



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Transformator<sup>9</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 gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet<sup>9</sup>. Transformator terdiri atas dua kumparan yang dililitkan pada inti besi tertutup seperti Gambar 2.1. Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Penggunaan dalam system tenaga memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis, misalnya kebutuhan pada tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Untuk terminal-terminal transformator yang telah digunakan tanda-tanda baku. Terminal lilitan tegangan tinggi diberi tanda  $H_1$  dan  $H_2...$ ; terminal lilitan tegangan rendah diberi tanda  $X_1, X_2$  dan jumlah lilitan dinyatakan sebagai  $T_H$  dan  $T_X$ .



Gambar 2.1 Transformator

---

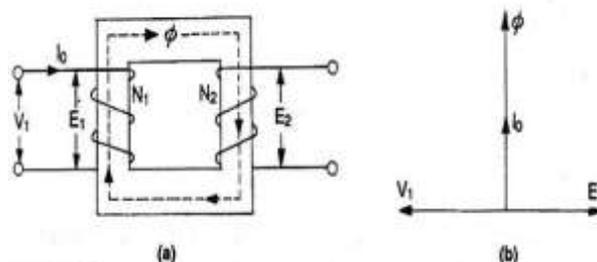
<sup>9</sup> Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung: ITB, 1991. Hal 15.



## 2.2. Operasi Kerja Transformator

### 2.2.1 Transformator Tanpa Beban

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan  $V_1$  yang sinusoidal, akan mengalir arus primer  $I_0$  yang juga sinusoidal dan menganggap belitan  $N_1$  reaktif murni,  $I_0$  akan tertinggal  $90^\circ$  dari  $V_1$  (Gambar 2.2). Arus primer  $I_0$  menimbulkan fluks ( $\Phi$ ) yang sephasa dan juga berbentuk sinusoidal<sup>9</sup>.



Gambar 2.2 Transformator Tanpa Beban

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

Fluks yang sinusoidal ini akan menghasilkan tegangan induksi  $e_1$  (Hukum Faraday).

$$E = N_1 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.2)$$

Tertinggal  $90^\circ$  dari  $\Phi$

$$e_1 = -N_1 \frac{d(\Phi_{maks} \sin \omega t)}{dt} = -N_1 \omega \Phi_{maks} \omega \cos \omega t \dots\dots\dots(2.3)$$

Harga efektifnya

$$E_1 = \frac{N_1 \cdot 2\pi \cdot f \cdot \Phi_{maks}}{\sqrt{2}} = 4.44 N_1 \cdot f \cdot \Phi_{maks} \dots\dots\dots(2.4)$$

<sup>9</sup> Zuhal, *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung: ITB, 1991. Hal 17.



Pada rangkaian sekunder fluks ( $\Phi$ ) bersama tadi menimbulkan:

$$e_2 = - N_2 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$e_2 = - N_2 W \phi_m \cos \omega t \dots\dots\dots(2.6)$$

$$E_2 = 4.44 N_2 f \phi_{maks}, \text{ sehingga } \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(2.7)$$

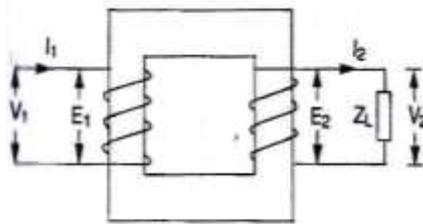
Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor,

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

Dalam hal di atas tegangan induksi  $E_1$  mempunyai kebesaran sama tetapi berlawanan arah dengan tegangan sumber  $V_1$ .

### 2.2.2 Transformator Berbeban

Jika pada kumparan sekunder dihubungkan dengan beban  $R_L$ ,  $I_2$  akan mengalir pada kumparan sekunder,  $I_2 = \frac{V_2}{R_L}$  dengan  $\theta_2 =$  faktor kerja beban.



Gambar 2.3 Transformator Berbeban<sup>9</sup>

Arus beban  $I_2$  akan menimbulkan gaya gerak magnet  $N_2 I_2$  yang cenderung melawan fluks ( $\Phi$ ) bersama arus akibat induksi magnet  $I_m$ . Agar fluks tidak berubah, di kumparan primer arus  $I'_2$ , yang melawan fluks yang

<sup>9</sup> Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung: ITB, 1991. Hal 21.



timbul akibat arus beban  $I_2$ , sampai semua arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi<sup>9</sup>:

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

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

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

Untuk menjaga fluks tidak berubah sebesar gaya gerak magnet yang dihasilkan oleh arus pemagnetan  $I_M$ , berlaku persamaan:

$$N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$N_1 I_M = N_1 (I_M + I'_2) - N_2 I_2 \dots\dots\dots(2.12)$$

Hingga,

$$N_1 I'_2 = N_2 I_2 \dots\dots\dots(2.13)$$

Karena nilai  $I_M$  dianggap tidak ada maka  $I'_2 = I_1$

$$\text{Jadi, } N_1 I'_2 = N_2 I_2 \text{ atau } \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \dots\dots\dots(2.14)$$

### 2.3 Impedansi Transformator

Impedansi Transformator ( $Z_{tr}$ ), dilihat dari terminal LV, didapatkan dengan rumus (Schneider Electric 2010):

$$Z_{tr} = \frac{U_{20}^2}{P_n} \times \frac{U_{sc}}{100} \dots\dots\dots(2.15)^5$$

<sup>9</sup> Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung: ITB, 1991. Hal 21.

<sup>5</sup> Schneider Electric, *Electrical Installation Guide 2010*, ter. Tiras Ari Sadewo, Technical Collection Schneider Electric France, 2010. Hal. G26



Keterangan:

$U_{20}$  = Tegangan fasa ke fasa open circuit (V)

$P_n$  = Rating transformer (kVA)

$U_{sc}$  = Short circuit impedansi tegangan (%)

Resistansi belitan transformator ( $R_{tr}$ ) dapat diturunkan dari total rugi-rugi berikut:

$$P_{cu} = 3I_n^2 \times R_{tr} \text{ Maka, } R_{tr} (\text{mili ohms}) = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3 I_n^2} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana;

$P_{cu}$  = Total rugi-rugi (Watt)

$I_n$  = Arus nominal beban penuh (Ampere)

$R_{tr}$  = Resistansi satu fasa transformator (Mili Ohm)

Sisi LV dan sesuai dengan rating MV belitan untuk sisi satu fasa LV termasuk nilai resistansi

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2} \dots\dots\dots (2.17)$$

Untuk perhitungan perkiraan  $R_{tr}$  dapat diabaikan bila  $X \approx Z$  dalam standar tipe transformator tersebut.

## 2.4 Kuantitas Per Unit

Saluran transmisi tenaga dioperasikan pada tingkat tegangan dimana kilovolt merupakan unit yang memudahkan untuk menyatakan tegangan. Karena besarnya daya yang harus disalurkan, kilowatt atau megawatt dan kilovoltampere atau megavoltampere adalah istilah-istilah yang sudah biasa dipakai<sup>8</sup>. Tetapi, kuantitas-kuantitas tersebut, ampere dan ohm sering juga dinyatakan sebagai suatu persentase atau per unit dari suatu nilai dasar atau referensi yang ditentukan untuk masing-masing (spesifik). Misalnya jika tegangan dasar dipilih 120 kV maka tegangan-tegangan sebesar 108, 120, dan 126 kV berturut-turut menjadi 0,90 ; 1,00 ; dan 1,05 per unit atau 90, 100, dan 105%. Definisi nilai per unit untuk suatu kuantitas ialah perbandingan kuantitas tersebut terhadap nilai dasarnya yang dinyatakan dalam desimal.

<sup>8</sup> William D. Stevenson Jr. *Analisi Sistem Tenaga Listrik Edisi 4*. ter. Kamal Idris. (Jakarta: Erlangga, 1990), Hal. 29-30.



Perbandingan (rasio) dalam persentase adalah 100 kali nilai dalam per unit. Kedua metode perhitungan tersebut, baik dengan persentase maupun dengan per unit lebih sederhana menggunakan langsung nilai-nilai ampere, ohm dan volt yang sebenarnya. Metode per unit mempunyai sedikit kelebihan dari metode persentase karena hasil perkalian dari dua kuantitas yang dinyatakan dalam per unit sudah langsung diperoleh dalam per unit juga, sedangkan hasil perkalian dari dua kuantitas yang dinyatakan dalam persentase masih harus dibagi dengan 100 untuk mendapatkan hasil dalam persentase.

Tegangan arus, kilovoltampere dan impedansi mempunyai hubungan sedemikian rupa sehingga pemilihan nilai dasar untuk dua saja dari dua kuantitas-kuantitas tersebut sudah dengan sendirinya menentukan nilai dasar untuk kedua kuantitas yang lainnya. Jika nilai dasar dari arus atau tegangan sudah dipilih, maka nilai dasar dari impedansi dan kilovoltampere dapat ditentukan. Impedansi dasar adalah impedansi yang akan menimbulkan jatuh tegangan (voltage drop) padanya sendiri sebesar tegangan dasar jika arus yang mengalirinya sama dengan arus dasar. Kilovoltampere dasar pada sistem fasa tunggal adalah hasil perkalian tegangan dasar dalam kilovolt dan arus dasar dalam ampere. Biasanya megavoltampere dasar dan tegangan dasar dalam kilovolt adalah kuantitas yang dipilih untuk menentukan dasar atau referensi. Jadi untuk sistem fasa tunggal atau sistem tiga fasa dimana istilah arus berarti arus saluran, istilah tegangan berarti tegangan ke netral, dan istilah kilovoltampere berarti kilovoltampere per fasa.

Untuk bermacam-macam satuan berlaku rumus-rumus sebagai berikut:

$$\text{Arus dasar, } A = \frac{\text{dasar } kVA_{1\phi}}{\text{tegangan dasar, } kV_{LN}} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{\text{tegangan dasar, } V_{LN}}{\text{arus dasar, } A} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LN})^2 \times 1000}{\text{arus dasar, } kVA_{1\phi}} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LN})^2}{\text{dasar, } MVA_{1\phi}} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\text{Impedansi per unit} = \frac{\text{impedansi sebenarnya, } \Omega}{\text{impedansi dasar, } \Omega} \dots\dots\dots (2.22)$$



Dalam persamaan-persamaan diatas, subkrip  $1\phi$  dan  $LN$  berturut-turut menunjukkan “per fasa” dan “saluran ke netral” untuk persamaan-persamaan yang berlaku bagi rangkaian tiga fasa. Jika rangkaian tersebut dipakai untuk rangkaian berfasa tunggal  $kV_{LN}$  berarti tegangan pada saluran berfasa tunggal atau tegangan saluran ke tanah jika salah satu salurannya diketanahkan.

Karena soal-soal rangkaian biasanya tiga fasa dipecahkan sebagai salah satu saluran tunggal dengan suatu pengembalian netral, dasar-dasar untuk kuantitas pada diagram impedansi adalah kilovoltampere per fasa dan kilovolt dari saluran ke netral. Data-data biasanya diberikan sebagai kilovoltampere total tiga fasa atau megavoltampere dan kilovolt antar saluran. Karena kebiasaan dalam menyatakan tegangan antar saluran dan kilovoltampere total atau megavoltampere total seperti tersebut diatas, mungkin terjadi kesimpangsiuran dalam hubungan antara nilai per unit dari tegangan saluran dan nilai per unit dari tegangan fasa. Meskipun tegangan saluran dapat saja dipilih sebagai dasar, untuk rangkaian berfasa tunggal jawaban yang diperlukan adalah tetap tegangan ke netral. Tegangan dasar ke netral adalah tegangan dasar antar saluran dibagi dengan  $\sqrt{3}$ .

Karena ini adalah juga perbandingan antara tegangan antar saluran dan tegangan ke netral dari sistem tiga fasa yang seimbang, nilai per unit tegangan saluran ke netral sebagai dasar sama dengan nilai per unit tegangan antar saluran pada titik yang sama dengan tegangan antar saluran sebagai dasar jika sistemnya seimbang (Stevenson 1990).

Demikian pula kilovoltampere tiga fasa adalah tiga kali dari kilovoltampere dasar per fasa. Karena itu, nilai per unit dari kilovoltampere tiga fasa dengan dasar kilovoltampere tiga fasa identik dengan nilai per unit dari kilovoltampere per fasa dengan dasar kilovoltampere per fasa.

Sudah tentu nilai megawatt dan megavoltampere dapat saja menggantikan nilai kilowatt dan kilovoltampere untuk seluruh pembahasan diatas. Jika tidak dinyatakan lain, suatu nilai dasar tegangan dalam suatu sistem tiga fasa adalah tegangan dasar antar saluran dan suatu nilai dasar kilovoltampere dan megavoltampere adalah nilai dasar untuk total tiga fasa.



Impedansi dasar dan arus dasar dapat langsung dihitung dari nilai-nilai tiga fasa untuk kilovolt dasar dan kilovoltampere dasar. Jika kita mengartikan bahwa kilovoltampere dasar dan tegangan dasar dalam kilovolt berturut-turut sama dengan kilovoltampere dasar untuk total tiga fasa dan tegangan antar saluran maka kita peroleh:

$$\text{Arus dasar, } A = \frac{kVA_{3\phi} \text{ dasar}}{\sqrt{3} \times \text{tegangan dasar, } kV_{LL}} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } \frac{kV_{LL}}{\sqrt{3}})^2 \times 1000}{kVA_{3\phi} / 3 \text{ dasar}} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LL})^2 \times 1000}{kVA_{3\phi} \text{ dasar}} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LL})^2}{MVA_{3\phi} \text{ dasar}} \dots\dots\dots (2.26)$$

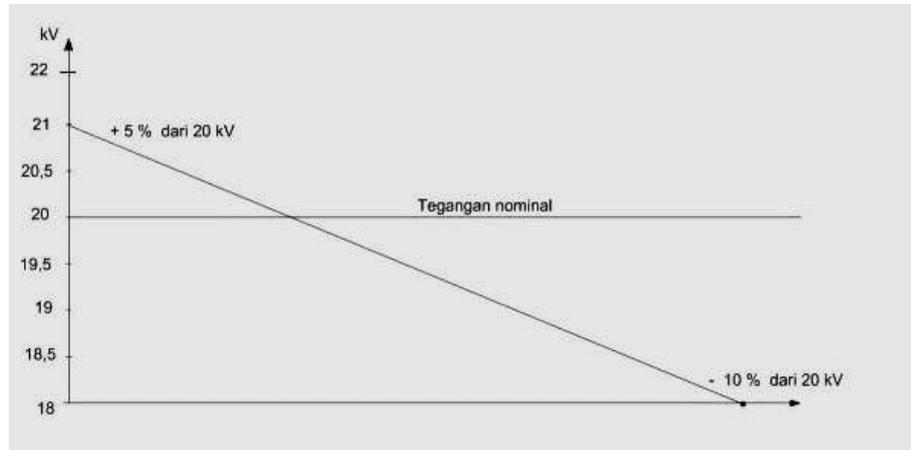
## 2.5 Tegangan Jatuh (Drop Tegangan)

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti (PT. PLN, 2010:20).

Tegangan jatuh secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Tegangan jatuh  $V$  pada penghantar semakin besar jika arus  $I$  di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar  $R_{\ell}$  semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Atas dasar hal tersebut maka tegangan jatuh yang



dijinkan untuk instalasi arus kuat hingga 1.000 V yang ditetapkan dalam persen dari tegangan kerjanya (Daryanto,2010:18 & 42).



Gambar 2.4 Toleransi Tegangan yang diijinkan

Sesuai dengan standar tegangan yang ditentukan oleh PLN (SPLN), perancangan jaringan dibuat agar jatuh tegangan di ujung diterima 10%. Tegangan jatuh pada jaringan disebabkan adanya rugi tegangan akibat hambatan listrik (R) dan reaktansi (X). Jatuh tegangan phasor  $V_d$  pada suatu penghantar yang mempunyai impedansi (Z) dan membawa arus (I) dapat dijabarkan dengan rumus:

$$V_{Drop} = I \cdot Z \dots\dots\dots(2.27)^7$$

Kualitas tegangan sisi LV (Low Voltage) dalam arti yang luas mengisyaratkan:

- Frekuensi yang sesuai dengan batas besaran.
- Bebas dari fluktuasi beban yang berkelanjutan.
- Power supply yang terganggu, kecuali saat pemeliharaan yang terjadwal atau hasil kegagalan atau keadaan darurat.
- Menjaga bentuk gelombang sinusoidal.

Disebagian besar negara, tegangan power supply harus dalam batas 5% pada saat beroperasi (atau  $\pm 6\%$  dalam kasus tertentu) dari nominal yang tertera. IEC dan sebagian besar standar internasional merekomendasikan sisi LV didesain dan ditest unuk mendapatkan kinerja yang bagus dengan limit  $\pm 10\%$  dari nominal tegangan.

<sup>7</sup> Mitro S. Sihombing, "Tegangan Jatuh (Drop Tegangan)", diunduh dari <https://modalholong.wordpress.com/2012/12/21/tegangan-jatuh-drop-tegangan/>, pada tanggal 4 April 2016 pukul 16.05



Ini membuat margin, saat kondisi terburuk (contohnya kurang dari 5% saat posisi beroperasi) dari 5% drop tegangan yang dibolehkan di kabel saluran.

Drop tegangan pada system distribusi biasanya tegangan pada sisi MV (Maximum Voltage) sebuah transformator MV/LV (Step Down) biasanya dipertahankan pada nilai 2% oleh *on load tap changer* pada transformator di gardu induk dengan supply yang besar (Schneider Electric 2010;C15).

Jika transformator step down terletak dekat dengan gardu induk dengan kapasitas supply yang besar, 2% dari nilai tegangan mungkin berpusat pada tingkat level tegangan lebih tinggi dari pada nilai nominal MV. Contohnya, tegangan bias saja 20,5 kV  $\pm 2\%$  pada system 20 kV. Pada kondisi ini, transformator distribusi MV/LV seharusnya memiliki off-circuit merubah switch yang terpilih ke +2,5% posisi tap<sup>5</sup>.

Sebaliknya, pada lokasi yang jauh dari gardu induk dengan tegangan supply yang besar dengan nilai 19,5 kV  $\pm 2\%$  memungkinkan, dengan kondisi merubah posisi off-circuit yang terpilih kurang dari 5%. Berbedanya tingkat tegangan dalam sebuah sistem adalah normal dan tergantung dengan pola sistem aliran listrik. Selain itu, perbedaan tegangan adalah alasan untuk istilah “nominal” ketika mengacu pada sistem tegangan.

## 2.6 Transformator Tiga Fasa

Transformator tiga fasa digunakan karena pertimbangan ekonomi, karena transformator tiga fasa menggunakan inti besi yang jauh lebih sedikit dibandingkan tiga buah transformator fasa tunggal. Setiap sisi primer maupun sekunder dapat dihubungkan dengan tiga cara yaitu; hubungan bintang, hubungan delta dan hubungan zig-zag<sup>9</sup>.

<sup>5</sup> Schneider Electric. 2010. *Electrical Installation Guide 2010*, ter. Tiras Ari Sadewo, France: Schneider Electric. Hal. C15.

<sup>9</sup> Zuhal, *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung: ITB, 1991. Hal 41-43.



**2.6.1 Hubungan Bintang**

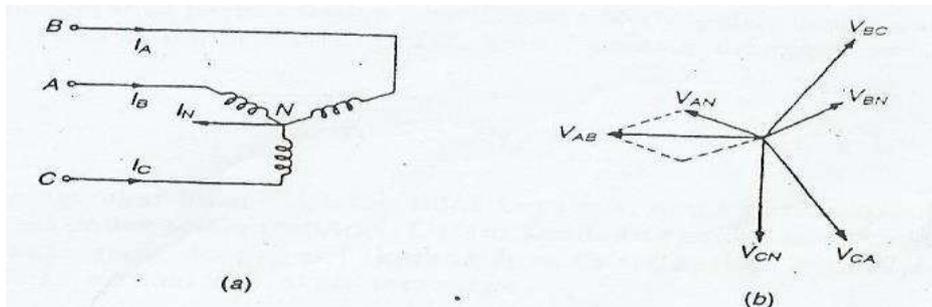
Arus transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan secara bintang  $I_A$ ,  $I_B$ , dan  $I_C$ , masing-masing berbeda fasa 120 derajat. Untuk beban seimbang:

$$I_N = I_A + I_B + I_C = 0 \dots\dots\dots (2.28)$$

$$V_{AB} + V_{AN} + V_{BN} = V_{AN} - V_{BN} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$V_{BC} = V_{BN} - V_{CN} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$V_{CA} = V_{CN} - V_{AN} \dots\dots\dots (2.31)$$

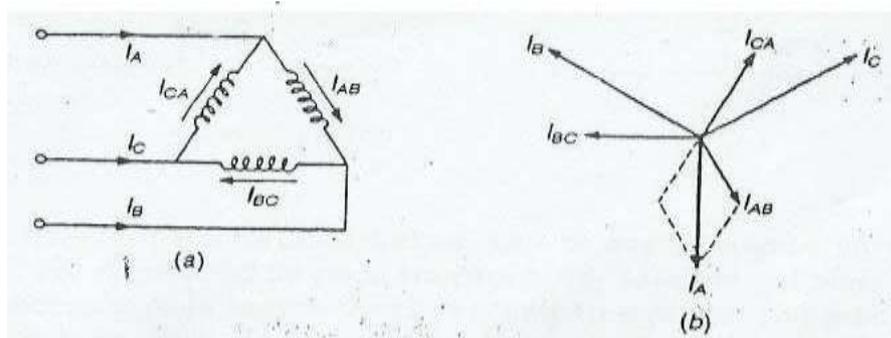


Gambar 2.5 Hubungan Bintang<sup>9</sup>

**2.6.2 Hubungan Delta**

Tegangan transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan secara delta yaitu  $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$ ,  $V_{CA}$ , masing-masing berada fasa 120°.

$$V_{AB} + V_{BC} + V_{CA} = 0 \dots\dots\dots (2.32)$$



Gambar 2.6 Hubungan Delta<sup>9</sup>

Dan untuk beban yang seimbang:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} \dots\dots\dots (2.33)$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB} \dots\dots\dots (2.34)$$

<sup>9</sup> Zuhal, *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung: ITB, 1991. Hal 41-43.



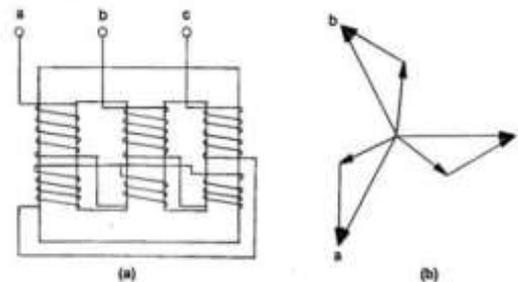
$$I_C = I_{CA} - I_{BC} \dots\dots\dots (2.35)$$

Dari vector diagram Gambar 2.6 diketahui bila arus  $I_A$  (arus jala-jala) adalah  $\sqrt{3} \times I_{AB}$  (arus fasa). Tegangan jala-jala dalam hubungan delta sama dengan tegangan fasanya.

$$V_{A \text{ Hubungan Delta}} = V_P \cdot I_P = 3 \cdot V_L \left( \frac{I_L}{\sqrt{3}} \right) = \sqrt{3} V_L \cdot I_L \dots\dots\dots (2.36)$$

### 2.6.3 Hubungan Zig-zag

Masing masing lilitan tiga fasa pada sisi tegangan rendah dibagi menjadi dua bagian dan masing masing dihubungkan pada kaki yang berbeda. Hubungan silang atau zig-zag digunakan untuk keperluan khusus seperti distribusi dan transformator.



Gambar 2.7 Hubungan Zig-zag<sup>9</sup>

## 2.7 Transformator Daya

Trafo merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC 60076-1:2011). Trafo menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet / fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi<sup>3</sup> (PT. PLN 2014:1). Dalam menyalurkan tenaga listrik transformator bekerja tanpa henti (*continue*) karena pada transmisi dan distribusi selalu beroperasi setiap saat. Oleh karena itu transformator harus dilakukan pemeliharaan sebaik

<sup>9</sup> Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung: ITB, 1991. Hal 45.

<sup>3</sup> PT. PLN Persero. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*, (Jakarta Selatan: PT. PLN, 2014). Hal. 1



ungkinan. Transformator daya memiliki beberapa komponen penting untuk dapat beroperasi, antara lain sebagai berikut:

### 2.7.1 Bagian Utama<sup>3</sup>

#### a. Inti Besi

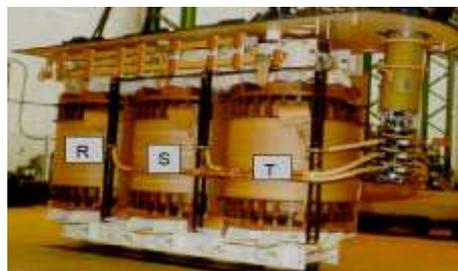
Inti besi digunakan sebagai media mengalirnya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan – lempengan besi tipis berisolasi dengan maksud untuk mengurangi eddy current yang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



Gambar 2.8 Inti Besi<sup>3</sup>

#### b. Belitan

*Current carrying circuit* adalah belitan yang terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak-balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksikan dan menimbulkan fluks magnetik.



Gambar 2.9 Belitan Transformator<sup>3</sup>

<sup>3</sup> PT. PLN Persero. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*, (Jakarta Selatan: PT. PLN, 2014). Hal. 2-3



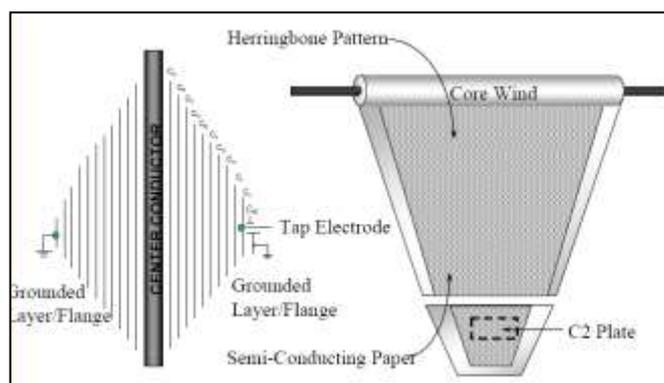
### c. Bushing

*Bushing* merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. *Bushing* terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor *bushing* dengan *body* utama tank transformator.



Gambar 2.10 Bushing

Secara garis besar *bushing* dapat dibagi menjadi empat bagian utama yaitu isolasi, konduktor, klem koneksi, dan asesoris. Isolasi pada *bushing* terdiri dari dua jenis yaitu *Oil impregnated paper* dan *resin impregnated paper*. Pada tipe *Oil impregnated paper* isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan minyak isolasi sedangkan pada tipe *resin impregnated paper* isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan resin.



Gambar 2.11 Kertas Isolasi Pada Bushing<sup>3</sup>

<sup>3</sup> PT. PLN Persero. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*, (Jakarta Selatan: PT. PLN, 2014). Hal. 5



Terdapat jenis-jenis konduktor pada *bushing* yaitu hollow konduktor dimana terdapat besi pengikat atau penegang di tengah lubang konduktor utama, konduktor pejal dan *flexible lead*. Klem koneksi merupakan sarana pengikat antara stud *bushing* dengan konduktor penghantar di luar *bushing*. Asesoris *bushing* terdiri dari indikasi minyak, seal atau gasket dan tap pengujian. Seal atau gasket pada *bushing* terletak dibagian bawah *mounting flange*.

#### ***d. Konservator (Oil Preservation & Expansion)***

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada transformator, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat transformator mengalami kenaikan suhu.



Gambar 2.12 Konservator<sup>3</sup>

Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara di dalam konservator akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi transformator tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar, maka udara yang akan masuk ke dalam konservator akan difilter melalui *silica gel*.

<sup>3</sup> PT. PLN Persero. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, (Jakarta Selatan: PT. PLN, 2014). Hal. 8



Untuk menghindari agar minyak transformator tidak berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini konservator dirancang dengan menggunakan *brether bag/Rubber bag*, yaitu sejenis balon karet yang dipasang di dalam tangki konservator (SPLN:2007).

### 2.7.2 Peralatan Bantu<sup>3</sup>

#### a. Pendingin

Suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, *losses* pada transformator itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan. Minyak isolasi transformator selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip-sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu dengan adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.



Gambar 2.13 Radiator dan Kipas Pendingin

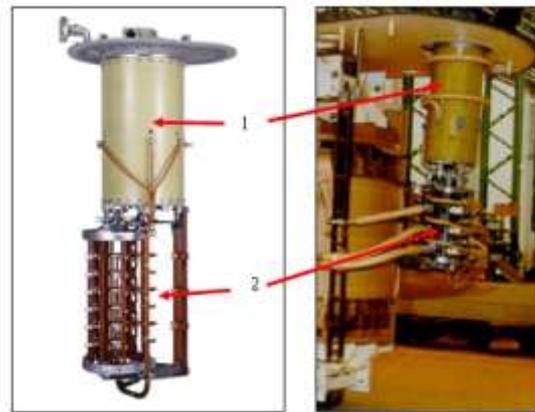
---

<sup>3</sup> PT. PLN Persero. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, (Jakarta Selatan: PT. PLN, 2014). Hal. 7



### ***b. Tap Changer***

*Tap Changer* adalah perubah perbandingan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder sesuai yang diinginkan dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah (PT.PLN Persero : 2014). *Tap changer* dapat dilakukan baik dalam keadaan berbeban (on-load) atau dalam keadaan tak berbeban (off load), dan tergantung jenisnya.



Gambar 2.14 Pengubah Tap<sup>3</sup>

### ***c. Alat Pernapasan***

Karena adanya pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyak akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki, sebaliknya bila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki. Kedua proses di atas disebut pernapasan transformator. Permukaan minyak transformator akan selalu bersinggungan dengan udara luar yang menurunkan nilai tegangan tembus pada minyak transformator, maka untuk mencegah hal tersebut, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi tabung berisi kristal zat hygroscopis.

<sup>3</sup> PT. PLN Persero. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, (Jakarta Selatan: PT. PLN, 2014). Hal. 7



Gambar 2.15 Dehydrating Breather

## 2.8 Transformator Instrumen<sup>2</sup>

Penggunaan instrument, alat ukur atau peralatan kendali langsung ke rangkaian tegangan tinggi. Transformator instrument umumnya digunakan untuk mengurangi tegangan tinggi hingga arus tinggi<sup>2</sup>. Transformator dapat melakukan dua fungsi yaitu, menjadi alat perbandingan (*ratio device*) yang memungkinkan untuk mengukur dan instrumen tegangan rendah dan arus rendah. Kedua menjadi alat pemisah (*insulating device*) untuk melindungi peralatan dan operator dari tegangan tinggi. Ada dua jenis transformator instrument yaitu, transformator tegangan dan transformator arus.

### 2.8.1 Transformator Arus<sup>2</sup>

Transformator arus berfungsi mengurangi arus saluran ke harga-harga yang dapat digunakan untuk mengoperasikan alat ukur arus rendah dan alat kendali yang baku. Dan alat-alat ini benar-benar terisolasi dari rangkaian utama. Karena transformator arus ini digunakan untuk pengukuran arus, maka lilitan primer dirancang secara seri dengan saluran. Oleh karena itu impedansi lilitan primer perlu dibuat serendah mungkin. Hal ini dilakukan dengan menggunakan beberapa lilitan kawat bertahanan rendah yang dapat membawa arus dengan nilai tertentu.

<sup>2</sup> Eugene C. Lister, Mesin Dan Rangkaian Listrik Edisi Keenam. Hal. 180-181



Karena transformator arus biasanya digunakan untuk memperkecil arus, maka jumlah lilitan sekunder lebih banyak dari pada primer. Perbandingan arus primer dan sekunder adalah berbanding terbalik dengan perbandingan jumlah lilitan primer dan sekunder. Transformator arus biasanya dirancang bila pada lilitan primer mengalir arus dengan nilai tertentu, maka pada sekunder akan mengalir arus 5 A yang berarti transformator arus tersebut memiliki perbandingan 30/5 A.



Gambar 2.16 Transformator Arus

### 2.8.2 Transformator Tegangan<sup>2</sup>

Transformator tegangan memberikan tegangan ke alat ukur, instrument atau alat kendali yang mempunyai perbandingan tertentu terhadap transformator tegangan yang memiliki cara kerja yang sama dengan transformator daya. Jika lilitan primer dihubungkan ke saluran, aliran arus akan membangun fluks dalam inti. Fluks yang menghubungkan lilitan sekunder menginduksikan GGL (Gaya Gerak Listrik) yang berbanding lurus dengan perbandingan lilitan primer dan sekunder (C. Lister). Transformator tegangan umumnya dirancang mempunyai nilai tegangan 115V atau 120V pada terminal sekunder jika nilai tegangan tertentu dikenakan pada lilitan primer. Karena besarnya beban yang dicatu oleh transformator tegangan tidak besar, maka nilai volt-ampernya kecil. Nilai yang biasanya digunakan adalah 200,600 dan 1000 VA.

<sup>2</sup> Eugene C. Lister, *Mesin Dan Rangkaian Listrik Edisi Keenam*. Hal. 181.



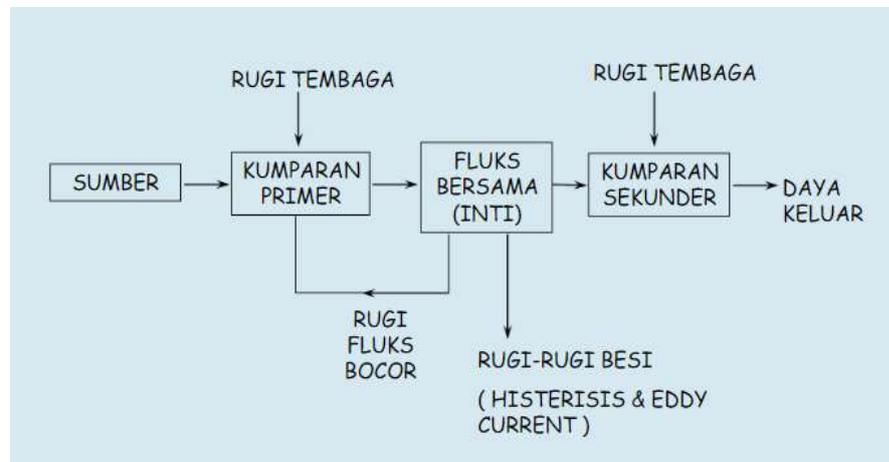
Gambar 2.17 Transformator Tegangan

## 2.9 Rugi-rugi Transformator

Rugi-rugi daya trafo berupa rugi inti atau rugi besi dan rugi tembaga yang terdapat pada kumparan primer maupun sekunder. Untuk mengurangi rugi besi haruslah diambil inti besi yang penampangnya cukup besar agar fluksi magnet mudah mengalir di dalamnya. Untuk memperkecil rugi tembaga, haruslah diambil kawat tembaga yang penampangnya cukup besar untuk mengalirkan arus listrik yang diperlukan. Rugi inti terdiri dari rugi arus eddy dan rugi histeris<sup>4</sup>. Rugi arus eddy timbul akibat adanya arus pusar pada inti yang dapat menghasilkan panas. Adapun arus pusar inti ditentukan oleh tegangan induksi pada inti yang menghasilkan perubahan-perubahan flux magnet. Rugi histeris merupakan rugi tenaga yang disebabkan oleh flux magnet bolak-balik pada inti.

---

<sup>4</sup> Rijono, Yon. 1997. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Jakarta: Andi



Gambar 2.18 Rugi-rugi pada Transformator

### 2.9.1 Rugi-rugi tanpa beban<sup>4</sup>

Rugi-rugi yang terjadi pada transformator tanpa beban membentuk arus  $I_0$  yang terdiri dari:

- Sebagai komponen aktif yaitu  $I(h+e)$  yang sefasa dengan  $V_1$  yang merupakan penjumlahan dari rugi histerisis dan arus eddy yang besarnya adalah:

$$I(h+e) = I_0 \cos \phi \dots \dots \dots (2.37)$$

- Komponen magnetisasi  $I_e$  tertinggal 90° dari  $V_1$  yang besarnya:

$$I_x = I_0 \sin \phi \dots \dots \dots (2.38)$$

Sehingga dari seluruh komponen diatas besarnya nilai  $I_0$  merupakan penjumlahan vector dari  $I(h+e)$  dan  $I_x$

$$I_0 = \sqrt{I(h+e)^2 + I_x^2} \dots \dots \dots (2.39)$$

<sup>4</sup> Rijono, Yon. 1997. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Jakarta: Andi



### 1) *Hysterisis losses* (rugi-rugi histerisis)

Kerugian histerisis disebabkan oleh gesekan molekul yang melawan aliran gaya magnet di dalam inti besi. Gesekan molekul dalam inti besi ini menimbulkan panas. Panas yang timbul ini menunjukkan kerugian energi, karena sebagian kecil energi listrik tidak dipindahkan, tetapi diubah bentuk menjadi energi panas. Panas yang tinggi juga dapat merusak trafo, sehingga pada trafo – trafo transmisi daya listrik ukuran besar, harus didinginkan dengan media pendingin. Umumnya digunakan minyak khusus untuk mendinginkan trafo ini.

Sebuah trafo didesain untuk bekerja pada rentang frekuensi tertentu. Menurunnya frekuensi arus listrik dapat menyebabkan meningkatnya rugi-rugi histerisis dan menurunkan kapasitas (VA) trafo. Rugi histerisis ( $P_h$ ), yaitu rugi yang disebabkan fluks bolak – balik pada inti besi yang dinyatakan sebagai berikut :

$$P_h = k_h f B_{maks} \text{ ( watt ) } \dots\dots\dots(2.40)$$

Dimana:  $k_h$  = konstanta

$B_{maks}$  = Fluks maksimum (weber)

### 2) Kerugian karena Arus Eddy (*eddy current losses*)

Kerugian karena Eddy current disebabkan oleh aliran sirkulasi arus yang menginduksi logam. Ini disebabkan oleh aliran fluks magnetik disekitar inti besi. Karena inti besi trafo terbuat dari konduktor (umumnya besi lunak), maka arus Eddy yang menginduksi inti besi akan semakin besar. Eddy current dapat menyebabkan kerugian daya pada sebuah trafo karena pada saat terjadi induksi arus listrik pada inti besi, maka sejumlah energi listrik akan diubah menjadi panas. Ini merupakan kerugian.

Untuk mengurangi arus Eddy, maka inti besi trafo dibuat berlapis-lapis, tujuannya untuk memecah induksi arus Eddy yang terbentuk di dalam inti besi.



Rugi arus eddy ( $P_e$ ) , yaitu rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi. Dirumuskan sebagai berikut:

$$P_e = k_e f B_{\text{maks}}^2 (Watt) \dots\dots\dots (2.41)$$

Dimana:  $k_e$  = konstanta

$$B_{\text{maks}} = \text{Fluks maksimum ( weber )}$$

Jadi, rugi besi ( rugi inti ) adalah :

$$P_i = P_h + P_e ( Watt ) \dots\dots\dots (2.42)$$

### 2.9.2 Rugi-rugi Dalam Keadaan Berbeban<sup>9</sup>

Rugi-rugi yang terjadi pada transformator berbeban dasarnya selalu berubah-ubah, hal ini tergantung pada arus beban yang mengalir pada tahanan transformator. Sehingga rugi transformator dalam keadaan berbeban merupakan perkalian kuadrat arus dengan tahanan transformator, Yang dikenal sebagai rugi tembaga ( $P_{cu}$ ) (Zuhal 1991), Rugi tembaga kumparan primer dan kumparan sekunder berturut- turut adalah :

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 \dots\dots\dots (2.43)$$

$$P_{cu} = I_2^2 R_2 \dots\dots\dots (2.44)$$

Dengan demikian rugi tembaga total :

$$\begin{aligned} P_{cu} &= P_{cu1} + P_{cu2} \\ &= I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 \dots\dots\dots (2.45) \end{aligned}$$

Karena  $I_2 = a I_1$ , maka persamaan dapat juga ditulis dengan

$$\begin{aligned} P_{cu} &= I_1^2 R_1 + (a I_1)^2 R_2 \\ &= I_1^2 (R_1 + a^2 R_2) \\ &= I_1^2 R_{ek1} \end{aligned}$$

atau dapat ditulis

<sup>9</sup> Zuhal, *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung: ITB, 1991.



$$P_{cu} = I_2^2 R_{ek2} \dots\dots\dots (2.46)$$

Jumlah total rugi-rugi pada transformator adalah :

$$Prugi \text{ total} = P_{cu} + \text{Rugi inti (Pi)} \dots\dots\dots (2.47)$$

Besarnya rugi-rugi tembaga pada setiap perubahan beban dapat ditentukan dengan persamaan :

$$P_{cu} = \left( \frac{\text{Beban yang dioperasikan}}{\text{Nilai pengenalan}} \right)^2 \times \text{rugi tembaga beban penuh} \dots\dots\dots (2.48)$$

## 2.10 Pengubah Tap Berbeban (*On Load Tap Changer*)<sup>3</sup>

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Transformator dituntut memiliki nilai tegangan output yang stabil sedangkan besarnya tegangan input tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan pada sisi sekunder diharapkan dapat mengubah rasio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan output/sekunderpun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input/primernya. Penyesuaian rasio belitan ini disebut Tap changer. Proses perubahan rasio belitan ini dapat dilakukan pada saat transformator sedang berbeban (*On load tap changer*) atau saat transformator tidak berbeban (*Off load tap changer*). *Tap changer* terdiri dari peralatan utama yaitu;

- *Selector Tap* (Pemilih Tap)
- *Diverter Switch* (Saklar Pengalih)
- *Auxiliary Device* (Peralatan Pendukung)

Dikarenakan aktivitas *tap changer* lebih dinamis dibanding dengan belitan utama dan inti besi, maka kompartemen antara belitan utama dengan *tap changer* dipisah. *Selector switch* merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal-terminal untuk menentukan posisi tap atau rasio belitan primer. *Diverter switch* merupakan rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau

<sup>3</sup> PT. PLN Persero. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*, (Jakarta Selatan: PT. PLN, 2014). Hal. 11

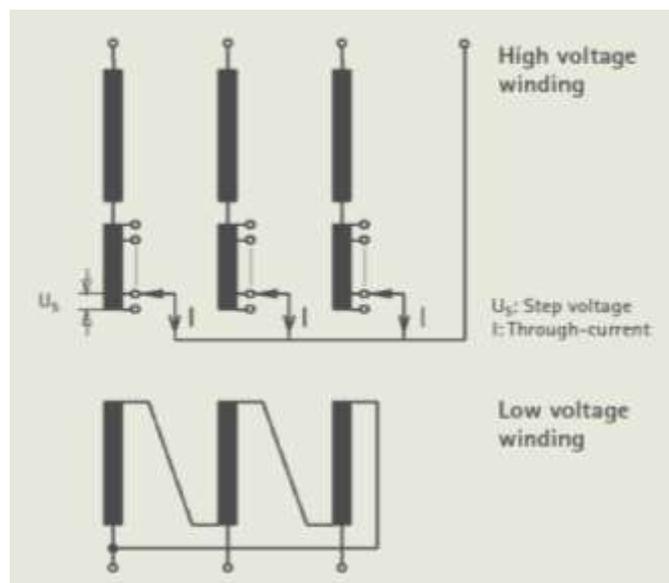


melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi. Tahanan transisi merupakan tahanan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan tap.

Media pendingin atau pemadam proses switching pada diverter switch yang dikenal sampai saat ini terdiri dari dua jenis, yaitu media minyak dan media vacuum. Jenis pemadaman dengan media minyak akan menghasilkan energi arc yang membuat minyak terurai menjadi gas  $C_2H_2$  dan karbon sehingga perlu dilakukan penggantian minyak pada periode tertentu. Sedangkan dengan metode pemadam vacuum proses pemadaman arc pada waktu switching akan dilokalisasi dan tidak merusak minyak (SPLN, 2007).

### 2.10.1 Prinsip Perpindahan Tap<sup>1</sup>

*On Load Tap Changer* mengubah rasio transformator dengan menambahkan atau mengurangi tap (sadapan) baik dari belitan primer ataupun sekunder. Oleh karena itu transformator dilengkapi dengan pengatur atau tap (sadapan) belitan yang terhubung ke OLTC<sup>1</sup>. Gambar 2.18 menunjukkan prinsip susunan pengaturan transformator 3 fasa, dengan OLTC yang terhubung wye-delta di belitan tegangan tinggi.

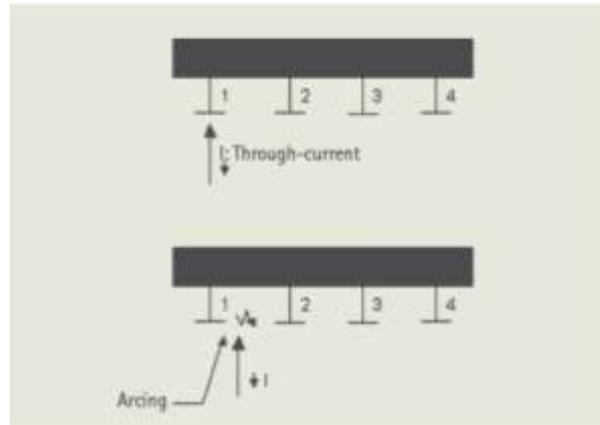


Gambar 2.19 Prinsip Susunan Pengaturan Tegangan Hubungan wye-delta

<sup>1</sup> Dieter Dohnal, *On Load Tap Changers For Power Transformers*, ter. Tiras Ari Sadewo, Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 3

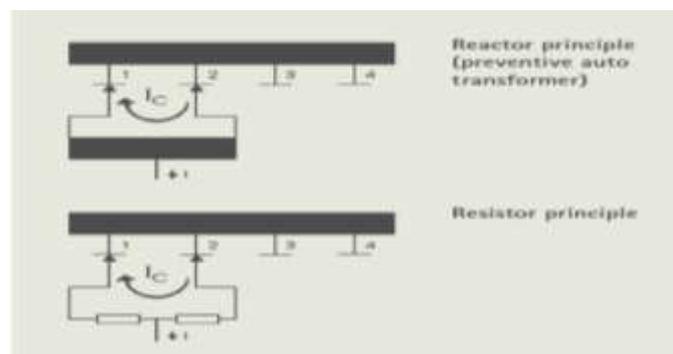


Perubahan sederhana tap saat beraliran tidak dapat diterima karena kehilangan beban sistem sesaat selama operasi peralihan (Gambar. 2.19). "Membuat (2) sebelum pelepasan (1) konsep kontak ", yang ditunjukkan pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Kehilangan Beban Sistem dengan kontak Peralihan<sup>1</sup>

Transisi impedansi dalam bentuk resistor atau reaktor terdiri dari satu atau lebih unit yang menjembatani tap yang berdekatan untuk mentransfer beban dari satu tap ke tap yang lain tanpa gangguan atau cukup merubah arus beban. Pada saat yang sama OLTC membatasi sirkulasi arus ( $I_c$ ) untuk periode ketika kedua tap digunakan. Biasanya, reaktor-jenis OLTC menggunakan posisi menjembatani sebagai posisi layanan dan reaktor, Oleh karena itu dirancang untuk beban/aliran yang terus menerus.



Gambar 2.21 Prinsip Perpindahan Dasar Menggunakan Transisi Impedansi<sup>1</sup>

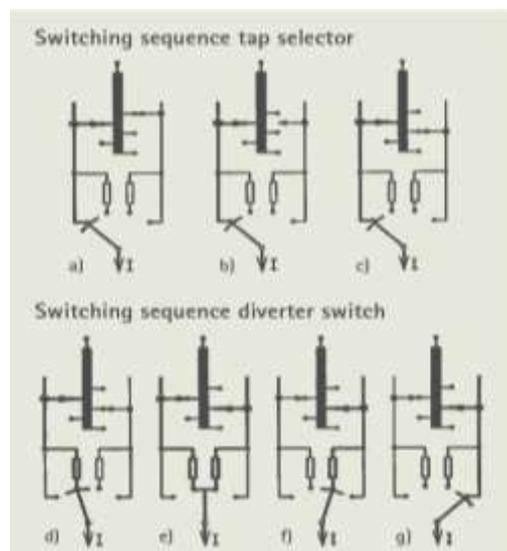
<sup>1</sup> Dieter Dohnal, *On Load Tap Changers For Power Transformers*, ter. Tiras Ari Sadewo, Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 3



Secara desain, prinsip pengubah tap dibedakan menjadi dua yaitu *Selector Switch* dan *Diverter Switch* (Dieter Dohnal 2013).

#### a. *Diverter Switch*

Desain OLTC yang biasanya digunakan untuk rate yang lebih tinggi dan tegangan tinggi terdiri dari saklar pengalir (*diverter switch*) dan pemilih tap (*tap selector*). Jenis operasi perubahan tap ini juga disebut operasi ganjil genap karena, dibagian kiri tap selector merupakan tap 1, 3, 5 dan terus berlanjut sampai batas. dan dibagian kanan tap selector merupakan tap 2, 4, 6 dan seterusnya.



Gambar 2.22 Proses Transisi Tap dengan Cara *Diverter Switch*

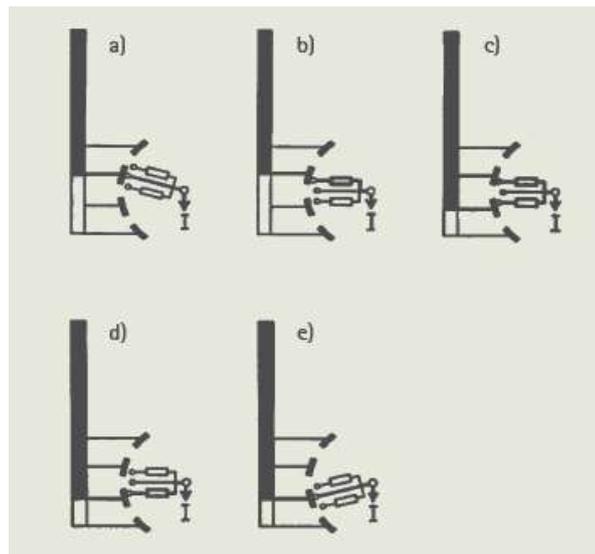
OLTC terdiri dari saklar pengalir (*diverter switch*) dan pemilih tap. Di sini operasi perubahan tap terjadi dalam dua tahap (Gambar 2.22). Tap selanjutnya (*pra-tap*) dipilih oleh Tap Selector dalam keadaan tanpa beban, saat tap sudah terpilih (Gambar 2.22 posisi a – c). *Diverter Switch* akan mentransfer arus melalui tap dalam ke *pra-tap* yang terpilih. (Gambar 2.22 c – g). OLTC dioperasikan dengan penggerak mekanis. Pemilih tap dioperasikan oleh gear yang langsung dari penggerak mekanis. Pada saat yang sama, akumulator energi pegas mengoperasikan *diverter switch* - setelah rilis pada interval waktu yang sangat singkat - secara independen dari penggerak mekanis (Dieter Dohnal 2013). Gear memastikan bahwa operasi pengalir switch ini selalu terjadi setelah operasi praseleksi tap telah



selesai. Waktu perpindahan dari saklar pengalih adalah antara 40 dan 60 ms dengan desain saat ini. selama operasi beralih pengalih, resistor transisi dimasukkan (Gambar 2.22 posisi d - f) yang dimuat selama 20-30 ms.

### ***b. Selector Switch***

Pada prinsip Selector Switch, tahap Transisi pada tap telah ditunjukkan pada Gambar 2.22 dibawah, dimana pada prinsip ini, tahap perubahan tap tidak menggunakan sistem ganjil genap melainkan hanya perpindahan tap secara sederhana yang digerakkan oleh *Selector Switch* dengan memindahkan tap ke tap lainnya yang berderkatan. Penggerak mekanis akan menggerakkan selector switch dengan cepat setelah melepaskan. Pada saat transisi dua resistor sama-sama menyentuh kedua posisi tap, posisi ini disebut transisi impedansi (Dieter Dohnal 2013).



Gambar 2.23 Proses Transisi Tap dengan Cara *Selector Switch*<sup>1</sup>

### **2.10.2 Jenis-jenis Tap Changer**

Dari awal perkembangan *Tap Changer* hingga sekarang. Terdapat jenis-jenis konstruksi *On Load Tap Changer* yang telah digunakan secara umum saat ini, berikut jenis-jenis konstruksi *On Load Tap Changer* yang diproduksi oleh Maschinen-Fabrik Reinhausen<sup>6</sup>:

<sup>1</sup> Dieter Dohnal, *On Load Tap Changers For Power Transformers*, ter. Tiras Ari Sadewo, Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 8

<sup>6</sup> Uwe Seltam, *Design, Function & Operation of On Load Tap Changers*. Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 5-6

**a. On Load Tap Changer Jenis Resistor**



Gambar 2.24 OLTC resistor tipe *Diverter Switch-Tap Selector* dan *Selector Switch*<sup>6</sup>

**b. On Load Tap Changer Jenis Reaktor**



Gambar 2.25 OLTC jenis Reaktor<sup>6</sup>

**c. On Load Tap Changer Jenis Vakum**



Gambar 2.26 OLTC vakum tipe *Diverter Switch-Tap Selector* dan *Switching Selector*<sup>6</sup>

<sup>6</sup>Uwe Seltsam, *Design, Function & Operation of On Load Tap Changers*. Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 5-6



### 2.10.3 Pemilihan Tap Changer<sup>1</sup>

Pemilihan *On Load Tap Changer* tertentu akan memberikan efisiensi teknis dan ekonomis yang optimal jika persyaratan untuk operasi dan pengujian dari semua kondisi belitan transformator yang berhubungan terpenuhi (Dohnal 2013). Secara umum, margin keselamatan yang biasa tidak perlu diamati seperti *OLTC* yang telah dirancang, diuji, dipilih dan dioperasikan sesuai dengan IEEE dan IEC standar yang paling dapat diandalkan.

Untuk memilih *OLTC* yang tepat, data penting dari belitan transformator yang sesuai harus diketahui data-data sebagai berikut:

- Rating MVA
- Koneksi belitan tap (untuk Y / Delta)
- Nilai tegangan dan rentang pengatur
- Jumlah posisi tap
- Tingkat isolasi ke tanah
- Isolasi pengamanan internal

Data operasi *OLTC* berikut dapat berasal dari informasi ini:

- Jenis *OLTC*
- Jumlah kutub
- Tingkat tegangan nominal *OLTC*
- Tap selector / tingkat isolasi
- Diagram hubungan dasar (Y / Delta)

Jika perlu, berikut karakteristik tap-changer yang harus diperiksa:

- Kemampuan *Breaking & Overload*
- Short circuit arus
- Keadaan kontak.

<sup>1</sup> Dieter Dohnal, *On Load Tap Changers For Power Transformers*, ter. Tiras Ari Sadewo, Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 21



#### 2.10.4 Pemeliharaan *Tap Changer*<sup>6</sup>

Transformator daya yang dilengkapi dengan *On Load Tap Changer* adalah komponen utama dari jaringan listrik. Keandalan operasional transformator dan *OLTC* nya itu sangat penting dan harus dijaga pada tingkat tinggi sepanjang jangka pemakaian mereka. Prinsip dari pemeliharaan preventive dan pemeliharaan periodik untuk *OLTC* didasarkan pada waktu operasi, tujuan pemeliharaan ini untuk mempertahankan kualitas kinerja dari *OLTC* itu sendiri dan untuk memperpanjang usia penggunaannya.

Berikut macam-macam langkah pemeliharaan pada *On Load Tap Changer*:

1. Pemeliharaan Preventive (Pencegahan)
  - Pemeriksaan Visual
  - Pemeriksaan Kinerja
  - Pembersihan Komponen Luar
  - Pemeriksaan Keadaan Minyak
  - Pemeriksaan Relay Proteksi pada *Tap Changer*
2. Pemeliharaan Periodik
  - Penggantian Minyak *OLTC*
  - Pengujian Relay Proteksi
  - Pemeriksaan Penggerak Mekanis
3. Pemeliharaan Korektif
  - Penggantian kontak, pegas dan resistor/reaktor jika ada kerusakan
  - Penggantian Relay Proteksi

---

<sup>6</sup> Uwe Seltsam, Design, Function & Operation of On Load Tap Changers. Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 17