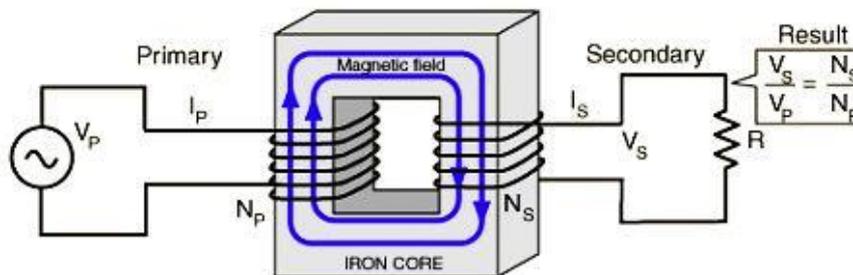


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi.^[3]



Gambar 2.1 Skema Prinsip Transformator^[3]

Landasan fisik transformator adalah induktansi mutual (timbal balik) antara kedua rangkaian yang dihubungkan oleh suatu fluks magnetik bersama yang melewati suatu jalur dengan reluktansi rendah (Gambar. 2.1) Kedua kumparan disambung pada suatu sumber tegangan bolak-balik, suatu fluks bolak-balik terjadi di dalam inti berlaminasi, yang sebagian besar akan terinduksi suatu gaya gerak listrik (ggl) sesuai dengan hukum-hukum induksi elektromagnetik Faraday, yaitu:^[3]

$$e = \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.1)^{[3]}$$

Dengan adanya arus I yang mengalir melalui kumparan primer, pada kumparan primer akan timbul gaya gerak listrik sebesar:

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.2)^{[3]}$$

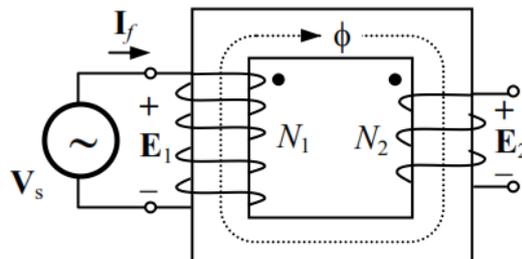
³ Prof. Ir. Abdul Kadir, *Transmisi Tenaga Listrik*, Universitas Indonesia, Jakarta, 1998. Hal 44



2.2 Teori Operasi Transformator

2.2.1 Transformator Tak Berbeban

Jika pada induktor kita tambahkan belitan ke-dua, kita akan memperoleh transformator dua belitan seperti terlihat pada Gambar 2.2. Belitan pertama kita sebut belitan primer dan yang ke-dua kita sebut belitan sekunder.^[8]



Gambar 2.2 Transformator Tak Berbeban^[8]

Jika fluksi di rangkaian magnetiknya adalah $\phi = \Phi_{maks} \sin \omega t$, maka fluksi ini akan menginduksikan tegangan di belitan primer sebesar:^[8]

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} = N_1 \Phi_{maks} \omega \cos \omega t \dots \dots \dots (2.3)^{[8]}$$

Atau dalam bentuk fasor

$$E_1 = E_1 \angle 0^\circ = \frac{N_1 \omega \Phi_{maks}}{\sqrt{2}} \angle 0^\circ; E_1 = \text{nilai efektif} \dots \dots \dots (2.4)^{[8]}$$

Karena $\omega = 2\pi f$ maka

$$E_1 = \frac{2\pi f N_1}{\sqrt{2}} \Phi_{maks} = 4.44 f N_1 \Phi_{maks} \dots \dots \dots (2.5)^{[8]}$$

Di belitan sekunder, fluksi tersebut menginduksikan tegangan sebesar

$$E_2 = 4,44 f N_2 \Phi_{maks} \dots \dots \dots (2.6)^{[8]}$$

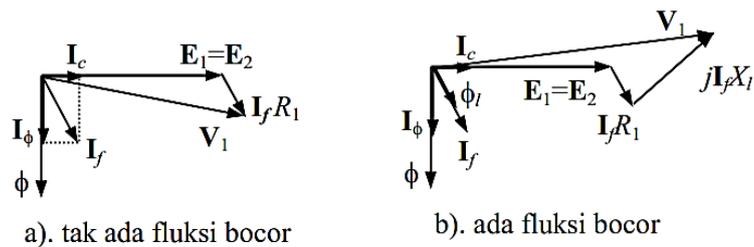
Dari (2.3) dan (2.4) diperoleh

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = a = \text{rasio transformasi} \dots \dots \dots (2.7)^{[8]}$$

Perhatikan bahwa E_1 sefasa dengan E_2 karena dibangkitkan oleh fluksi yang sama. Karena E_1 mendahului ϕ dengan sudut 90° maka E_2 juga mendahului ϕ dengan sudut 90° . Jika rasio transformasi $a = 1$, dan

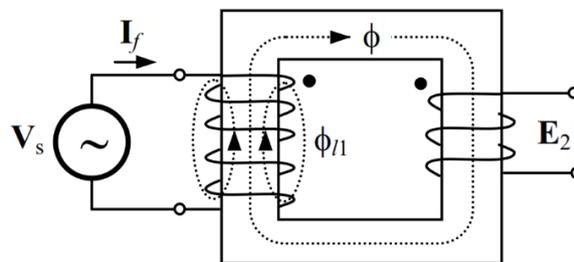
⁸ Dr. Sudaryatno Sudirham, *Transformator*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011. Hal. 2

resistansi belitan primer adalah R_1 , diagram fasor tegangan dan arus adalah seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.3a. Arus I_f adalah arus magnetisasi, yang dapat dipandang sebagai terdiri dari dua komponen yaitu I_ϕ (90° dibelakang E_1) yang menimbulkan Φ dan I_c (sefasa dengan E_1) guna mengatasi rugi inti. Resistansi belitan R_1 dalam diagram fasor ini muncul sebagai tegangan jatuh $I_f R_1$.^[8]



Gambar 2.3 Diagram fasor Transformator tak berbeban^[8]

Fluksi Bocor. Fluksi di belitan primer transformator dibangkitkan oleh arus yang mengalir di belitan primer. Dalam kenyataan, tidak semua fluksi magnet yang dibangkitkan tersebut akan melingkupi baik belitan primer maupun sekunder. Selisih antara fluksi yang dibangkitkan oleh belitan primer dengan fluksi bersama (yaitu fluksi yang melingkupi kedua belitan) disebut fluksi bocor. Fluksi bocor ini hanya melingkupi belitan primer saja dan tidak seluruhnya berada dalam inti transformator tetapi juga melalui udara. (Lihat Gambar 2.4).^[8]



Gambar 2.4 Transformator Tak Berbeban, Fluksi bocor belitan primer^[8]

Oleh karena itu reluktansi yang dihadapi oleh fluksi bocor ini praktis adalah reluktansi udara. Dengan demikian fluksi bocor tidak mengalami

⁸ Dr. Sudaryatno Sudirham, *Transformator*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011. Hal. 3

gejala histerisis sehingga fluksi ini sefasa dengan arus magnetisasi. Hal ini ditunjukkan dalam diagram fasor Gambar 2.3b.^[8]

Fluksi bocor, secara tersendiri akan membangkitkan tegangan induksi di belitan primer (seperti halnya ϕ menginduksikan E_1). Tegangan induksi ini 90° mendahului $\phi_{/1}$ (seperti halnya E_1 90° mendahului ϕ) dan dapat dinyatakan sebagai suatu tegangan jatuh ekuivalen, $E_{/1}$, di rangkaian primer dan dinyatakan sebagai:^[8]

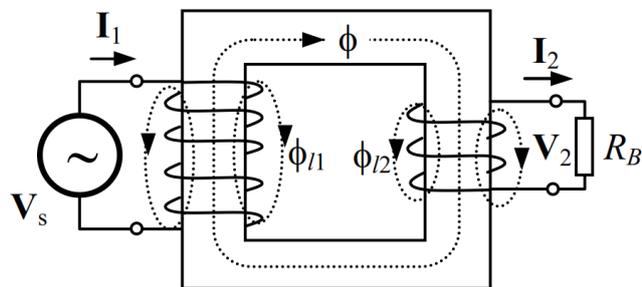
$$E_{/1} = jI_f X_1 \dots \dots \dots (2.8)^{[8]}$$

dengan X_1 disebut reaktansi bocor rangkaian primer. Hubungan tegangan dan arus di rangkaian primer menjadi:

$$V_1 = E_1 + I_1 R_1 + jI_1 X_1 \dots \dots \dots (2.9)^{[8]}$$

2.2.2 Transformator Berbeban

Rangkaian transformator berbeban resistif, R_B , diperlihatkan oleh Gambar 2.5. Tegangan induksi E_2 (yang telah timbul dalam keadaan transformator tidak berbeban) akan menjadi sumber di rangkaian sekunder dan memberikan arus sekunder I_2 . Arus I_2 ini membangkitkan fluksi yang berlawanan arah dengan fluksi bersama Φ dan sebagian akan bocor (kita sebut fluksi bocor sekunder).^[8]



Gambar 2.5 Transformator Berbeban

Fluksi bocor ini, $\phi_{/2}$, sefasa dengan I_2 dan menginduksikan tegangan $E_{/2}$ di belitan sekunder yang 90° mendahului $\phi_{/2}$. Seperti halnya untuk belitan primer, tegangan $E_{/2}$ ini diganti dengan suatu besaran

⁸ Dr. Sudaryatno Sudirham, *Transformator*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011. Hal. 3-4



ekuivalen yaitu tegangan jatuh ekuivalen pada reaktansi bocor sekunder X_2 di rangkaian sekunder. Jika resistansi belitan sekunder adalah R_2 , maka untuk rangkaian sekunder kita peroleh hubungan:^[8]

$$E_2 = V_2 + I_2 R_2 + j I_2 X_2 \dots \dots \dots (2.10)^{[8]}$$

dengan V_2 adalah tegangan pada beban R_B .

Sesuai dengan hukum Lenz, arus sekunder membangkitkan fluksi yang melawan fluksi bersama. Oleh karena itu fluksi bersama akan cenderung mengecil. Hal ini akan menyebabkan tegangan induksi di belitan primer juga cenderung mengecil. Akan tetapi karena belitan primer terhubung ke sumber yang tegangannya tak berubah, maka arus primer akan naik. Jadi arus primer yang dalam keadaan transformator tidak berbeban hanyalah arus magnetisasi I_f , bertambah menjadi I_1 setelah transformator berbeban. Pertambahan arus ini haruslah sedemikian rupa sehingga fluksi bersama ϕ dipertahankan dan E_1 juga tetap seperti semula.

2.3 Transformator Ideal

Dalam sebuah transformator daya kumparan ditempatkan pada sebuah inti besi yang membatasi jalur fluks sehingga hampir seluruh fluks yang menggandeng salah satu kumparan menggandeng pula seluruh kumparan lainnya. Beberapa kumparan dapat dihubungkan seri atau parallel untuk membentuk suatu gulungan, yang kumparannya dapat ditumpuk (stacked) pada teras dengan diselang-seling oleh kumparan-kumparan dari gulungan atau gulungan lainnya.^[7]

Dapat kita lihat dari hubungan gulungan dalam Gambar 2.5 bahwa tegangan e_1 dan e_2 yang diimbaskan oleh fluks yang berubah-ubah adalah sefasa jika keduanya didefinisikan dengan tanda-tanda polaritas + dan - seperti yang ditunjukkan. Kemudian dari hukum Faraday didapatkan:^[7]

$$v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \dots \dots \dots (2.11)^{[7]}$$

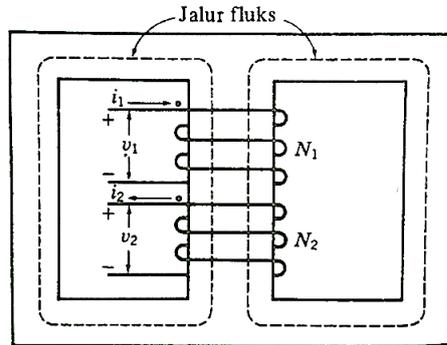
⁸ Dr. Sudaryatno Sudirham, *Transformator*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011. Hal. 4-5

⁷ Prof. William D. Stevenson Jr. *Element of Power System Analysis 4th Edition*. ter. Ir. Kamal Idris. McGraw-Hill, Inc. 1983. Hal 132-133



dan

$$v_2 = e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.12)^{[7]}$$



Gambar 2.6 Transformator Dua Gulungan^[6]

Dimana ϕ adalah nilai sesaat (instantaneous) dari fluks dan N_1 dan N_2 adalah jumlah lilitan pada gulungan 1 dan 2. Karena telah memisalkan perubahan fluks menurut bentuk sinusoida, selanjutnya dapat beralih ke bentuk fasor sesudah membagi persamaan (2.11) dengan persamaan (2.12) yang menghasilkan:^[7]

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(2.13)^{[7]}$$

Biasanya kita tidak tahu arah gulungan kumparan transformator. Suatu cara untuk memberikan keterangan tentang gulungan ialah dengan menempatkan sebuah titik pada setiap gulungan sedemikian sehingga semua ujung-ujung gulungan yang bertitik adalah positif pada waktu yang sama; yang berarti bahwa jatuh tegangan dari ujung yang ditandai titik ke ujung yang tanpa titik dari masing-masing gulungan menghasilkan suatu mmf (magnetomotive force) dengan arah yang sama di dalam rangkaian magnetis.^[7]

Untuk mendapatkan hubungan antara arus I_1 dan I_2 dalam gulungan kita gunakan hukum Ampere yang menyatakan bahwa mmf di sekeliling jalur tertutup adalah:

$$\oint H \cdot ds = I \dots\dots\dots(2.14)^{[7]}$$

⁷ Prof. William D. Stevenson Jr. *Element of Power System Analysis 4th Edition*. ter. Ir. Kamal Idris. McGraw-Hill, Inc. 1983. Hal 133



Dimana I adalah arus yang terliput oleh integral garis dari kuat medan H di sekeliling jalur. Dalam menerapkan hukum tersebut di sekeliling masing-masing jalur fluks tertutup yang diperlihatkan oleh garis terputus-putus dalam Gambar 2.5 I_1 diliput N_1 kali arus I_2 diliput N_2 kali. Tetapi, $N_1 I_1$ dan $N_2 I_2$ menghasilkan mmf yang berlawanan arahnya dan:

$$\oint H \cdot ds = N_1 I_1 - N_2 I_2 \dots \dots \dots (2.15)^{[7]}$$

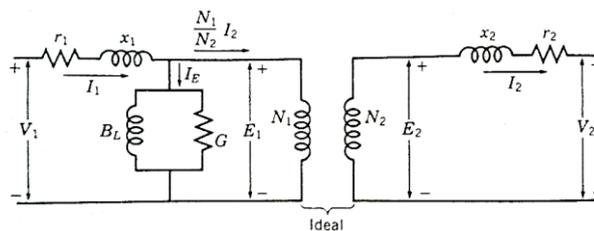
Tanda minus akan berubah menjadi plus jika kita telah memilih arah yang berlawanan untuk I_2 . Integral kuat medan H di sekeliling jalur tertutup adalah nol jika permeabilitas tak terhingga. Jadi setelah beralih ke bentuk fasor kita dapatkan:

$$N_1 I_1 - N_2 I_2 = 0 \dots \dots \dots (2.16)^{[7]}$$

Jadi,

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \dots \dots \dots (2.17)^{[7]}$$

2.4 Rangkaian Ekuivalen Transformator



Gambar 2.7 Rangkaian ekuivalen transformator^[7]

Pada transformator dua gulungan, sejumlah fluks yang menggandeng gulungan primer tidak menggandeng sekundernya. Besarnya fluks ini sebanding dengan arus primer dan menyebabkan jatuh tegangan yang dapat diperhitungkan dengan menempatkan suatu reaktansi induktif x_1 , yang dinamakan reaktansi bocor (leakage reactance), dalam hubungan seri dengan gulungan primer transformator ideal. Reaktansi bocor x_2 yang serupa harus pula ditambahkan pada gulungan sekunder untuk memperhitungkan tegangan yang disebabkan oleh fluks yang menggandeng gulungan sekunder tetapi tidak menggandeng primernya.^[7]

⁷ Prof. William D. Stevenson Jr. *Element of Power System Analysis 4th Edition*. ter. Ir. Kamal Idris. McGraw-Hill, Inc. 1983. Hal 134



Jika selanjutnya kita perhitungkan juga tahanan r_1 dan r_2 dari gulungan-gulungan, maka kita dapatkan model transformator seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.7. Di dalam model ini transformator ideal merupakan suatu rantai penghubung antara parameter-parameter rangkaian r_1, x_1, G , dan B_L yang ditambahkan pada sisi primer transformator dan r_2 dan x_2 yang ditambahkan pada sisi sekunder.^[7]

2.5 Impedansi Transformator

Maksud dari impedansi listrik dapat dimengerti dengan mensubstitusikan ke hukum Ohm sebagai berikut:

$$V = I \times Z \dots \dots \dots (2.18)^{[9]}$$

Magnitudo impedansi $|Z|$ berperan seperti resistansi (pada resistor murni $Z = R$), memberikan penurunan tegangan saat diberikan arus.

Karena impedansi memperluas hukum Ohm dengan mencakup rangkaian AC, pada rangkaian DC dapat juga mengganti resistansi dengan impedansi.^[8]

Kemudian, Impedansi pu pada transformator adalah sama pada sisi primer maupun sekunder, padahal tidaklah demikian bilamana mempergunakan nilai-nilai absolut. Suatu contoh misalkan impedansi sebuah transformator pada sisi primer adalah Z_p dan pada sisi sekunder Z_s maka:^[3]

$$\overline{Z}_p = \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 \cdot \overline{Z}_s \dots \dots \dots (2.19)^{[3]}$$

atau:

$$\overline{Z}_p = (a)^2 \cdot \overline{Z}_s \dots \dots \dots (2.20)^{[3]}$$

⁷ Prof. William D. Stevenson Jr. *Element of Power System Analysis 4th Edition*. ter. Ir. Kamal Idris. McGraw-Hill, Inc. 1983. Hal 136

⁹ Wikipedia. *Electrical Impedance*. (https://en.wikipedia.org/?title=Electrical_impedance , diakses tanggal 9 April 2015)

³ Prof. Ir. Abdul Kadir, *Transmisi Tenaga Listrik*, Universitas Indonesia, Jakarta, 1998. Hal 15



2.6 Transformator Tiga Fasa

Transformator tiga fasa mempunyai inti dengan tiga kaki dan setiap kaki mendukung belitan primer dan sekunder. Untuk penyaluran daya yang sama, penggunaan satu unit transformator tiga fasa akan lebih ringan, lebih murah dan lebih efisien dibandingkan dengan tiga unit transformator satu fasa. Namun penggunaan tiga unit transformator satu fasa juga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan satu unit transformator tiga fasa.^[8]

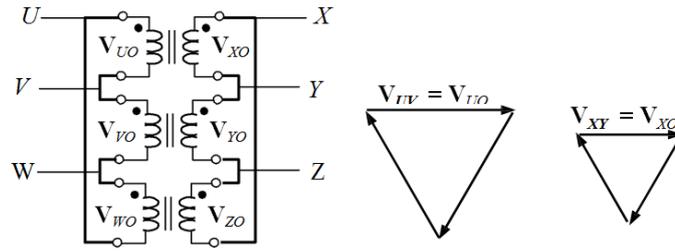
Misalnya biaya awal yang lebih rendah, jika untuk sementara beban dapat dilayani dengan dua unit saja dan unit ketiga ditambahkan jika penambahan beban telah terjadi. Terjadinya kerusakan pada salah satu unit tidak mengharuskan pemutusan seluruh penyaluran daya. Pemilihan cara mana yang lebih baik, tergantung dari berbagai pertimbangan keadaan-khusus. Pada dasarnya kedua cara adalah sama. Berikut ini kita akan melihat hubungan primer-sekunder transformator, dengan melihat pelayanan sistem tiga fasa melalui tiga unit transformator satu fasa.^[8]

2.6.1 Hubungan Delta-Delta

Hubungan $\Delta - \Delta$. Pada waktu menghubungkan tiga transformator satu fasa untuk melayani sistem tiga fasa, hubungan sekunder harus diperhatikan agar sistem tetap seimbang. Fasa primer disebut dengan fasa U-V-W sedangkan fasa sekunder disebut fasa X-Y-Z. Fasor tegangan fasa primer kita sebut V_{UO}, V_{VO}, V_{WO} dengan nilai V_{FP} , dan tegangan fasa sekunder kita sebut V_{XO}, V_{YO}, V_{ZO} dengan nilai V_{FS} . Nilai tegangan saluran (tegangan fasa-fasa) primer dan sekunder kita sebut V_{LP} dan V_{LS} . Nilai arus saluran primer dan sekunder masing-masing kita sebut I_{LP} dan I_{LS} sedang nilai arus fasanya I_{FP} dan I_{FS}. Rasio tegangan fasa primer terhadap sekunder $V_{FP}/V_{FS} = a$. Dengan mengabaikan rugi-rugi hubungan $\Delta - \Delta$ kita peroleh:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{FP}}{V_{FS}} = a ; \frac{I_{LP}}{I_{LS}} = \frac{I_{FP}\sqrt{3}}{I_{FS}\sqrt{3}} = \frac{1}{a} \dots\dots\dots(2.21)^{[8]}$$

⁸ Dr. Sudaryatno Sudirham, *Transformator*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011. Hal. 16



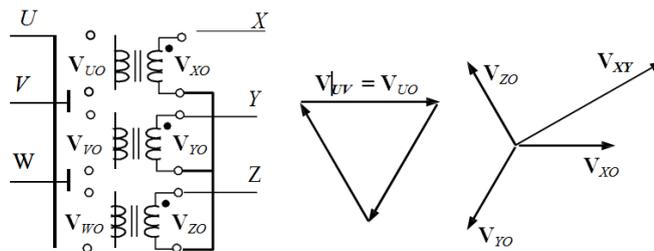
Gambar 2.8 Hubungan $\Delta - \Delta$ ^[8]

2.6.2 Hubungan Delta-Y

$\Delta - Y$. Tegangan fasa-fasa primer sama dengan tegangan fasa primer, sedangkan tegangan fasa-fasa sekunder sama dengan $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa sekunder dengan perbedaan sudut fasa 30° . Dengan mengabaikan rugi-rugi kita peroleh:^[8]

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{FP}}{V_{FS}\sqrt{3}} = \frac{a}{\sqrt{3}} ; \frac{I_{LP}}{I_{LS}} = \frac{I_{FP}\sqrt{3}}{I_{FS}} = \frac{\sqrt{3}}{a} \dots\dots\dots(2.22)^{[8]}$$

Fasor tegangan fasa-fasa sekunder mendahului primer 30° .



Gambar 2.9 Hubungan $\Delta - Y$ ^[8]

2.6.3 Hubungan Y-Y

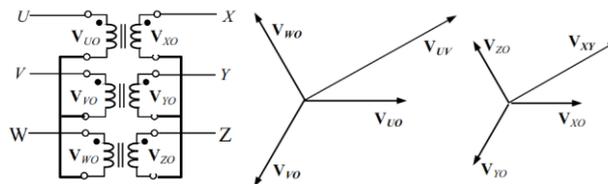
Hubungan $Y - Y$. Tegangan fasa-fasa primer sama dengan $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa primer dengan perbedaan sudut fasa 30° , tegangan fasa-fasa sekunder sama dengan $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa sekunder dengan perbedaan sudut fasa 30° . Perbandingan tegangan fasa-fasa primer dan sekunder adalah:^[8]

⁸ Dr. Sudaryatno Sudirham, *Transformator*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011. Hal. 17



$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{FP}\sqrt{3}}{V_{FS}\sqrt{3}} = a ; \frac{I_{LP}}{I_{LS}} = \frac{I_{FP}}{I_{FS}} = \frac{1}{a} \dots\dots\dots(2.23)^{[8]}$$

Antara fasor tegangan fasa-fasa primer dan sekunder tidak terdapat perbedaan sudut fasa.



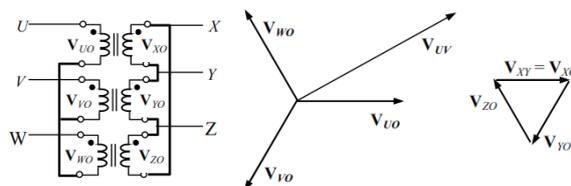
Gambar 2.10 Hubungan Y – Y^[8]

2.6.4 Hubungan Y-Delta

Hubungan Y – Δ. Tegangan fasa-fasa primer sama dengan √3 kali tegangan fasa primer dengan perbedaan sudut fasa 30°, sedangkan tegangan fasa-fasa sekunder sama dengan tegangan fasa sekunder. Dengan mengabaikan rugi-rugi diperoleh:^[8]

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{FP}\sqrt{3}}{V_{FS}} = a\sqrt{3} ; \frac{I_{LP}}{I_{LS}} = \frac{I_{FP}}{I_{FS}\sqrt{3}} = \frac{1}{a\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2.24)^{[8]}$$

Fasor tegangan fasa-fasa primer mendahului sekunder 30°.^[8]



Gambar 2.11 Hubungan Y – Δ^[8]

2.7 Kuantitas Per Unit

Saluran transmisi tenaga dioperasikan pada tingkat tegangan dimana kilovolt merupakan unit yang sangat memudahkan untuk menyatakan tegangan. Karena besarnya daya yang harus disalurkan, kilowatt atau megawatt dan kilovoltampere atau megavoltampere adalah istilah-istilah yang sudah biasa

⁸ Dr. Sudaryatno Sudirham, *Transformator*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011. Hal. 18



dipakai. Tetapi, kuantitas-kuantitas tersebut diatas bersama-sama dengan ampere dan ohm sering juga dinyatakan sebagai suatu persentase atau per unit dari suatu nilai dasar atau referensi yang ditentukan untuk masing-masing (spesifik).^[7]

Misalnya jika sebagai tegangan dasar dipilih 20 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. 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.^[7]

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.^[7]

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

⁷ Prof. William D. Stevenson Jr. *Element of Power System Analysis 4th Edition*. ter. Ir. Kamal Idris. McGraw-Hill, Inc. 1983. Hal 29



$$\text{Arus dasar, } A = \frac{\text{dasar } kVA_{1\phi}}{\text{tegangan dasar, } kV_{LN}} \dots\dots\dots(2.25)^{[7]}$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{\text{tegangan dasar, } V_{LN}}{\text{arus dasar, } A} \dots\dots\dots(2.26)^{[7]}$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LN})^2 \times 1000}{\text{arus dasar, } kVA_{1\phi}} \dots\dots\dots(2.27)^{[7]}$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LN})^2}{\text{dasar, } MVA_{1\phi}} \dots\dots\dots(2.28)^{[7]}$$

$$\text{Impedansi per unit} = \frac{\text{impedansi sebenarnya, } \Omega}{\text{impedansi dasar, } \Omega} \dots\dots\dots(2.29)^{[7]}$$

Dalam persamaan-persamaan diatas, subkrip 1ϕ 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.^[7]

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

⁷ Prof. William D. Stevenson Jr. *Element of Power System Analysis 4th Edition*. ter. Ir. Kamal Idris. McGraw-Hill, Inc. 1983. Hal 30



pada titik yang sama dengan tegangan antar saluran sebagai dasar jika sistemnya seimbang.^[7]

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.^[7]

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.^[7]

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:^[7]

$$\text{Arus dasar, } A = \frac{kVA_{3\phi} \text{ dasar}}{\sqrt{3} \times \text{tegangan dasar, } kV_{LL}} \dots\dots\dots(2.30)^{[6]}$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{\left(\text{tegangan dasar, } \frac{kV_{LL}}{\sqrt{3}}\right)^2 \times 1000}{kVA_{3\phi} / 3 \text{ dasar}} \dots\dots\dots(2.31)^{[6]}$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LL})^2 \times 1000}{kVA_{3\phi} \text{ dasar}} \dots\dots\dots(2.32)^{[6]}$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LL})^2}{MVA_{3\phi} \text{ dasar}} \dots\dots\dots(2.33)^{[6]}$$

⁶ Prof. William D. Stevenson Jr. *Element of Power System Analysis 4th Edition*. ter. Ir. Kamal Idris. McGraw-Hill, Inc. 1983. Hal 30



2.8 Transformator Daya



Gambar 2.12 Transformator Daya

Transformator daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.^[4]

Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bisa terus menerus tanpa berhenti). Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin. Oleh karena itu transformator harus dipelihara dengan menggunakan sistem dan peralatan yang benar, baik dan tepat. Untuk itu regu pemeliharaan harus mengetahui bagian-bagian transformator dan bagian-bagian mana yang perlu diawasi melebihi bagian yang lainnya.^[4]

Titik netral transformator ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan / proteksi, sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan rendah atau tahanan tinggi atau langsung di sisi netral 20 kV nya.^[4]

Berikut dibawah ini bagian-bagian pada Transformator Daya:

⁴ PT.PLN (Persero) P3B, *Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga Edisi 01*, BOPS PLN Jawa-Bali, Semarang, 2003. Hal 16

2.8.1 Bagian Utama

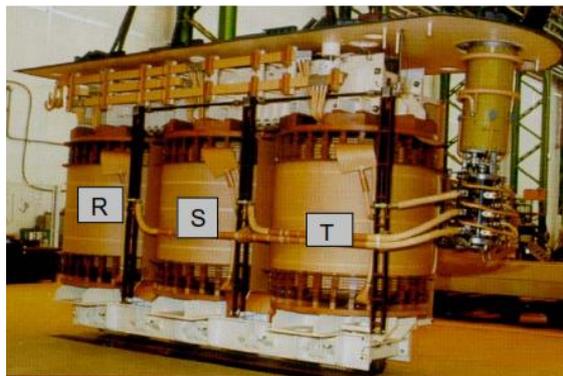
a. Inti Besi



Gambar 2.13 Inti Besi berlaminasi pada Transformator Daya^[4]

Berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh Eddy Current.^[4]

b. Kumparan Transformator



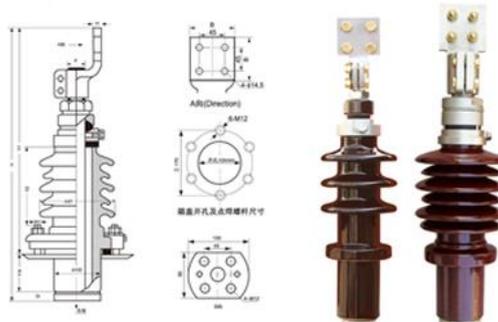
Gambar 2.14 Kumparan Transformator^[4]

Kumparan Transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. 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.^[4]

⁴ PT.PLN (Persero) P3B, *Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga Edisi 01*, BOPS PLN Jawa-Bali, Semarang, 2003. Hal 18



c. Bushing



Gambar 2.15 Buhing Transformator^[4]

Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo.^[4]

d. Minyak Transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti trafo tenaga direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah, sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.^[4]

e. Tangki Konservator



Gambar 2.16 Tangki Konservator^[3]

⁴ PT.PLN (Persero) P3B, *Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga Edisi 01*, BOPS PLN Jawa-Bali, Semarang, 2003. Hal 18



Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo berada (ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuaiian minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator.^[4]

2.8.2 Peralatan Bantu

a. Pendingin



Gambar 2.17 Pendingin Transformator^[4]

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi (di dalam transformator). Maka untuk mengurangi kenaikan suhu transformator yang berlebihan maka perlu dilengkapi dengan alat/ sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator.^[4]

b. Pengubah Tap



Gambar 2.18 Pengubah Tap^[4]

⁴ PT.PLN (Persero) P3B, *Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga Edisi 01*, BOPS PLN Jawa-Bali, Semarang, 2003. Hal 24



Pengubah Tap adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (diinginkan) dari tegangan jaringan / primer yang berubah-ubah.^[4]

c. *Dehydrating Breather*



Gambar 2.19 Dehydrating Breather^[4]

Karena pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyak pun akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari tangki, sebaliknya apabila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki. Kedua proses di atas disebut pernapasan transformator.^[4]

Akibat pernapasan transformator tersebut maka permukaan minyak akan selalu bersinggungan dengan udara luar. Udara luar yang lembab akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator, maka untuk mencegah hal tersebut, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernapasan, berupa tabung berisi kristal zat hygroskopis.^[4]

d. Indikator-Indikator

Untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator pada transformator sebagai berikut:^[4]

- Indikator suhu dan permukaan minyak
- Indikator sistem pendingin

⁴ PT.PLN (Persero) P3B, *Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga Edisi 01*, BOPS PLN Jawa-Bali, Semarang, 2003. Hal 30



- Indikator kedudukan tap
- Dsb

2.9 Transformator Instrumen

Transformator Instrumen adalah trafo yang dipergunakan bersama dengan peralatan lain seperti: relai proteksi, alat ukur atau rangkaian control. Yang termasuk trafo instrumen adalah Transformator Arus (*current transformer*) dan Transformator Tegangan (*potential transformer*). Berikut kegunaannya, yaitu:^[5]

- a. Mengisolasi rangkaian meter dari sisi primer yang dipasok dengan tegangan tinggi dan arus besar.
- b. Menyediakan kemungkinan standar arus atau tegangan yang dipergunakan untuk pengukuran atau proteksi.^[5]

2.9.1 Transformator Arus

Transformator Arus / Current Transformer (CT) adalah suatu peralatan listrik yang dapat memperkecil arus besar menjadi arus kecil yang dipergunakan dalam rangkaian arus bolak-balik.^[5]

Fungsi CT adalah untuk memperoleh arus yang sebanding dengan arus yang hendak diukur dan untuk memisahkan sirkuit dari system yang arusnya hendak diukur (yang selanjutnya disebut sirkuit primer) terhadap sirkuit dimana instrument tersambung (yang selanjutnya disebut sirkuit sekunder). Berbeda dari transformator tenaga yang arusnya tergantung beban disisi sekunder, tetapi pada trafo arus seperti halnya Ampere meter yang disisipkan ke dalam sirkuit primer, arusnya tidak tergantung beban disisi sekunder, melainkan semata-mata tergantung pada arus disisi primernya.^[5]

Perbandingan antara belitan primer dan sekunder pada trafo arus dapat dijelaskan menurut persamaan:

⁵ Wahyudi Sarimun N., *Pemilihan CT & PT Untuk Peningkatan Kinerja Proteksi dan Pengukuran*. PT.PLN (Persero) Pusat Pendidikan & Pelatihan. Makassar. 2008. Hal 2



$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(2.34)^{[5]}$$

Persamaan diatas adalah untuk trafo arus ideal dimana tegangan sekunder = nol dan arus magnetizing diabaikan.^[5]



Gambar 2.20 Transformator Arus

Pada Transformator Arus dikenal istilah *Burden*, yaitu beban yang dihubungkan ke sekunder, dimana trafo arus dengan batasannya dapat menampung beban pada sisi sekunder. Beban ini dinyatakan dalam ohm impedansi atau VA. Misal bur- den impedansi 0,5 ohm dapat di ekspresikan juga pada 12,5 VA dengan arus 5 A.^[5]

Sebagai pengaman pada CT, khususnya di klas proteksi perlu membatasi arus yang besar yang masuk ke CT, sesuai standar IEC untuk membatasi arus bolak- baik yang simetris adalah 5P atau 10P.^[5]

Pada karakteristik utama dari CT untuk proteksi adalah akurasi rendah (kesalahan lebih besar diijinkan bila dibandingkan untuk pengukuran) dan kejenuhan tegangan (saturation voltage), tinggi. Pada kejenuhan tegangan dikatakan sebagai Accuracy Limit Factor (ALF). Dimana kenaikan arus dari arus primer pengenal, dapat dipenuhi accuracy/ketelitian pengenal pada burden pengenal yang dihubungkannya., ini dikatakan sebagai nilai minimum. Dapat juga dikatakan perbandingan

⁵ Wahyudi Sarimun N., *Pemilihan CT & PT Untuk Peningkatan Kinerja Proteksi dan Pengukuran*. PT.PLN (Persero) Pusat Pendidikan & Pelatihan. Makassar. 2008. Hal 2 & 5



antara kejenuhan tegangan dan tegangan pada arus pengenalan dan burden sisi sekunder.^[5]

2.9.2 Transformator Tegangan

Transformator tegangan / potensial transformers adalah suatu peralatan listrik yang dapat memperkecil tegangan tinggi menjadi tegangan rendah, yang dipergunakan dalam rangkaian arus bolak-balik.^[5]



Gambar 2.21 Transformator Tegangan^[5]

Fungsi trafo tegangan adalah untuk memperoleh tegangan yang sebanding dengan tegangan yang hendak dipergunakan dan untuk memisahkan sirkuit dari sistem dengan tegangan tinggi (yang selanjutnya disebut sirkuit primer) terhadap sirkuit dimana alat ukur (instrumen) tersambung (yang selanjutnya disebut sirkuit sekunder). Beda dengan transformator tenaga yang dibutuhkan adalah tegangan dan daya keluarannya tetapi pada trafo tegangan yang dibutuhkan adalah tingkat ketelitiannya dan penurunan tegangannya yang disesuaikan dengan alat ukur.^[5]

Perbandingan antara belitan primer dan belitan sekunder tanpa beban adalah:

⁵ Wahyudi Sarimun N., *Pemilihan CT & PT Untuk Peningkatan Kinerja Proteksi dan Pengukuran*. PT.PLN (Persero) Pusat Pendidikan & Pelatihan. Makassar. 2008. Hal 5



$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(2.35)^{[5]}$$

Persamaan diatas adalah untuk trafo tegangan (potensial transformers) ideal tanpa beban, arus beban = nol dan arus magnetizing diabaikan.

2.10 Pengubah Tap Berbeban (*On Load Tap Changer*)

Pengubah Tap Berbeban / *On Load Tap Changer (OLTC)* sangat diperlukan dalam mengatur rasio transformator daya yang digunakan dalam jaringan energi listrik dan aplikasi industrial. Transformator daya yang dilengkapi dengan *On Load Tap Changer (OLTC)* telah menjadi komponen utama jaringan listrik dan aplikasi industrial selama hampir 90 tahun. *OLTC* memungkinkan pengaturan tegangan atau proses pergeseran dengan memvariasikan rasio transformator berbeban tanpa interupsi.^[2]

Dari awal perkembangan tap changer, ada dua jenis prinsip yang secara umum telah digunakan sebagai komponen dalam penyaluran beban yaitu, *OLTC* jenis resistor dan *OLTC* jenis reaktor. Selama beberapa dekade, kedua prinsip tersebut telah berkembang menjadi komponen transformator terpercaya yang tersedia dalam berbagai aplikasi arus dan tegangan. Komponen ini mencakup kebutuhan jaringan dan proses industrial saat ini guna memastikan pengendalian proses dan sistem yang optimal. Mayoritas *OLTC* jenis resistor dipasang di dalam tangki transformator (*in tank OLTC*) sedangkan *OLTC* jenis reaktor berada di tempat terpisah yang umumnya dilas ke tangki transformator.^[2]

Pada umumnya *On Load Tap Changer* mempunyai peralatan mekanisme utama yang terdiri dari:^[2]

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

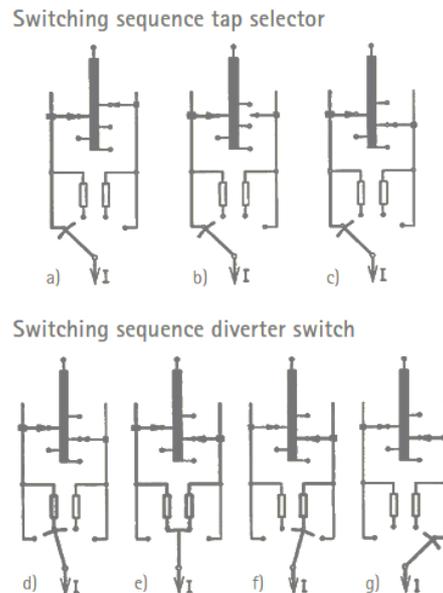
⁵ Wahyudi Sarimun N., *Pemilihan CT & PT Untuk Peningkatan Kinerja Proteksi dan Pengukuran*. PT.PLN (Persero) Pusat Pendidikan & Pelatihan. Makassar. 2008. Hal 5

² DR. Dieter Dohnal, *On Load Tap Changers For Power Transformers*, ter. Randy Eko Saputro, Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 2



2.10.1 Prinsip *Switching On-Load Tap Changer*

a. Prinsip Diverter-Switch & Tap Selector



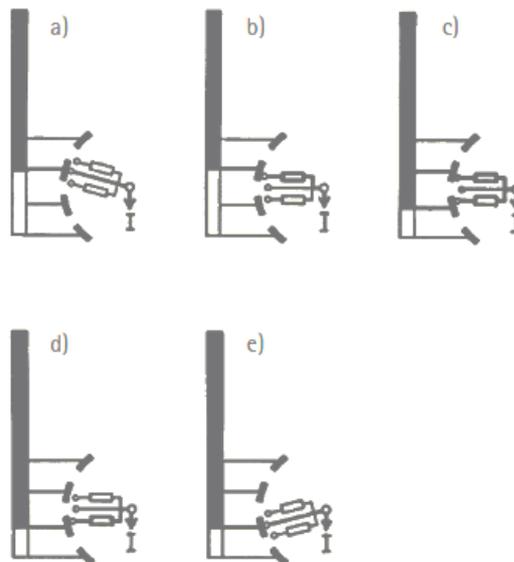
Gambar 2.22 Tahap transisi pada *tap selector* dan *diverter switch*^[2]

Prinsip ini dikenal dengan sistem ganjil genap, dimana Tap selector bekerja secara bergantian dengan Diverter Switch, pada pengoperasian perubahan tap, terjadi dalam dua langkah (lihat Gambar. 2.22 diatas). Tap pertama-tama telah terpilih oleh tap selector pada keadaan tanpa beban (Gambar 2.22 c). Diverter Switch kemudian menyalurkan beban dari tap yang sedang beroperasi ke tap lainnya (Gambar 2.22 d - g). *OLTC* dioperasikan dengan penggerak mekanis. Tap selector dioperasikan oleh gearing (roda gir) langsung dari penggerak mekanis. Pada saat yang sama, akumulator energi pegas memberi tekanan yang kemudian mengoperasikan diverter switch secara sendirinya dari gerakan penggerak mekanis. Roda gear memastikan bahwa operasi dari diverter switch ini selalu terjadi setelah operasi tap selector telah selesai.^[2]

² DR. Dieter Dohnal, *On Load Tap Changers For Power Transformers*, ter. Randy Eko Saputro, Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 8

b. Selector Switch

Pada prinsip Selector Switch, tahap Transisi pada tap telah ditunjukkan pada Gambar 2.23 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. Pada saat transisi, selalu terjadi dimana dua resistor sama-sama menyentuh kedua posisi tap, posisi ini disebut *transisi impedansi*.^[2]



Gambar 2.23 Tahap transisi pada *selector switch*^[2]

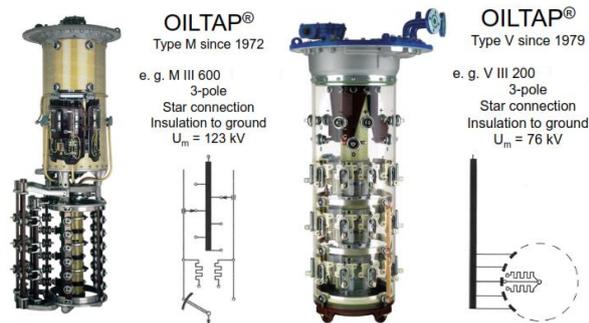
2.10.2 Jenis-Jenis Konstruksi *On Load Tap Changer*

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: ^[6]

² DR. Dieter Dohnal, *On Load Tap Changers For Power Transformers*, ter. Randy Eko Saputro, Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 8

⁶ Uwe Seltsam Dipl. Ing, *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



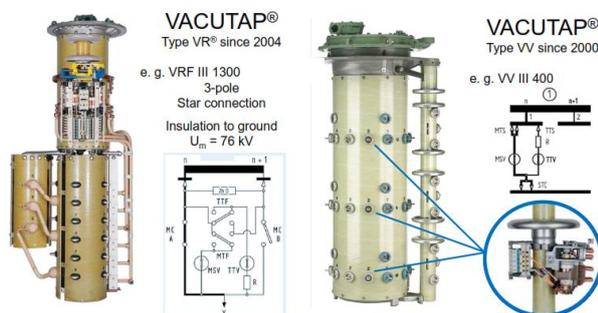
Gambar 2.24 *OLTC* resistor tipe *Diverter Switch-Tap Selector* dan *Selector Switch*^[6]

b. *On Load Tap Changer* Jenis Reaktor



Gambar 2.25 *OLTC* jenis Reaktor^[6]

c. *On Load Tap Changer* Jenis Vakum



Gambar 2.26 *OLTC* vakum tipe *Diverter Switch-Tap Selector* dan *Switching Selector*^[6]

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



2.10.3 Pemilihan *On Load Tap Changer*

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. 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.^[2]

Untuk memilih *OLTC* yang tepat, data penting dari belitan transformator yang sesuai harus diketahui data-data sebagai berikut:^[2]

- 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:^[2]

- 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:^[2]

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

² DR. Dieter Dohnal, *On Load Tap Changers For Power Transformers*, ter. Randy Eko Saputro, Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 21



2.10.4 Pemeliharaan On Load Tap Changer

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.^[6]

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^[6]

2.11 Matlab

Matlab adalah sebuah software programming. Bekerja dengan konsep Matrik dan memiliki pustaka fungsi matematika dan rekayasa super lengkap serta fungsi visualisasi yang bervariasi baik 2D dan 3D. Matlab juga dikenal sebagai

⁶ Uwe Seltsam Dipl. Ing, *Design, Function & Operation of On Load Tap Changers*. Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 17

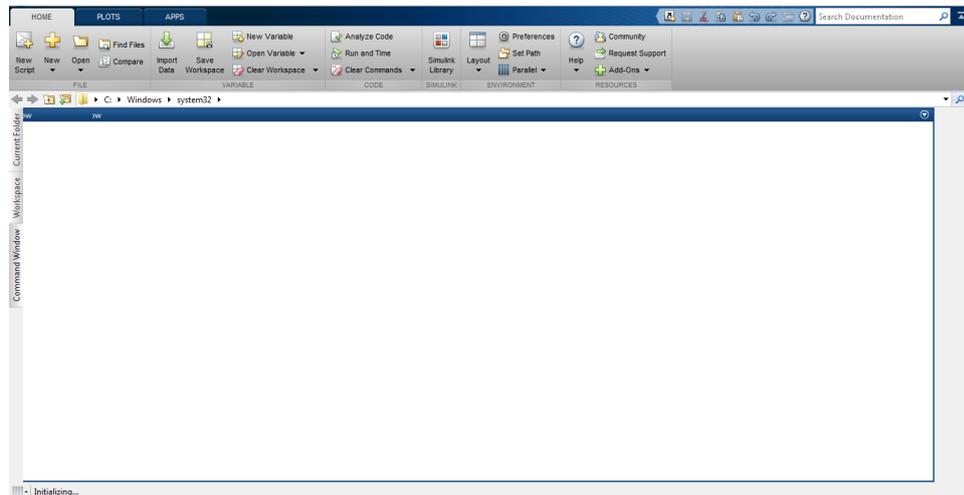


bahasa pemrograman level tinggi yang dikhususkan untuk komputansi teknis. Bahasa ini mengintegrasikan kemampuan komputasi, visualisasi dan pemrograman dalam sebuah lingkungan yang tunggal dan mudah digunakan. Matlab memberikan sistem interaktif yang menggunakan konsep array/matrik sebagai standar variabel elemennya tanpa membutuhkan pen-deklarasi-an array seperti pada bahasa lainnya. Program Matlab ini dikembangkan oleh Mathworks.^[1]

Setiap pertama kali mulai membuka aplikasi Matlab, akan ada beberapa form/window sebagai berikut:^[1]

a. Window Utama Matlab

Window ini adalah *window* induk yang melingkupo seluruh lingkungan kerja Matlab. Pada versi-versi pendahulu, window ini secara khusus belum ada, dan yang ada hanya *Command Window*. Tidak ada fungsi utama yang ditawarkan oleh window ini selain sebagai tempat *docking* bagi *form* yang lain.^[1]



Gambar 2.27 Tampilan Window Utama pada Matlab

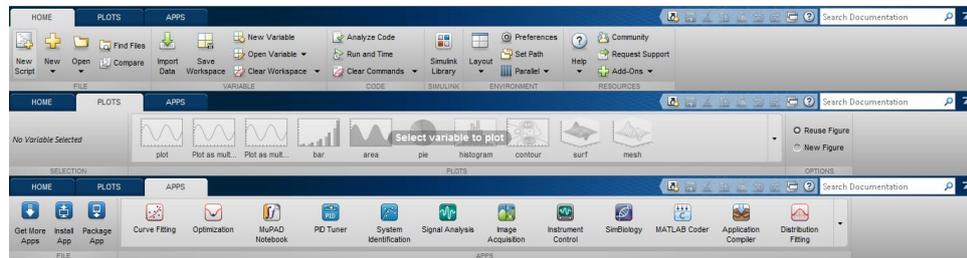
b. Menu Matlab

Menu berfungsi sebagai *shortcut* bagi pengguna untuk menggunakan perintah-perintah umum Matlab. Seperti membuat kode

¹ Gunaidi Abdia Away. *The Shortcut of Matlab Programming Edisi Revisi*. Informatika. Bandung. 2014. Hal 6-7



program atau file M baru (*New Script*), menjalankan dan menghitung waktu proses (*Run and Time*), mengatur tata letak *form* (*Layout*), mengatur konfigurasi umum (*preferences*) dan mengatur pencarian direktori (*set path*).



Gambar 2.28 Tampilan Menu pada Matlab

c. Workspace Window

Window ini berfungsi sebagai navigator bagi pemakai dalam penyediaan informasi mengenai variabel yang sedang aktif dalam workspace pada saat pemakaian. *Workspace* adalah suatu lingkungan abstrak yang menyimpan seluruh variabel dan perintah yang pernah digunakan selama penggunaan Matlab berlangsung.^[1]



Gambar 2.29 Tampilan *Workspace* pada Matlab

d. Command Window

Window ini berfungsi sebagai penerima perintah dari pemakai untuk menjalankan seluruh fungsi-fungsi yang disediakan oleh Matlab. Pada dasarnya window inilah inti dari Matlab.^[1]

¹ Gunaidi Abdia Away. *The Shortcut of Matlab Programming Edisi Revisi*. Informatika. Bandung. 2014. Hal 7-8



```

Command Window

=====
ANALISA ON LOAD TAP CHANGER SEBAGAI PENSTABIL TEGANGAN
TRANSFORMATOR DAYA II 20 KV / 20 MVA
DI GARDU INDUK SUNGAI JUARO FT. PLN (PERSERO)
=====
OLEH:
RANDY EKO SAFUTRO
0612 3031 0880
=====
Program Perhitungan Nilai Rasio Dan Drop Tegangan Oleh Impedansi
Pada Transformator Daya II dari data beban harian 1 April 2015
=====
-----
Dini Hari      Pagi          Siang         Malam
-----
-00.00 WIB    -06.00 WIB    -12.00 WIB    -18.00 WIB
-01.00 WIB    -07.00 WIB    -13.00 WIB    -18.30 WIB
-02.00 WIB    -08.00 WIB    -14.00 WIB    -19.00 WIB
-03.00 WIB    -09.00 WIB    -15.00 WIB    -19.30 WIB
-04.00 WIB    -10.00 WIB    -16.00 WIB    -20.00 WIB
-05.00 WIB    -11.00 WIB    -17.00 WIB    -21.00 WIB
               -22.00 WIB
               -23.00 WIB
               -24.00 WIB
-----
fx Silahkan Pilih Hasil Perhitungan [00.00 - 24.00 WIB] -

```

Gambar 2.30 Tampilan Command Window pada Matlab

e. Matlab Editor

Window ini berfungsi untuk membuat *script program* Matlab. Walaupun script program dapat dibuat dengan menggunakan berbagai program editor seperti notepad, wordpad, word dan lain-lain.^[1]

```

Editor - D:\Final Report (Official)\KalkulasiLaporanAkhir.m
KalkulasiLaporanAkhir.m x +
1 - %!c
2 - clear all
3 - disp('=====');
4 - disp(' ANALISA ON LOAD TAP CHANGER SEBAGAI PENSTABIL TEGANGAN ');
5 - disp(' TRANSFORMATOR DAYA II 20 KV / 20 MVA ');
6 - disp(' DI GARDU INDUK SUNGAI JUARO FT. PLN (PERSERO) ');
7 - disp(' ');
8 - disp(' OLEH: ');
9 - disp(' RANDY EKO SAFUTRO ');
10 - disp(' 0612 3031 0880 ');
11 - disp('=====');
12 - disp(' Program Perhitungan Nilai Rasio Dan Drop Tegangan Oleh Impedansi');
13 - disp(' Pada Transformator Daya II dari data beban harian 1 April 2015 ');
14 - disp('=====');
15 - disp(' ');
16 - disp('-----');
17 - disp(' Dini Hari      Pagi          Siang         Malam ');
18 - disp('-----');
19 - disp(' -00.00 WIB    -06.00 WIB    -12.00 WIB    -18.00 WIB ');
20 - disp(' -01.00 WIB    -07.00 WIB    -13.00 WIB    -18.30 WIB ');
21 - disp(' -02.00 WIB    -08.00 WIB    -14.00 WIB    -19.00 WIB ');
22 - disp(' -03.00 WIB    -09.00 WIB    -15.00 WIB    -19.30 WIB ');
23 - disp(' -04.00 WIB    -10.00 WIB    -16.00 WIB    -20.00 WIB ');
24 - disp(' -05.00 WIB    -11.00 WIB    -17.00 WIB    -21.00 WIB ');
25 - disp(' ');
26 - disp(' ');
27 - disp(' ');

```

Gambar 2.31 Tampilan Editor pada Matlab

¹ Gunaidi Abdia Away. *The Shortcut of Matlab Programming Edisi Revisi*. Informatika. Bandung. 2014. Hal 9