

BAB II TRANSFORMATOR

2.1 TRANSFORMATOR

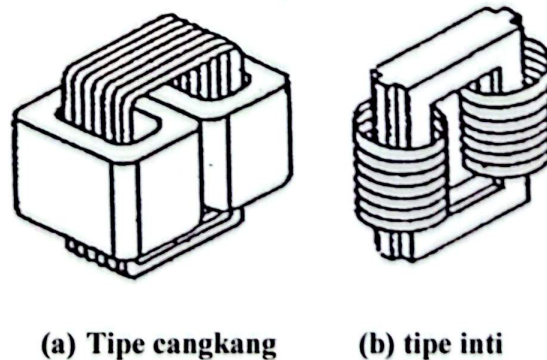
Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

- Transformator daya.
- Transformator distribusi.
- Transformator pengukuran (transformator arus dan transformator tegangan).

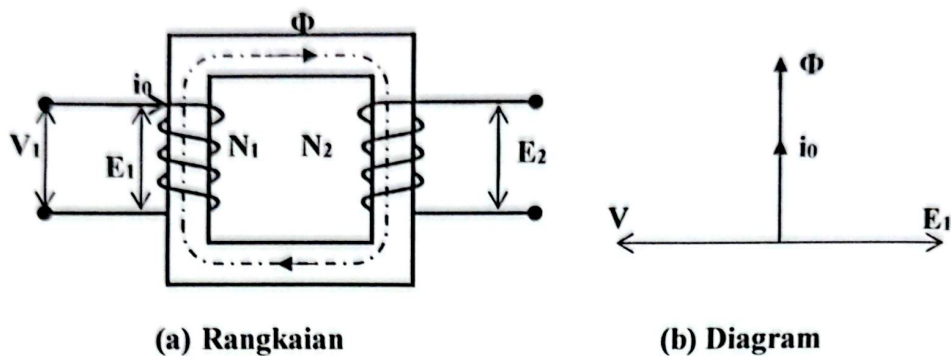
Kerja transformator yang berdasarkan induksi-elektromagnet, menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan sekunder. Gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama.

Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal dua macam transformator, yaitu tipe inti dan tipe cangkang seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tipe Kumparan Transformator

2.2 KEADAAN TRANSFORMATOR TANPA BEBAN



Gambar 2.2 Transformator tanpa beban

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak balik V_1 , akan mengalirkan arus primer I_0 yang juga bolak balik dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 seperti pada gambar Gambar 2.2.

Arus primer I_0 menimbulkan fluks (Φ) yang sefasa juga berbentuk sinusoid.

$$\Phi = \Phi_{\text{maks}} \sin \omega t \dots \dots \dots (2.1)$$

Fluks yang sinusoidal ini akan menghasilkan tegangan induksi E_1 (Hukum Faraday)

$$E_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \dots \dots \dots (2.2)$$

$E_1 = -N_1 \cdot d(\Phi_{\text{maks}} \sin \omega t) / dt = -N_1 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}} \cdot \cos \omega t$ (tertinggal 90° dari Φ)
harga efektifnya adalah :

$$E_1 = \frac{N_1 \cdot 2 \pi f \Phi_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} = 4.44 n_1 \cdot f \Phi_{\text{maks}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Pada rangkaian skunder, fluks (Φ) bersama tadi menimbulkan

$$e_1 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$e_1 = -N_2 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}} \cdot \cos \omega t \dots \dots \dots (2.5)$$

$$E_2 = 4.44 N_2 \cdot f \Phi_{\text{maks}} \dots \dots \dots (2.6)$$

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

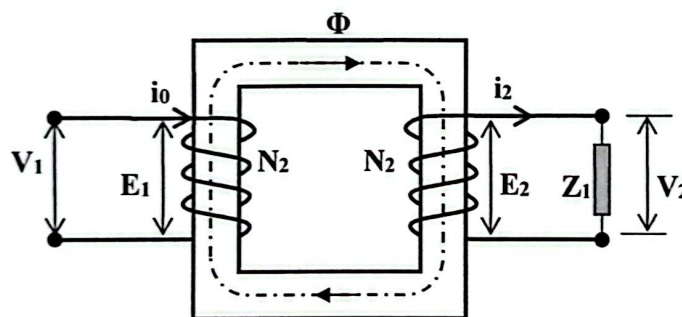
Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \dots \dots \dots (2.8)$$

2.3 KEADAAN BERBEBAN.

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L , I_2 mengalir pada

kumparan sekunder dimana $I_2 = \frac{V_2}{Z_L}$ dengan $\theta_2 =$ faktor kerja beban.



Gambar 2.3 Transformator dalam keadaan berbeban.

Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks (Φ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_M . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus I'_2 , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi:

$$I_1 = I_0 + I'_2 \dots \dots \dots (2.9)$$

Bila rugi besi diabaikan (I_c diabaikan) maka $I_0 = I_M$

$$I_1 = I_M + I'_2 \dots \dots \dots (2.10)$$

Untuk menjaga agar fluks tetap tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_1 saja, berlaku hubungan:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 + N_2 I_2 \dots \dots \dots (2.11)$$

$$N_1 I_1 = N_2 (1 - \Gamma_2) \cdot N_2 I_2 \dots \dots \dots (2.12)$$

Hingga :

$$N_1 \Gamma_2 = N_2 I_2 \dots \dots \dots (2.13)$$

Karena nilai I_M dianggap kecil maka :

$$I_1 = I_2 \dots \dots \dots (2.14)$$

$$\text{Jadi} \rightarrow \frac{N_1}{I_1} = \frac{N_2}{I_2} \text{ atau } \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \dots \dots \dots (2.15)$$

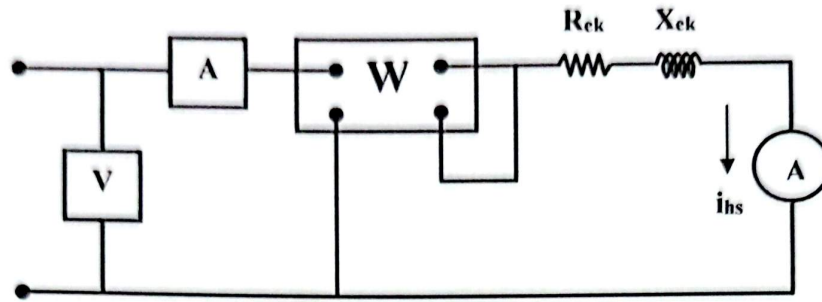
2.4 TRANSFORMATOR HUBUNG SINGKAT

Hubung singkat berarti impedansi Z_1 diperkecil menjadi nol, sehingga impedansi $Z_{ek} = R_{ek} + jX_{ek}$. Yang membatasi arus. Karena harga R_{ek} dan X_{ek} ini relatif kecil, harus dijaga tegangan yang masuk (V_{hs}) cukup kecil sehingga arus yang dihasilkan tidak melebihi arus normal. Harga I_0 akan relatif kecil jika dibandingkan dengan arus nominal, sehingga pada pengukuran ini dapat diabaikan. Dengan mengukur tegangan V_{hs} , arus I_{hs} dan daya P_{hs} akan dapat dihitung parameter:

$$R_{ek} = \frac{P_{hs}}{(I_{hs})^2}$$

$$Z_{ek} = \frac{V_{hs}}{I_{hs}} = R_{ek} + jX_{ek}$$

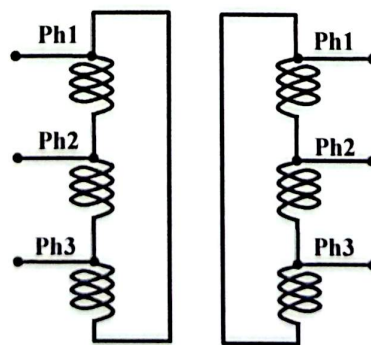
$$X_{ek} = \sqrt{Z_{ek}^2 - R_{ek}^2}$$



Gambar 2.4 Rangkaian pengukuran hubung singkat.

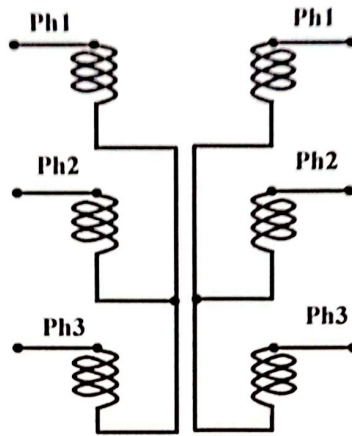
2.5 TRANSFORMATOR 3 FASA.

Transformator 3 fasa pada umumnya digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik pada sistem tegangan 3 fasa (arus bolak-balik). Pada sisi primer dan sekunder masing-masing mempunyai lilitan identik dengan 3 buah transformator satu fasa seperti pada Gambar 2.7, yang ujung kumparan primer dan sekunder dapat disambung (dihubungkan) secara bintang (Y) atau segi-tiga (Δ). Identik dengan 3 buah transformator satu fasa, yang ujung kumparan primer dan sekunder dapat disambung (dihubungkan) secara bintang (I) atau segi tiga. Kadang-kadang untuk suatu maksud tertentu sisi sekunder dihubungkan secara zig-zag (Z) yang mempunyai 6 belitan. Bila tegangan nominal kumparan primer sama dengan tegangan antara fasa dari sistem sumber, maka kumparan tersebut tersambung secara segi tiga.



Gambar 2.5 Hubungan $\Delta - \Delta$

Bila tegangan nominal kumparan sekunder sama dengan tegangan antara fase dari sistem sumber, maka kumparan tersebut tersambung secara segi tiga. Bila tegangan nominal kumparan sama dengan tegangan antara fase dengan netral dari sistem sumber, maka kumparan tersebut tersambung secara bintang.



Gambar 2.6 Hubungan Y - Y

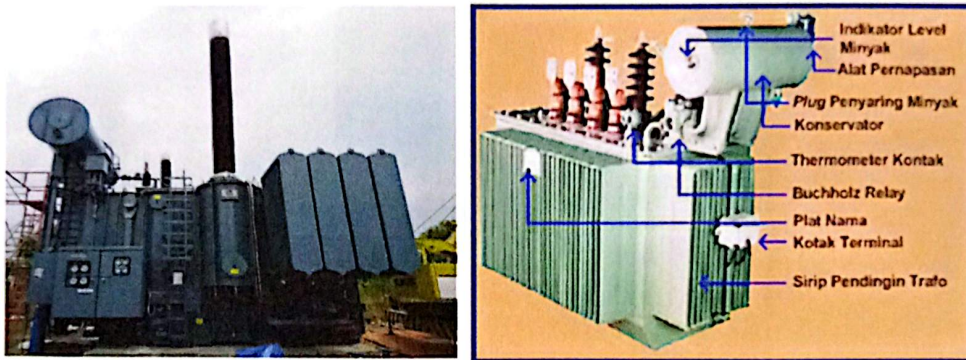
Bila tegangan nominal kumparan sekunder sama dengan tegangan antara fase dengan netral dari system sumber maka kumparan-kumparan..tersebut tersambung secara bintang.



Gambar 2.7 Tiga Buah Transformator 1 fasa

2.6 KONSTRUKSI TRANSFORMATOR

Sebuah Transformator tiga fasa mempunyai konstruksi yang hampir sama, yang membedakan adalah alat bantu dan sistem pengamannya, tergantung pada letak pemasangannya, sistem pendinginnya, pengoperasiannya, fungsi dan pemakaiannya. Bagian utama, alat bantu, dan sistem pengamannya yang ada pada sebuah transformator daya seperti pada Gambar 2.8.



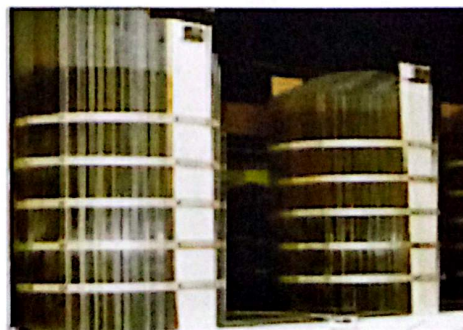
(a) Transformator

(b) konstruksi luar trafo

Gambar 2.8 Konstruksi Transformator Tiga Fasa

- **Inti Besi**

inti besi digunakan sebagai media mengalirnya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan – lempengan besi tipis berisolasi dengan maksud untuk mengurangi eddy current yang merupakan arus sirkulasi pada inti besi hasil induksi medan magnet, dimana arus tersebut akan mengakibatkan rugi – rugi (losses) seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Inti Besi

- **Winding**

Belitan terdiri dari batang tembaga yang berisoasi mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengelilingi pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnet seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Belitan Trafo

- **Bushing**

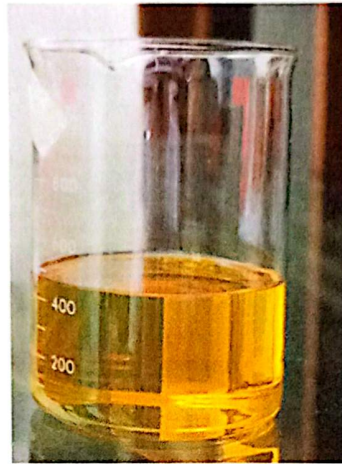
Bushing adalah sarana penghubung antara belitan dan jaringan luar, bushing terdiri dari sebuah konduktor yang dikelilingi oleh isolator. Isolator berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan body tank trafo.



Gambar 2.11 Bushing

- **Minyak Trafo**

Minyak trafo merupakan pendingin trafo. Pada saat minyak bersirkulasi panas yang berasal dari belitan akan dibawa minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip sirip trafo seperti pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Sampel Minyak Isolasi Trafo

- **Konservator**

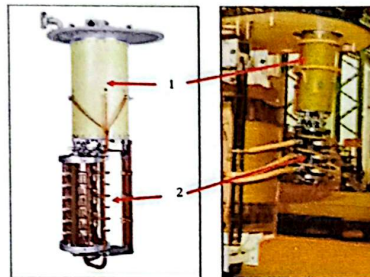
Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu, operasinya pada trafo minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah sebaliknya saat terjadinya penurunan suhu minyak akan menyusut seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Konservator

- **Tap Changer**

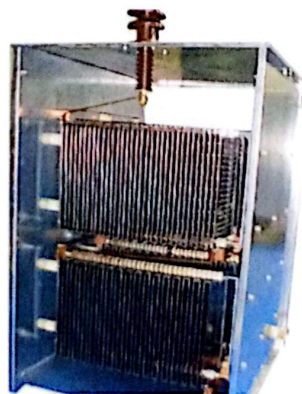
Trafo ditekankan memiliki nilai tegangan output yang stabil sedangkan besar kecilnya tegangan input tidak selalu sama. Mengubah banyaknya belitan sehingga dapat merubah ratio antara belitan primer dan sekunder dengan demikian tegangan output/sekunder dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input/primernya. Penyesuaian ratio ini disebut Tap Changer seperti pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Tap Changer

- **Neutral Grounding Resistor**

NGR adalah tahanan yang dipasang serial dengan neutral grounding pada trafo sebelum terhubung ke tanah/ground. Tujuan NGR dipasang adalah mengontor besar arus gangguan trafo yang mengalir sisi neutral ke tanah seperti pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Neutral Grounding Resistor

- **Alat Indikator**

Alat Indikator berfungsi untuk memonitor kondisi komponen utama atau media bantu yang ada didalam transformator pada saat transformator beroperasi, Seperti;

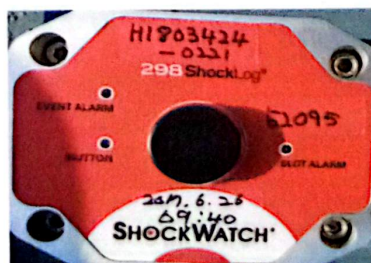
- Suhu minyak
- Permukaan minyak
- Sistem pendinginan
- Posisi tap



Gambar 2.16 Indikator Level Minyak

- **Shock log**

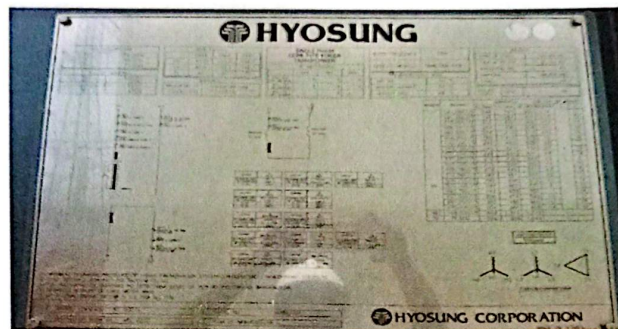
Adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi guncangan saat trafo sedang dalam pengiriman melalui kapal laut. Prinsip kerja hampir sama dengan seismograf alat pendeteksi gempa bumi. alat ini bekerja saat trafo mengalami guncangan kapal kemudian alat akan melakukan pembacaan kuat nya guncangan yang sedang dialami kapal. Alat ini biasanya langsung diberikan / dipinjamkan dari pabrik pembuatan trafo. Shock log terletak dibagian atas transformator seperti pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Shock Log

- **Name Plate Transformator**

Plat nama yang berada diluar transformator sebagai pendoman pada saat pemasangan dan perbaikan. Data-data yang dicantumkan seperti Fasa, Frekuensi, Daya nominal, Tegangan primer/sekunder, kelompok hubungan, arus nominal, sistem pendinginan, volume minyak, dan lain-lain seperti pada Gambar 2.18



Gambar 2.18 Name Plate Transformator Tiga Fasa

2.7 BUSHING TRANSFORMATOR

Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Bahan dielektrik dan flange yang terbuat dari logam. Fungsi konduktor adalah meyalurkan arus dari bagian dalam peralatan ke terminal luar dan bekerja pada tegangan tinggi. Dibantu dengan flange, isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan body transformator seperti pada Gambar2.19.



Gambar 2.19 Instalasi Bushing

Dua faktor penting yang harus diperhatikan karena dapat mempengaruhi kinerja bushing yaitu:

1. Sistem isolasi, untuk mencegah kegagalan kondisi over voltage
2. Lintasan konduktor, untuk mencegah kegagalan pada kondisi over current

Over voltage akan mengakibatkan flash over pada isolasi dan over current akan mengakibatkan panas berlebih pada konduktor dengan rugi-rugi berupa I^2R

2.8 JENIS BUSHING

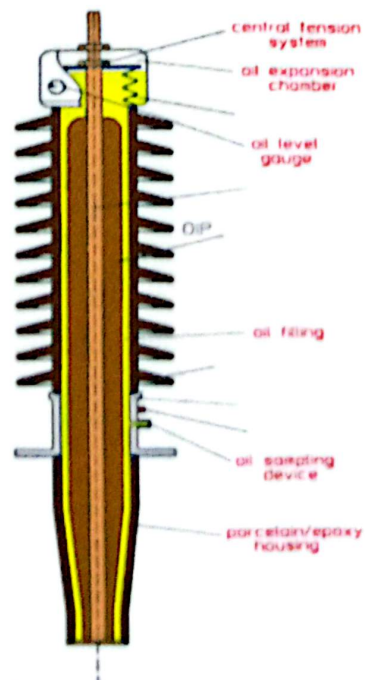
Berdasarkan media isolasi bushing terbagi menjadi dua yaitu:

a. Bushing Kondenser

Bushing kondenser umumnya dipakai pada tegangan rating bushing 70 kV ke atas. Bushing kondenser terdapat dua jenis media isolasi yaitu:

1. Oil Impregnated Paper (OIP)

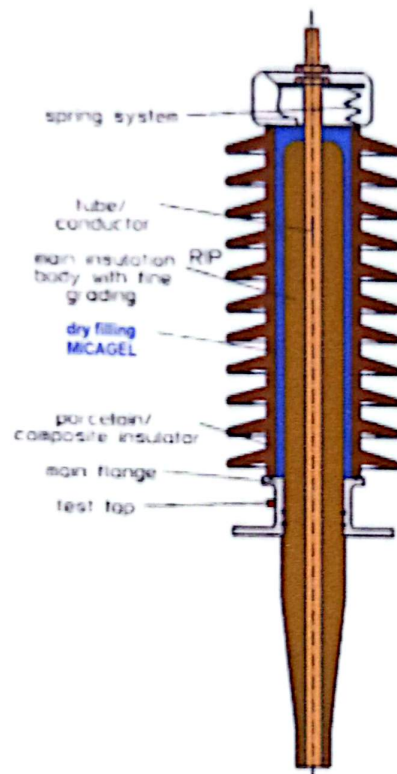
Pada tipe OIP isolasi yang digunakan adalah kertas dan minyak yang merendam kertas isolasi



Gambar 2.20 Bushing Kondenser OIP

2. Resin Impregnated Paper (RIP)

Pada tipe RIP isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan resin.

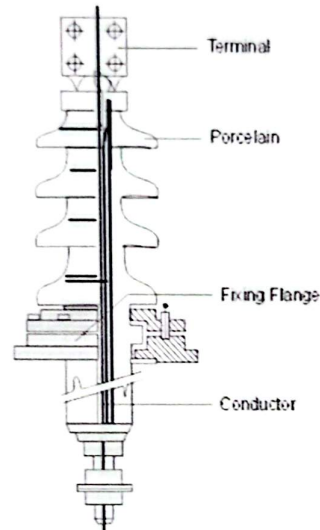


Gambar 2.21 Bushing Kondenser RIP

Di dalam bushing kondenser terdapat banyak lapisan kapasitansi yang disusun secara seri sebagai pembagi tegangan. Pada bushing terdapat dua kapasitansi utama yang biasa disebut C1 dan C2. C1 adalah kapasitansi antara konduktor dengan tap bushing, dan C2 adalah kapasitansi dari tap bushing ke ground (flange bushing). Dalam kondisi operasi tap bushing dihubungkan ke ground, sehingga C2 tidak ada nilainya ketika bushing operasi.

b. Bushing Non-Kondenser

Bushing non kondenser umumnya digunakan pada tegangan rating 72,5 kV ke bawah. Media isolasi utama bushing non-kondenser adalah isolasi padat seperti porcelain atau keramik.



Gambar 2.22 Busing Non-Condenser

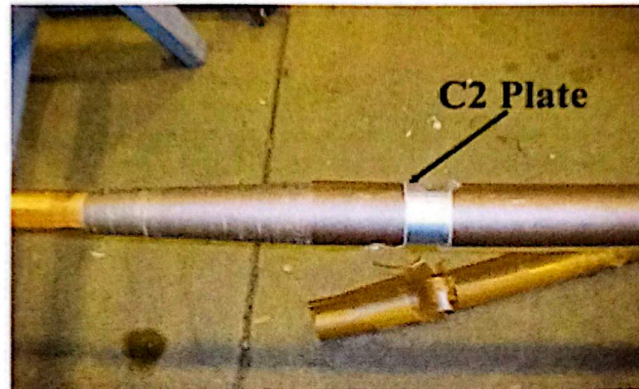
2.9 Konstruksi Bushing

Bagian utama dari suatu bushing adalah inti atau konduktor, bahan dielektrik dan flans yang terbuat dari logam. Fungsi inti adalah menyalurkan arus dari bagian dalam peralatan ke terminal luar dan bekerja pada tegangan tinggi. Dengan bantuan flans, isolator diikatkan pada badan peralatan yang dibumikan. Bushing untuk tegangan AC sampai 30 kV dibuat dari porselen untuk tegangan yang lebih tinggi, bahan isolasi yang lebih disukai adalah minyak trafo, gulungan hardboard atau softpaper dan kombinasi dielektrik cair dan padat, kemudian dibungkus dengan kerangka porselen.

Konstruksi bushing terdiri dari :

1. Konduktor

Terdapat jenis – jenis konduktor pada bushing yaitu hollow conductor dimana terdapat besi pengikat atau penegang di tengah lubang konduktor utama, konduktor pejal dan flexible lead seperti pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Konduktor Bushing

2. Klem Koneksi

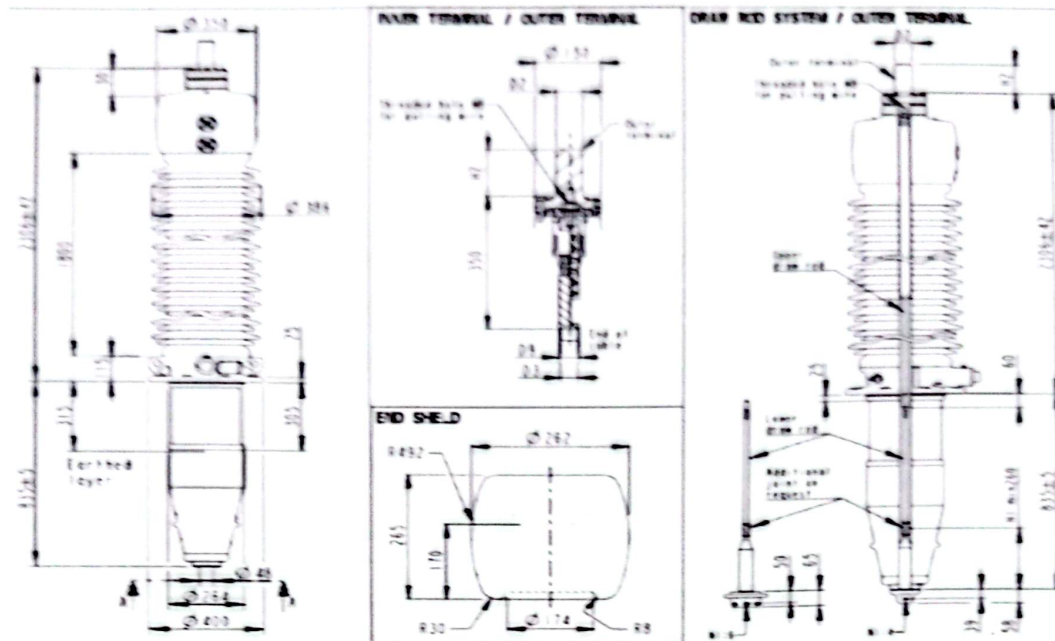
Klem koneksi merupakan sarana pengikat antara stud bushing dengan konduktor penghantar di luar bushing.

3. Aksesoris

Aksesoris bushing terdiri dari indikasi minyak, seal atau gasket dan tap pengujian. Seal atau gasket pada bushing terletak di bagian bawah mounting flange.

4. Name Plate Bushing

Plat nama bushing sebagai pedoman. Data-data yang dicantumkan seperti Kapasitansi C1, tangen delta seperti pada gambar 2.24



Gambar 2.24 Konstruksi Bushing

Kemudian dengan pemilihan isolator yang tepat, maka kuat medan pada bidang miring yang berbatasan dengan udara dapat dikurangi di bawah nilai yang diizinkan. Jika tegangan suatu bushing porselen ditinggikan, maka pada harga suatu tegangan tertentu akan terjadi loncatan bunga api pada rongga-rongga udara yang terdapat di antara elektroda dengan isolator; dan jika tegangan terus dinaikkan maka akhirnya akan terjadi peristiwa lewat-denyar (kegagalan isolasi udara disekitar permukaan isolator sehingga terjadi aliran arus). Dengan perkataan lain, kejadian lewat denyar pada busing porselen lebih dahulu diawali dengan kejadian loncatan bunga api, karena pada bushing ini tidak ditemukan rongga-rongga udara di antara elektroda dengan isolator.