Potensial Trafo)

Trafo tegangan adalah trafo yang digunakan untuk mengambil input data masukan berupa besaran tegangan dengan cara perbandingan belitan pada belitan primer atau sekunder.



Gambar 2.12 Transformator Tegangan



#### 4. Trafo Arus (Current Trafo)

Trafo Arus adalah trafo yang digunakan untuk mengambil input data masukan berupa besaran arus dengan cara perbandingan belitan pada belitan primer atau sekunder.



Gambar 2.13 Transformator Arus

#### 2.6 Jenis-Jenis Pemeliharaan pada trafo

##### a. In Service Inspection

In Service inspection adalah kegiatan inspeksi yang dilakukan pada saat trafo dalam kondisi bertegangan/ operasi. Tujuan dilakukannya in service inspection adalah untuk mendeteksi secara dini ketidaknormalan yang mungkin terjadi didalam trafo tanpa melakukan pemadaman, tenaga kerja dikerahkan untuk memperbaiki dengan cara penggantian (PLN, 2014: 18).

##### b. In Service Measurement

In Service Measurement adalah kegiatan pengukuran/ pengujian yang dilakukan pada saat trafo sedang dalam keadaan bertegangan/ operasi (in service). Tujuan dilakukannya in service measurement adalah untuk mengetahui kondisi trafo lebih dalam tanpa melakukan pemadaman (PLN, 2014: 18).

##### c. Predictive Maintenance

Predictive Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memprediksi kondisi suatu peralatan listrik, apakah dan kapan kemungkinannya peralatan listrik tersebut menuju kegagalan, dengan



memprediksi kondisi tersebut dapat diketahui gejala kerusakan secara dini (Didik Aribowo, Romi Wiryadinata, Daniel Alexander Y.H. 2011).

d. Preventive Maintenance

Preventive Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memprediksi kondisi suatu peralatan listrik, apakah dan kapan kemungkinannya peralatan listrik tersebut menuju kegagalan, dengan memprediksi kondisi tersebut dapat diketahui gejala kerusakan secara dini.

e. Corrective Maintenance

Corrective Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan berencana pada waktu-waktu tertentu ketika peralatan listrik mengalami kelainan atau unjuk kerja rendah pada saat menjalankan fungsinya dengan tujuan untuk mengembalikan pada kondisi semula disertai perbaikan dan penyempurnaan instalasi (Didik Aribowo, Romi Wiryadinata, Daniel Alexander Y.H. 2011).

## 2.7 Pengujian Transformator<sup>[9]</sup>

Pengujian trafo merupakan rangkaian kegiatan yang bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi trafo. Berdasarkan data yang diperoleh akan dilakukan analisis dan evaluasi yang akan menentukan tindakan selanjutnya. Secara tidak langsung pengujian ini berfungsi untuk menjaga kondisi dan memastikan bahwa trafo dapat menjalankan fungsinya dengan baik, sehingga dapat menjaga kehandalan, ketersediaan dan efisiensi dari keseluruhan sistem.

Faktor yang paling berpengaruh pada peralatan listrik tegangan tinggi adalah sistem insulasi.

---

<sup>9</sup> Robbani, Firdaus Agung dkk.2020. Penentuan Kelayakan Tahanan Isolasi Pada Transformator 60 MVA Di Gardu Induk 150 kV Tegal Dengan Menggunakan Indeks Polarisasi, Tangen Delta, Dan Breakdown Voltage. *Elektrika*, Vol. 12 No.2 Tahun 2020; hal 60-66



Ada berbagai jenis isolasi pada trafo seperti: isolasi keras (padat) dan minyak isolasi (cair). Isolasi merupakan bagian yang paling vital dan sangat mempengaruhi umur suatu trafo.

Pengujian transformator dibedakan menjadi dua yaitu pengujian transformator dibawah tegangan atau running dan pengujian transformator keadaan mati.

#### 1. Pengujian trafo dibawah tegangan/running

Pengujian trafo dibawah tegangan bertujuan untuk mengetahui status trafo tanpa harus memamatkannya. Tes yang dilakukan meliputi:

1. Thermovisi / Thermal Image
2. Dissolve Gas analysis (DGA)
3. Pengujian kualitas minyak isolasi (karakteristik)
4. Pengujian Furan
5. Pengujian Corrosive Sulfur
6. Pengujian Partial Discharge
7. Vibrasi dan Noise

#### 2. Pengujian trafo dalam keadaan mati

Pengujian transformator dalam keadaan mati merupakan pengujian yang dilakukan pada saat transformator dalam keadaan bebas tegangan. Pengujian dilakukan secara berkala, dalam hal ini dilakukan setiap dua tahun (dua tahun), dan mengacu pada instruksi manual pabrikan yang memproduksi trafo, dengan standar yang digunakan (IEC, CIGRE, ANSI, dll.) dan pengalaman operasional di lapangan. Pengujian trafo yang tidak diberi energi juga dilakukan selama inspeksi kesalahan atau ketika trafo mengalami kinerja pengoperasian yang buruk. Pengujian ini dilakukan pada komponen yang sangat penting dari transformator,



seperti busing, kumparan atau belitan, pengubah tap pada beban (OLTC) dan sistem perlindungan internal transformator.

Pengujian transformator dilaksanakan menurut SPLN'50-1982 dengan melalui tiga macam pengujian, sebagaimana diuraikan juga dalam IEC 76 (1976), yaitu :

### 1. Pengujian Rutin

Pengujian rutin adalah pengujian yang dilakukan terhadap setiap transformator, meliputi:

- Pengujian tahanan isolasi

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan pada awal pengujian dimaksudkan untuk mengetahui secara dini kondisi isolasi trafo, untuk menghindari kegagalan yang fatal dan pengujian selanjutnya, pengukuran dilakukan antara:

- sisi HV - LV
- sisi HV - Ground
- sisi LV- Groud
- X1/X2-X3/X4 (trafo 1 fasa)
- X1-X2 dan X3-X4 trafo 1 fasa yang dilengkapi dengan circuit breaker.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan megger, lebih baik yang menggunakan baterai karena dapat membangkitkan tegangan tinggi yang lebih stabil. Tahanan isolasi ini digunakan untuk kriteria kering tidaknya trafo, juga untuk mengetahui apakah ada bagian-bagian yang terhubung singkat.

- Pengujian tahanan kumparan

Pengukuran tahanan kumparan adalah untuk mengetahui berapa nilai tahanan listrik pada kumparan yang akan menimbulkan panas bila kumparan tersebut dialiri arus.



Nilai tahanan belitan dipakai untuk perhitungan rugi-rugi tembaga trafo. Pada saat melakukan pengukuran yang perlu diperhatikan adalah suhu belitan pada saat pengukuran yang diusahakan sama dengan suhu udara sekitar, oleh karenanya diusahakan arus pengukuran kecil.

Peralatan yang digunakan untuk pengukuran tahanan di atas 1 ohm adalah Wheatstone Bridge, sedangkan untuk tahanan yang lebih kecil dari 1 ohm digunakan Precision Double Bridge.

- Pengujian perbandingan belitan

Pengukuran perbandingan belitan adalah untuk mengetahui perbandingan jumlah kumparan sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah pada setiap tapping, sehingga tegangan output yang dihasilkan oleh trafo sesuai dengan yang dikehendaki. Toleransi yang diijinkan adalah:

- a. 0,5 % dari rasio tegangan atau
- b. 1/10 dari persentase impedansi pada tapping nominal.

Pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan Transformer Turn Ratio Test (TTR)

- Pengujian vector group

Pemeriksaan vector group bertujuan untuk mengetahui apakah polaritas terminal-terminal trafo positif atau negatif. Standar dari notasi yang dipakai adalah additive dan subtractive.

- Pengujian rugi besi dan arus beban kosong

Pengukuran ini untuk mengetahui berapa daya yang hilang yang disebabkan oleh rugi histerisis dan eddy current dari inti besi (core) dan besarnya arus yang ditimbulkan oleh kerugian tersebut. Pengukuran dilakukan dengan memberikan tegangan nominal pada salah satu sisi dan sisi lainnya dibiarkan terbuka.





- Pengujian rugi tembaga dan impedansi

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui besarnya daya yang hilang pada saat trafo beroperasi akibat dari tembaga ( $W_{cu}$ ) dan *strey* loss ( $W_s$ ) trafo yang digunakan.

- Pengujian tegangan terapan (Withstand Test)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menguji kekuatan isolasi antara kumparan dan body tangki.

- Pengujian tegangan induksi (Induce Test)

Pengujian tegangan induksi bertujuan untuk mengetahui kekuatan isolasi antara layer dari tiap-tiap belitan dan kekuatan isolasi antara belitan trafo.

## 2. Pengujian jenis

Pengujian jenis adalah pengujian yang dilaksanakan terhadap sebuah trafo yang mewakili trafo lainnya yang sejenis, guna menunjukkan bahwa semua trafo jenis ini memenuhi persyaratan yang belum diliput oleh pengujian rutin. Pengujian jenis meliputi:

- pengujian kenaikan suhu
- pengujian impedansi

## 3. Pengujian khusus

Pengujian khusus adalah pengujian yang lain dari uji rutin dan jenis, dilaksanakan atas persetujuan pabrik dengan pembeli dan hanya dilaksanakan terhadap satu atau lebih trafo dari sejumlah trafo yang dipesan dalam suatu kontrak. Pengujian khusus meliputi :

- pengujian dielektrik
- pengujian impedansi urutan nol pada trafo tiga fasa
- pengujian hubung singkat
- pengujian harmonik pada arus beban kosong



- pengujian tingkat bunyi akustik pengukuran daya yang diambil oleh motor-motor kipas dan pompa minyak

## 2.6 Pengujian Tan Delta atau Dissipation Factor <sup>[4]</sup>

Kegagalan yang terjadi dalam pengoperasian peralatan listrik tegangan tinggi seringkali akibat dari kondisi isolasi trafo dapat mengalami pemburukan, hal ini dapat disebabkan karena tegangan lebih, suhu operasi yang tinggi, hotspot, korona, kontaminasi, kerusakan mekanis maupun kelembaban.

Dissipation factor (tangen delta) atau faktor rugi-rugi dielektrik merupakan pengujian yang dilakukan pada sistem isolasi transformator dengan tujuan untuk mengetahui kualitas isolasi pada transformator. Dengan kata lain, Dissipation Factor (tan delta) ( $\delta$ ) adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengukur nilai kapasitansi sebuah isolasi dari suatu komponen (salah satunya pada trafo).

## 2.7 Prinsip Dasar Pengujian Dissipation Factor/ Tan Delta

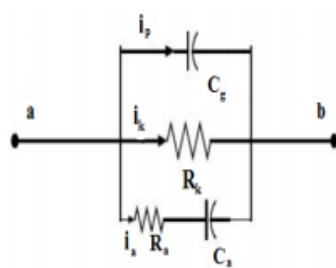
Isolasi trafo merupakan bahan dielektrik yang berfungsi untuk memisahkan dua bagian yang bertegangan, misalnya antara kumparan dengan tangki trafo.

Isolasi yang baik akan bersifat kapasitif, tegangan dan arus fasa bergeser 90° dan arus yang melewati isolasi berupa kapasitif.

Tegangan yang diterapkan pada suatu bahan isolasi menimbulkan tiga komponen arus, yaitu pengisian, arus absorpsi dan arus konduksi<sup>[11]</sup>. Oleh karena itu rangkaian listrik ekuivalen harus menampilkan adanya ketiga komponen arus ini. Parameter pada Gambar 2.14 terdiri dari kapasitor dan resistor.

<sup>4</sup> Faturochman, Febri.2018.Pengujian Tingkat Isolasi Transformator Daya Tegangan 150/20 Kv Kapasitas 60 Mva Pada Gardu Induk Dengan Metode Tangent Delta.

<sup>11</sup> Tobing, Bonggas, L.2012.Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi,Edisi kedua, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan.

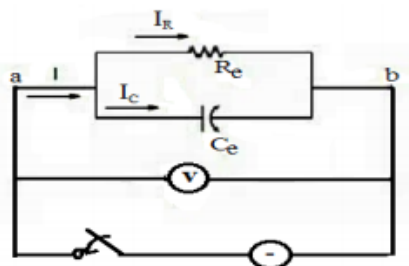


Gambar 2.14 Rangkaian listrik ekuivalen bahan isolasi

Keterangan:

- Cg = kapasitansi geometris;
- Rk = resistansi bahan isolasi;
- Ra = resistansi arus absorpsi;
- Ca = kapasitansi arus absorpsi;
- Ip = arus pengisian;
- Ia = arus absorpsi;
- Ik = arus konduksi

Karena itu, impedansi ekuivalen dari semua parameter tersebut pada tegangan bolak-balik bersifat kapasitif. Sehingga rangkaian pada Gambar 2.14 dapat disederhanakan menjadi seperti gambar 2.15



Gambar 2.15 Rangkaian ekuivalen yang disederhanakan

Dari gambar 2.15, diperoleh rumus sebagai berikut :

$$I_R = \frac{V}{R_e} \dots\dots\dots 2.1$$

$$I_C = \omega C_e V \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan:

IR = arus resistif (Ampere);

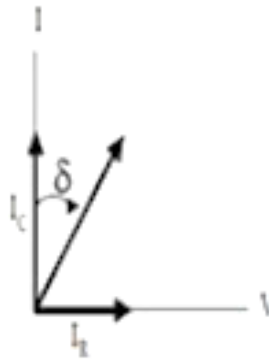


V = tegangan (Volt);

$I_C$  = arus kapasitif (Ampere);

$R_e$  = resistansi (ohm);

$C_e$  = kapasitansi (Farad).



Gambar 2.16 komponen arus menurut rangkaian pada gambar 2.15

Keadaan isolasi pada transformator dapat diprediksi dengan mengetahui hasil pengujian tan delatanya. Dimana untuk interpretasi hasil pengujian merujuk ke aturan standar ANSI C57.12.90 atau IEEE 62-1995.

Perhitungan tangen delta menggunakan rumus dibawah ini :

$$\tan \delta = \frac{P}{V^2 \omega C} \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan :

$\tan \delta$  = Tan Delta (%)

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

C = Capacitance(F)

$\omega = 2\pi f$

$$\text{Atau } I_R = \tan \delta \times I_C \dots\dots\dots 2.4$$

Keterangan :

$I_R$  = Arus Resistif (A)

$I_C$  = Arus Kapasitif (A)



Tabel 2.2 Standar pengujian tan delta menggunakan Standar IEEE 62-1995 atau ANSI C 57.12.90<sup>[5]</sup>:

Hasil Uji	Kondisi
$\leq 0,5\%$	Bagus
0,5%-0,7%	Mengalami penurunan
$\geq 1,0\%$	Buruk

Pengujian tangen delta trafo dapat menggunakan beberapa alat uji dari beberapa vendor seperti Megger, Omicron, Doble, Tettex dll.

### 2.8 Omicron CPC 100

Omicron CPC 100 merupakan perangkat pengujian yang cukup lengkap untuk melakukan pengujian transformator daya. Selain itu sesuai kemampuannya Omicron CPC 100 juga dapat melakukan pengujian transformator arus, transformator tenaga, sistem pentanahan (grounding), pengujian tegangan tinggi (HV), pengujian GIS dan circuit breaker.



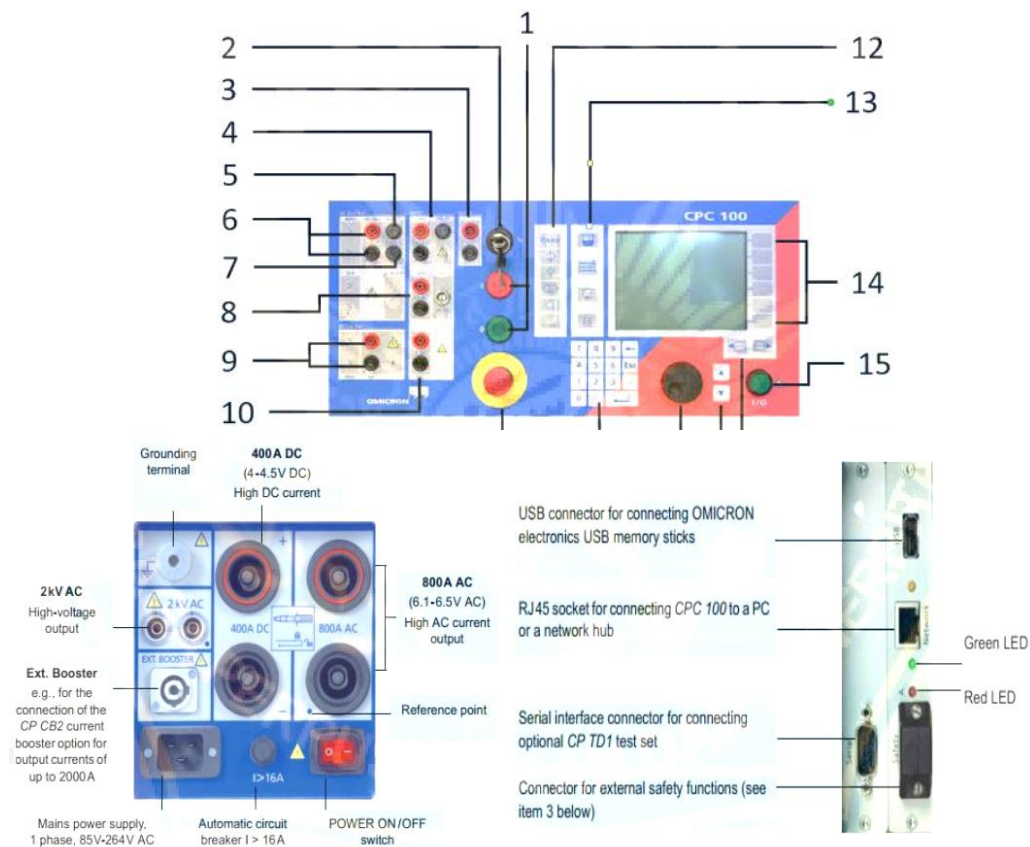
Gambar 2.17 Omicron CPC 100

<sup>5</sup> IEEE Std 62-1995. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 345 East 47th Street, New York, NY 10017-2394, USA.



Omicron CPC 100 dapat melakukan berbagai pengukuran parameter pada pengujian transformator daya seperti tan delta, rasio, burden, winding resistance, knee point, dan polaritas. Omicron CPC 100 dapat menginjeksikan arus hingga 2000 A, dan tegangan hingga 12 kV. Alat ini sangat ideal untuk melakukan pengujian karena memiliki fitur yang cukup lengkap dan sangat portable.

### 2.8.1 Bagian- bagian omicron cpc 100







Gambar 2.18 Konstruksi Omicron CPC 100

Keterangan:

1. I/O warning lights 38
2. Safety key lock
3. Binary Input
4. IAC/DC Input
5. Fuse 6.3 A T
6. AC output



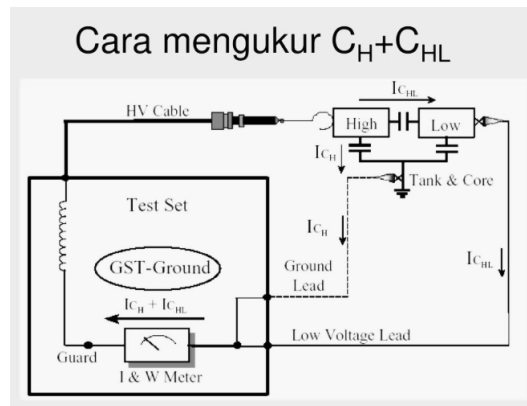
7. Fuse 3.15 A
8. V1 AC input (300 VAC) / V2 AC input (3 VAC)
9. DC output
10. VDC input
11. Emergency stop button
12. Add test cards
13.  Test
-  Test procedure overview
-  operations
-  Options
14. Tombol menu
15. Tombol untuk start dan stop pengujian
16. Tab selector
17. Tombol navigasi
18. Keyboard

## 2.9 Jenis-jenis Mode Pengujian

Mode yang sering dipakai pada pengujian dissipation factor (tan delta) yang sering digunakan antara lain :

### 1. Mode GST (Grounded Speciment Test)

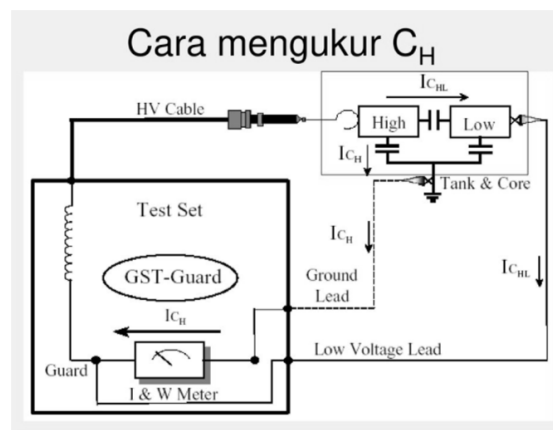
Yaitu mode pengujian tangen delta yang mana kapasitansi uji yang digunakan sebagai referensi pengukuran adalah kapasitansi objek yang diuji terhadap ground.



Gambar 2.19 Mode GST

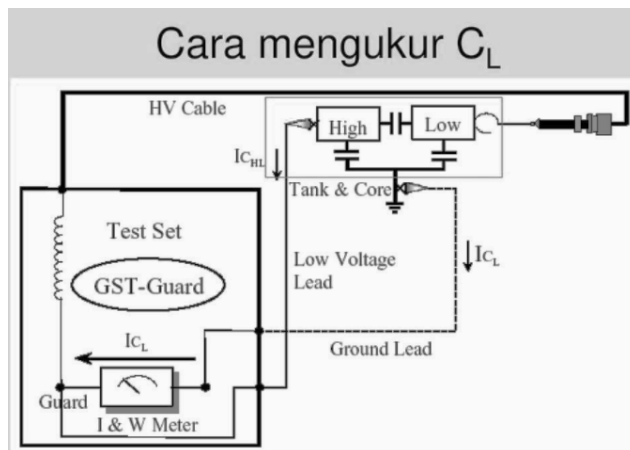
## 2. Mode GSTg (Grounded Speciment Test Guard),

Yaitu mode pengujian tangen delta yang mana kapasitansi uji yang digunakan sebagai referensi pengukuran adalah kapasitansi objek yang diuji terhadap ground dan memblok/membatasi kapasitansi objek lain (guard) yang mempengaruhi kapasitansi objek uji. Misalnya menguji antara sisi sekunder terhadap ground ataupun antara sisi primer terhadap ground.



Gambar 2.20 Mode GSTg sisi primer



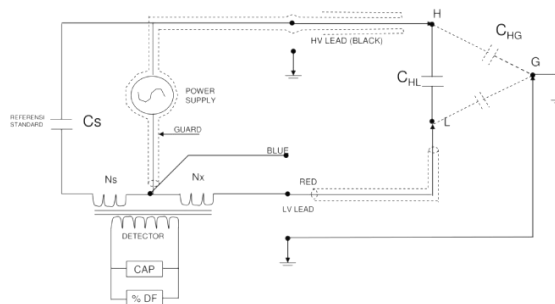


Gambar 2.21 Mode GSTg sisi sekunder

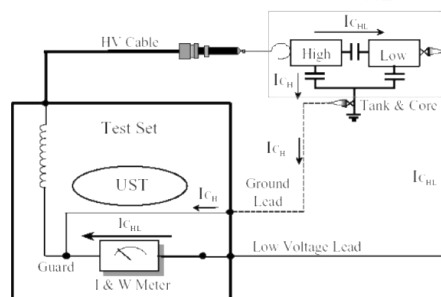
3. Mode UST (Ungrounded Specimen Test)

Yaitu mode pengujian tangen delta yang mana kapasitansi uji yang digunakan sebagai referensi pengukuran adalah kapasitansi antara dua objek yang sama sekali tidak terhubung dengan ground. Misalnya antara pengujian antara sisi primer dan sekunder.

$C_{HL}$  mode UST



Cara mengukur  $C_{HL}$



Gambar 2.22 Mode UST



## 4. Hot Collar

Yaitu Mode pengukuran untuk mengetahui lokasi keretakan pada porcelain, pemburukan atau kontamianasi pada permukaan bushing.

Tabel 2.3 Mode Pengujian Untuk Trafo Dua Kumparan

Test Mode	C yang diukur
UST A	CHL
UST B	
UST A + B	CHL
GST A + B	CHG + CHL
GSTg A	CHG + CHL
GSTg B	CHL + CHG
CHG GSTg A + B	CHG

Tabel 2.4 Mode Pengujian Untuk Trafo Tiga Kumparan

Test Mode	C yang diukur
UST A	CHL
UST B	CHT
UST A + B	CHL + CHT
GST A + B	CHG + CHL + CHT
GSTg A	CHG + CHL
GSTg B	CHT + CHG
CHG GSTg A + B	CHG