

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

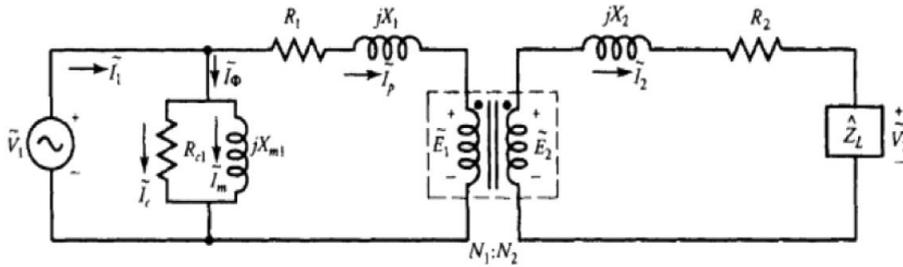
Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Prinsip dasar suatu transformator adalah induksi bersama (*mutual induction*) antara dua rangkaian yang dihubungkan oleh fluks magnet. Dalam bentuk yang sederhana, transformator terdiri dari dua buah kumparan induksi yang secara listrik terpisah tetapi secara magnet dihubungkan oleh suatu *path* yang mempunyai relaktansi yang rendah. Kedua kumparan tersebut mempunyai *mutual induction* yang tinggi. Jika salah satu kumparan dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, fluks bolak-balik timbul di dalam inti besi yang dihubungkan dengan kumparan yang lain menyebabkan atau menimbulkan ggl (gaya gerak listrik) induksi dari hukum Faraday. Bila arus bolak-balik mengalir pada induktor, maka akan timbul gaya gerak listrik (ggl).

Hukum Faraday:

$$e = -N \left(\frac{d\psi}{dt} \right) \dots\dots\dots (2-1)$$

- dimana :
- e = gaya gerak listrik
 - $\left(\frac{d\psi}{dt} \right)$ = perubahan fluks magnet
 - N = jumlah lilitan

Perilaku transformator dapat dijelaskan dengan mengasumsikannya menjadi transformator ideal yang setara. Ketidaktepatan, rugi-rugi, kebocoran magnetik dan inti besi yang tidak sempurna dari transformator yang sebenarnya kemudian digambarkan ke dalam rangkaian ekuivalen dengan menggunakan impedansi tambahan yang disisipkan di antara sumber primer dan beban sekunder. Rangkaian ekuivalen transformator ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalen Transformator

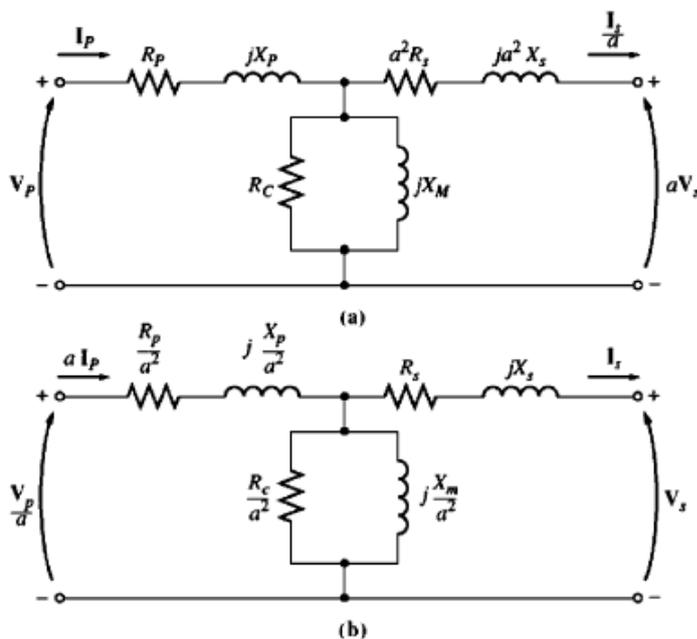
Sumber: R Gouws, 2013 p:61

2.2 Parameter Transformator

Memungkinkan untuk secara eksperimental menentukan nilai induktansi dan tahanan dalam model transformator. Perkiraan yang memadai dari nilai-nilai ini dapat diperoleh hanya dengan dua tes yaitu, uji sirkuit hubung terbuka dan uji hubung singkat.

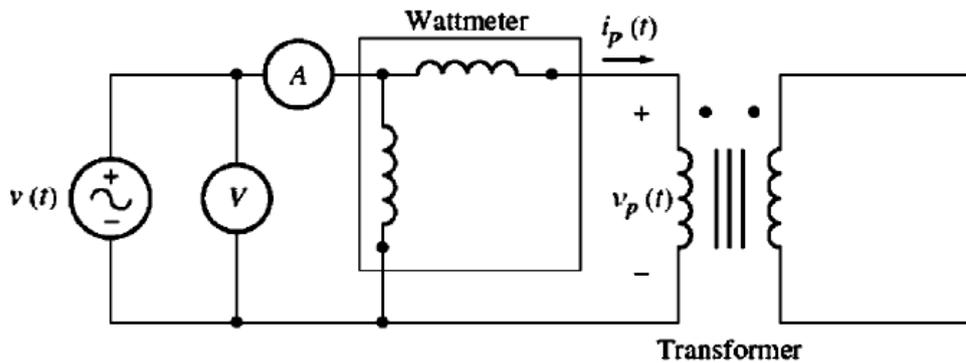
2.2.1 Uji Hubung Terbuka

Dalam uji hubung terbuka, sisi sekunder transformator dihubungkan terbuka dan, sisi primer dihubungkan ke sumber tegangan. Lihatlah rangkaian ekuivalen pada Gambar 2.2. Dengan kondisi yang dijelaskan, semua arus masukan harus mengalir melalui cabang eksitasi transformator. Nilai resistansi seri R_p dan X_p terlalu kecil dibandingkan dengan R_c dan X_M sehingga menyebabkan penurunan voltase yang signifikan, jadi intinya semua tegangan masukan dijatuhkan ke cabang eksitasi.



Gambar 2.2 a) Model transformator mengacu pada sisi primer transformator, b) Model transformator mengacu pada sisi sekunder transformator

Sumber: Stephen J. Chapman, 2005 : 88



Gambar 2.3 Rangkaian Uji Hubung Terbuka

Sumber: Stephen J. Chapman, 2005 : 90

Rangkaian uji hubung terbuka yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Sumber tegangan dihubungkan pada transformator, dan tegangan masukan, arus masukan, dan daya masukan ke transformator diukur. Dari data ini, dimungkinkan untuk menentukan faktor daya arus masukan dan oleh karena itu dapat ditentukan besarnya sudut impedansi eksitasi.

Cara termudah untuk menghitung nilai R_c dan X_M adalah dengan melihat terlebih dahulu masuknya cabang eksitasi. Konduktansi resistor rugi-inti ditentukan dengan:

$$G_c = \frac{1}{R_c} \dots\dots\dots (2-2)$$

dan suseptansi rugi-inti ditentukan dengan:

$$B_M = \frac{1}{X_M} \dots\dots\dots (2-3)$$

Karena kedua elemen ini paralel, Sehingga admitansi total eksitasi ialah:

$$\begin{aligned} Y_E &= G_c - jB_M \\ &= \frac{1}{R_c} - j\frac{1}{X_M} \dots\dots\dots (2-4) \end{aligned}$$

dimana:

Y_E = Admitansi eksitasi (mho)

R_c = Resistansi inti besi (Ω)

X_M = Induktansi magnetisasi (Ω)

Besarnya admitansi eksitasi (mengacu pada sirkuit primer) dapat ditentukan dari tegangan dan arus uji sirkuit terbuka:

$$|Y_E| = \frac{I_{oc}}{V_{oc}} \dots\dots\dots (2-5)$$

Sudut admitansi dapat ditentukan dari faktor daya. faktor daya hubung terbuka (PF) ditentukan dengan:

$$PF = \cos \Theta = \frac{P_{oc}}{V_{oc} I_{oc}} \dots\dots\dots (2-6)$$

dan sudut faktor daya Θ ditentukan dengan:

$$\Theta = \cos^{-1} \frac{P_{oc}}{V_{oc}I_{oc}} \dots\dots\dots(2-7)$$

dimana:

Θ = Sudut faktor daya ($^{\circ}$)

P_{oc} = Daya hubung terbuka (W)

V_{oc} = Tegangan hubung terbuka (V)

I_{oc} = Arus hubung terbuka (A)

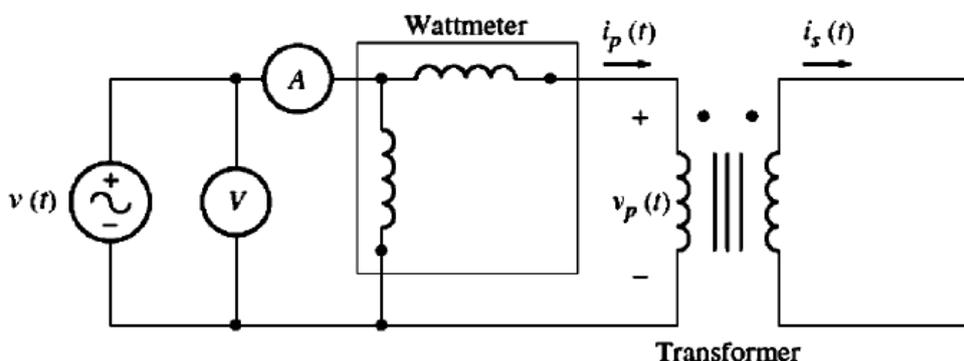
Untuk transformator faktor daya selalu dalam keadaan tertinggal, jadi sudut arus selalu tertinggal terhadap sudut voltase dengan Θ derajat. Oleh karena itu, admitansi (Y_E) adalah:

$$\begin{aligned} Y_E &= \frac{I_{oc}}{V_{oc}} \angle -\Theta \\ &= \frac{I_{oc}}{V_{oc}} \angle -\cos^{-1}PF \dots\dots\dots(2-8) \end{aligned}$$

Dengan membandingkan Persamaan (2-4) dan (2-8), dapat ditentukan nilai R_c dan X_M secara langsung dari data uji sirkuit terbuka.

2.2.2 Uji Hubung Singkat

Pada pengujian hubung singkat, sisi sekunder transformator dihubung singkat, dan terminal utama terhubung ke sumber tegangan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.4. Tegangan masukan diatur sampai mencapai arus yang ditentukan dengan waktu singkat. (Pastikan untuk menjaga tegangan masukan pada keadaan aman, karena dapat menyebabkan terbakarnya gulungan transformator saat pengujian ini). Tegangan masukan, arus, dan daya diukur lagi.



Gambar 2.4 Rangkaian Uji Hubung Singkat

Sumber: Stephen J. Chapman, 2005 :91

Karena tegangan masukan sangat rendah selama uji hubung singkat, arus yang mengalir melalui cabang eksitasi sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Jika arus eksitasi diabaikan, maka semua penurunan tegangan pada transformator dapat dikaitkan dengan elemen seri di

sirkuit. Besarnya impedansi seri mengacu pada sisi primer transformator dapat ditentukan dengan:

$$|Z_{SE}| = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \dots\dots\dots (2-9)$$

dimana:

Z_{SE} = Impedansi seri (Ω)

V_{sc} = Tegangan hubung singkat (V)

I_{sc} = Arus hubung singkat (A)

Faktor daya arus ditentukan dengan:

$$PF = \cos \Theta = \frac{P_{sc}}{V_{sc}I_{sc}} \dots\dots\dots (2-10)$$

Karena selalu dalam keadaan tertinggal, Sudut arus bernilai negatif, dan sudut Θ impedansi bernilai positif:

$$\Theta = \cos^{-1} \frac{P_{sc}}{V_{sc}I_{sc}} \dots\dots\dots (2-11)$$

dimana:

Θ = Sudut faktor daya ($^{\circ}$)

P_{sc} = Daya hubung singkat (W)

V_{sc} = Tegangan hubung singkat (V)

I_{sc} = Arus hubung singkat (A)

oleh karena itu,

$$Z_{SE} = \frac{V_{sc} < 0^{\circ}}{I_{sc} < -\theta^{\circ}} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} < \theta^{\circ} \dots\dots\dots (2-12)$$

Impedansi Seri (Z_{SE}) sama dengan:

$$\begin{aligned} Z_{SE} &= R_{eq} + jX_{eq} \\ &= (R_p + a^2R_s) + j(X_p + a^2X_s) \dots\dots\dots (2-13) \end{aligned}$$

Hal ini memungkinkan untuk menentukan impedansi seri total yang mengacu pada sisi primer dengan menggunakan perhitungan diatas.

2.3 Efisiensi Transformator

Industri saat ini prihatin tentang biaya energi dan transformator dengan efisiensi rendah menyebabkan kehilangan banyak energi. Oleh karena itu, efisiensi energi menjadi perhatian bagi industri. Efisiensi transformator daya tiga fasa dipengaruhi oleh kehilangan daya. Ada dua sumber utama kerugian ini yaitu, rugi-rugi lilitan dan inti yang berkontribusi terhadap total kerugian sistem kelistrikan. Rugi-rugi inti terdiri dari rugi-rugi histeresis pada inti magnetik transformator, dan rugi-rugi lilitan terdiri dari rugi-rugi pada lilitan primer dan sekunder. Ini tergantung pada arus beban dan ditentukan dengan menggunakan rumus I^2R .

Ada juga rugi-rugi yang terkait dengan harmonisa namun dapat diabaikan dalam asumsi bahwa tegangan suplai transformator tidak terdistorsi. Itulah sebabnya sangat penting untuk mengoperasikan transformator daya semaksimal mungkin dengan kondisi pengenal muatannya.

Transformator juga dibandingkan dan dinilai berdasarkan efisiensinya. Efisiensi transformator didefinisikan oleh persamaan:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2-14)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100\% \dots\dots\dots(2-15)$$

dimana:

P_{out} = Daya keluaran transformator (W)

P_{in} = Daya masukan transformator (W)

P_{loss} = Rugi-rugi pada transformator (W)

Persamaan ini berlaku untuk motor dan generator serta transformator. Rangkaian ekuivalen transformator membuat perhitungan efisiensi menjadi mudah. Ada tiga jenis kerugian yang ada pada transformer:

1. Kerugian tembaga (I^2R). Kerugian ini didefinisikan oleh resistansi seri (R_e) di rangkaian ekuivalen.
2. Rugi-rugi histerisis. Rugi-rugi didefinisikan oleh resistor R_c .
3. Rugi-rugi arus eddy. Rugi-rugi ini didefinisikan oleh resistor R_c .

2.4 Transformator Tiga Fasa

Transformator tiga fasa pada prinsipnya sama dengan transformator satu fasa, perbedaannya adalah pada transformator tiga fasa mengenal adanya hubungan bintang dan segitiga dan juga sistem bilangan jam yang sangat menentukan kerja paralel tiga fasa. Untuk menganalisa transformator tiga fasa dilakukan dengan cara menganggap bahwa transformator tiga fasa sebagai transformator satu fasa, teknik perhitungannya pun sama, hanya untuk nilai akhir biasanya parameter tertentu (arus, tegangan, dan daya) transformator tiga fasa dikalikan dengan nilai $\sqrt{3}$.

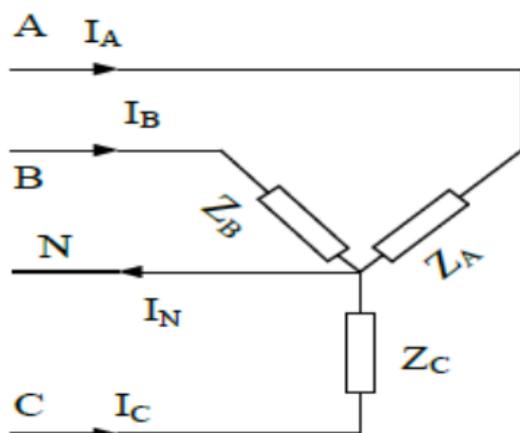
2.4.1 Hubungan Belitan Transformator tiga Fasa

Secara umum ada 2 macam jenis hubungan pada transformator tiga fasa yaitu:

2.4.1.1 Hubungan Bintang (Y)

Hubungan bintang ialah hubungan transformator tiga fasa, dimana ujung-ujung awal atau akhir lilitan disatukan. Titik dimana tempat penyatuan dari ujung-ujung lilitan

merupakan titik netral. Arus transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan bintang yaitu I_A , I_B , I_C masing-masing berbeda fasa sebesar 120° . Dapat dilihat pada gambar 2.5 merupakan gambar transformator tiga fasa hubungan bintang.



Gambar 2.5 Transformator tiga fasa hubungan bintang

Sumber: Yogi Yusuf, 2016 : 3

Dari gambar diperoleh bahwa:

$$I_A = I_B = I_C = I_L \dots\dots\dots (2-16)$$

$$I_L = I_{ph} \dots\dots\dots (2-17)$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L} \dots\dots\dots (2-18)$$

$$V_{L-L} = \sqrt{3} V_{ph} \dots\dots\dots (2-19)$$

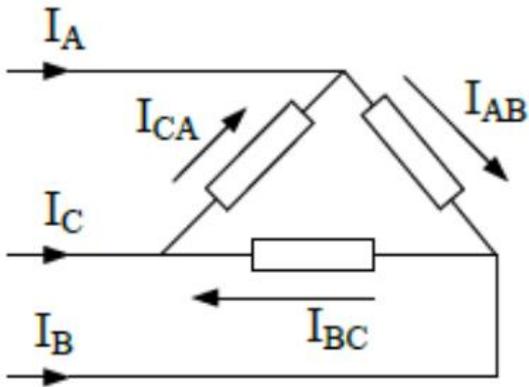
dimana:

V_{L-L} = Tegangan antar fasa (V)

V_{ph} = Tegangan fasa (V)

2.4.1.2 Hubungan segitiga/delta (Δ)

Hubungan segitiga adalah suatu hubungan transformator tiga fasa, dimana cara penyambungannya ialah ujung akhir lilitan fasa pertama disambung dengan ujung mula lilitan fasa kedua, akhir fasa kedua dengan ujung mula fasa ketiga dan akhir fasa ketiga dengan ujung mula fasa pertama. Tegangan transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan segitia yaitu; V_A , V_B , V_C masing-masing berbeda fasa 120° . Dapat dilihat pada gambar 2.6 merupakan gambar transformator tiga fasa hubungan segitiga/delta.



Gambar 2.6 Transformator tiga fasa hubungan segitiga/delta

Sumber: Yogi Yusuf, 2016 : 3

Dari gambar diperoleh bahwa:

$$I_A = I_B = I_C = I_L \dots\dots\dots(2-20)$$

$$I_L = \sqrt{3} I_{ph} \dots\dots\dots(2-21)$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L} \dots\dots\dots(2-22)$$

$$V_{L-L} = V_{ph} \dots\dots\dots(2-23)$$

dimana:

V_{L-L} = Tegangan antar fasa (V)

V_{ph} = Tegangan fasa (V)

2.4.2 Jenis-jenis Hubungan Transformator Tiga Fasa

Dalam pelaksanaanya, tiga buah lilitan fasa pada sisi primer dan sisi sekunder dapat dihubungkan dalam bermacam-macam hubungan, seperti bintang dan segitiga, dengan kombinasi Y-Y, Δ-Y, Y-Δ, Δ-Δ. Di bawah ini pembahasan hubungan transformator tiga fasa secara umum.

2.4.2.1 Hubungan Wye – Wye (Y-Y)

Pada hubungan bintang-bintang, rasio tegangan fasa-fasa (L-L) pada primer dan sekunder adalah sama dengan rasio setiap trafo. Sehingga, terjadi pergeseran fasa sebesar 30° antara tegangan fasa-netral (LN) dan tegangan fasa-fasa (L-L) pada sisi primer dan sekundernya.

Hubungan Y-Y pada transformator tiga fasa dapat dilihat pada Gambar 2.7. Pada hubungan Y-Y, tegangan masing-masing primer fasa (V_{phP}) adalah :

$$V_{phP} = \frac{V_{LP}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2-24)$$

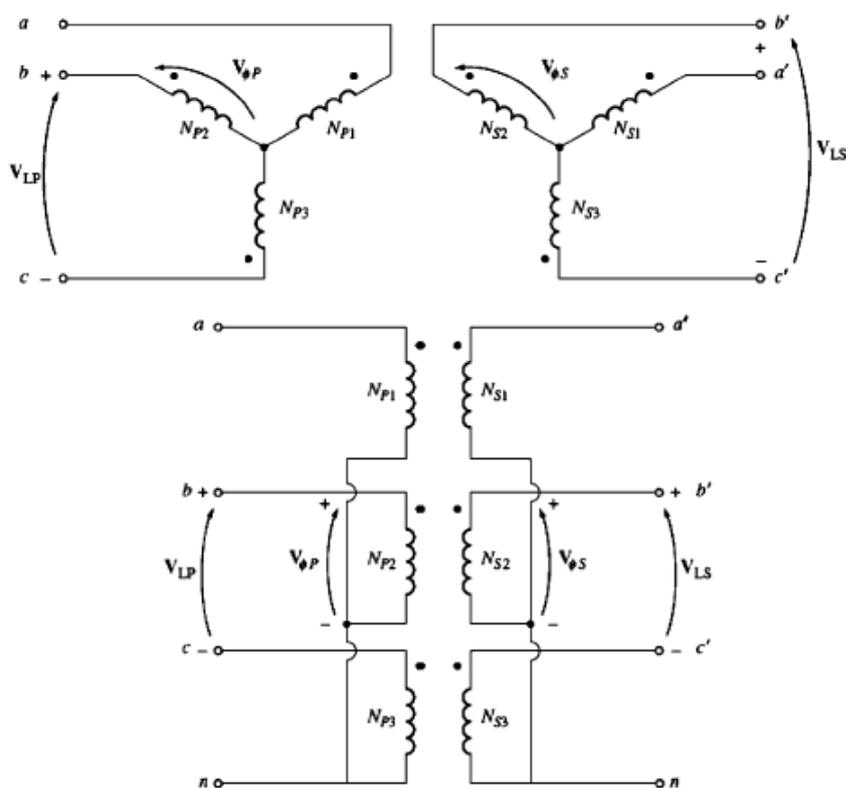
Tegangan fasa primer (V_{phP}) sebanding dengan tegangan fasa sekunder (V_{phS}) dan perbandingan belitan transformator maka, perbandingan antara tegangan primer dengan tegangan sekunder pada transformator hubungan Y-Y adalah:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}V_{phP}}{\sqrt{3}V_{phS}} = a \dots\dots\dots (2-25)$$

dimana:

- V_{LP} = Tegangan line pada sisi primer (V)
- V_{LS} = Tegangan line pada sisi sekunder (V)
- V_{phP} = Tegangan fasa pada sisi primer (V)
- V_{phS} = Tegangan fasa pada sisi sekunder (V)
- a = Angka transformasi

Dapat dilihat pada gambar 2.7 merupakan gambar transformator tiga fasa hubungan Wye-Wye.



Gambar 2.7 Transformator tiga fasa hubungan Y-Y

Sumber: Stephen J. Chapman, 2005 : 119

2.4.2.2 Hubungan Delta – Wye (Δ -Y)

Transformator hubungan Δ-Y, digunakan untuk menurunkan tegangan dari tegangan transmisi ke tegangan rendah. Transformator hubungan Δ-Y dapat dilihat pada Gambar 2.8. Pada hubungan Δ-Y, tegangan kawat ke kawat primer sama dengan tegangan fasa primer ($V_{LP} = V_{phP}$), dan tegangan sisi sekundernya ($V_{LS} = \sqrt{3} V_{phS}$), maka perbandingan tegangan pada hubungan Δ -Y adalah :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{phP}}{\sqrt{3}V_{phS}} = \frac{a}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2-26)$$

dimana:

V_{LP} = Tegangan line pada sisi primer (V)

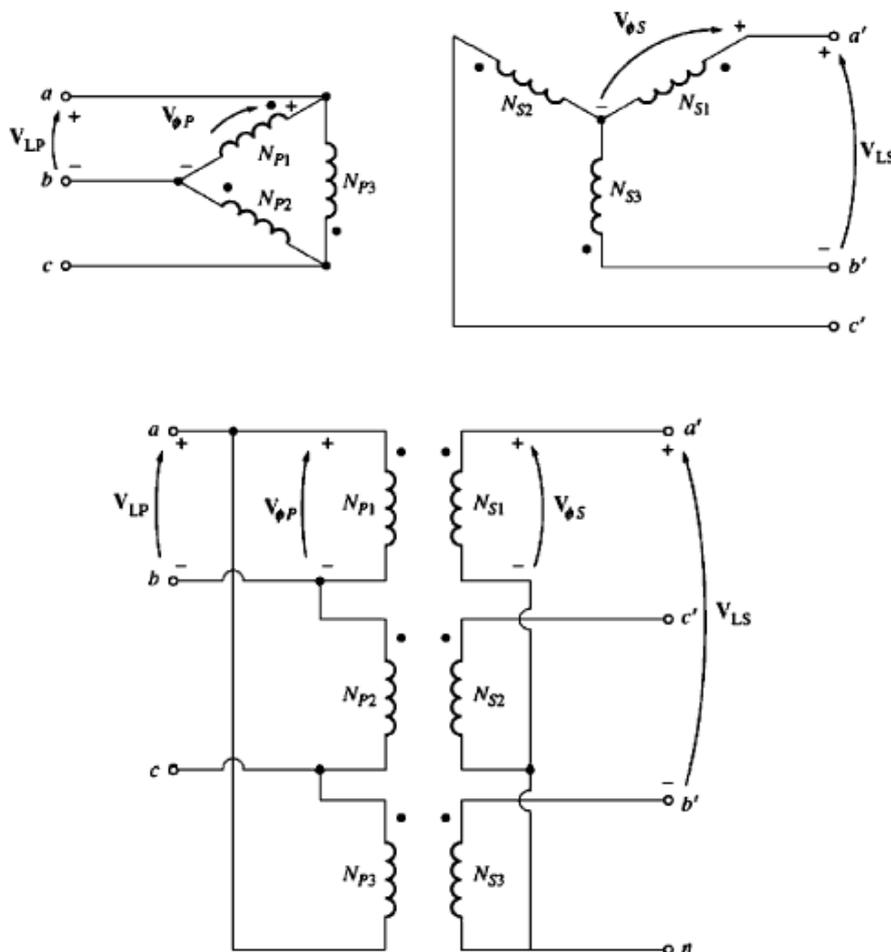
V_{LS} = Tegangan line pada sisi sekunder (V)

V_{phP} = Tegangan fasa pada sisi primer (V)

V_{phS} = Tegangan fasa pada sisi sekunder (V)

a = Angka transformasi

Dapat dilihat pada gambar 2.8 merupakan gambar transformator tiga fasa delta hubungan Δ -Y.



Gambar 2.8 Transformator tiga fasa hubungan Δ -Y

Sumber: Stephen J. Chapman, 2005 : 122

2.4.2.3 Hubungan Wye – Delta (Y - Δ)

Transformator hubungan Y- Δ , digunakan pada saluran transmisi sebagai penaik tegangan. Rasio antara sekunder dan primer tegangan fasa-fasa adalah $1/\sqrt{3}$ kali rasio setiap trafo. Terjadi sudut 30° antara tegangan fasa-fasa antara primer dan sekunder yang berarti bahwa trafo Y- Δ tidak bisa diparalelkan dengan trafo Y-Y atau trafo Δ - Δ . Hubungan transformator Y- Δ dapat dilihat pada Gambar 2.9. Pada hubungan ini tegangan kawat ke

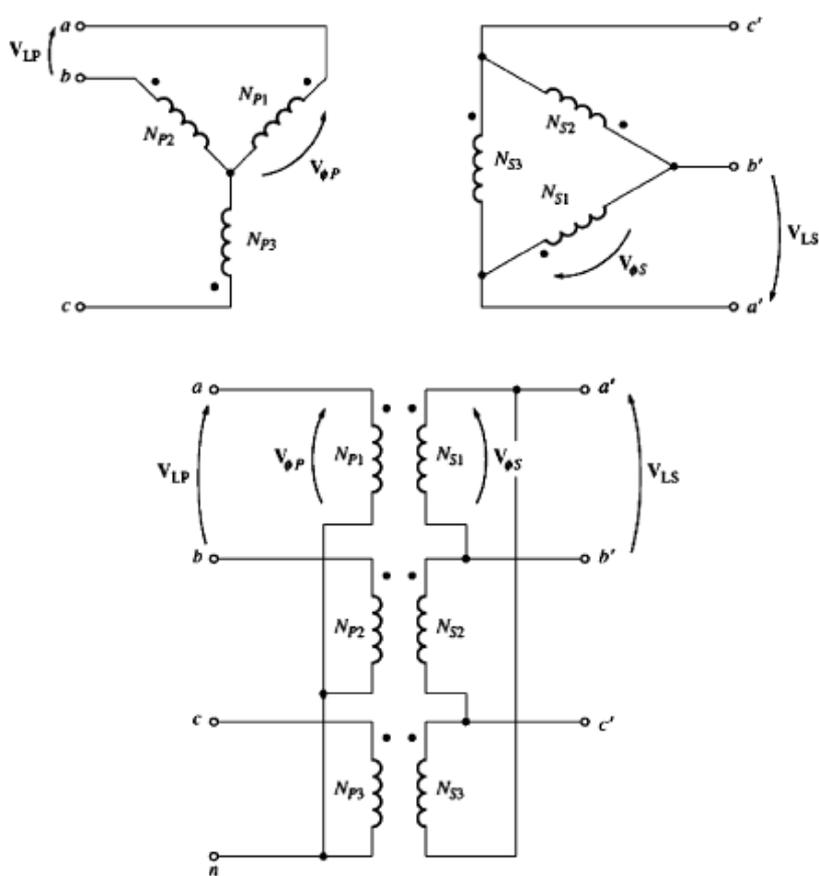
kawat primer sebanding dengan tegangan fasa primer ($V_{LP} = \sqrt{3} V_{ph P}$) dan tegangan kawat ke kawat sekunder sama dengan tegangan fasa ($V_{LS} = V_{ph S}$), sehingga diperoleh perbandingan tegangan pada hubungan Y- Δ adalah :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}V_{phP}}{V_{phS}} = \sqrt{3}a \dots\dots\dots (2-27)$$

dimana:

- V_{LP} = Tegangan line pada sisi primer (V)
- V_{LS} = Tegangan line pada sisi sekunder (V)
- V_{phP} = Tegangan fasa pada sisi primer (V)
- V_{phS} = Tegangan fasa pada sisi sekunder (V)
- a = Angka transformasi

Dapat dilihat pada gambar 2.9 merupakan gambar transformator tiga fasa hubungan wye – delta.



Gambar 2.9 Transformator tiga fasa hubungan Y – Δ

Sumber: Stephen J. Chapman, 2005 : 121

2.4.2.4 Hubungan Delta – Delta ($\Delta - \Delta$)

Pada transformator hubungan $\Delta - \Delta$, tegangan kawat ke kawat dan tegangan fasa sama untuk sisi primer dan sekunder transformator ($V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = V_{LN}$), maka perbandingan tegangannya adalah :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{phP}}{V_{phS}} = a \dots\dots\dots(2-28)$$

dimana:

V_{LP} = Tegangan line pada sisi primer (V)

V_{LS} = Tegangan line pada sisi sekunder (V)

V_{phP} = Tegangan fasa pada sisi primer (V)

V_{phS} = Tegangan fasa pada sisi sekunder (V)

a = Angka transformasi

Sedangkan arus pada transformator hubungan $\Delta - \Delta$ adalah:

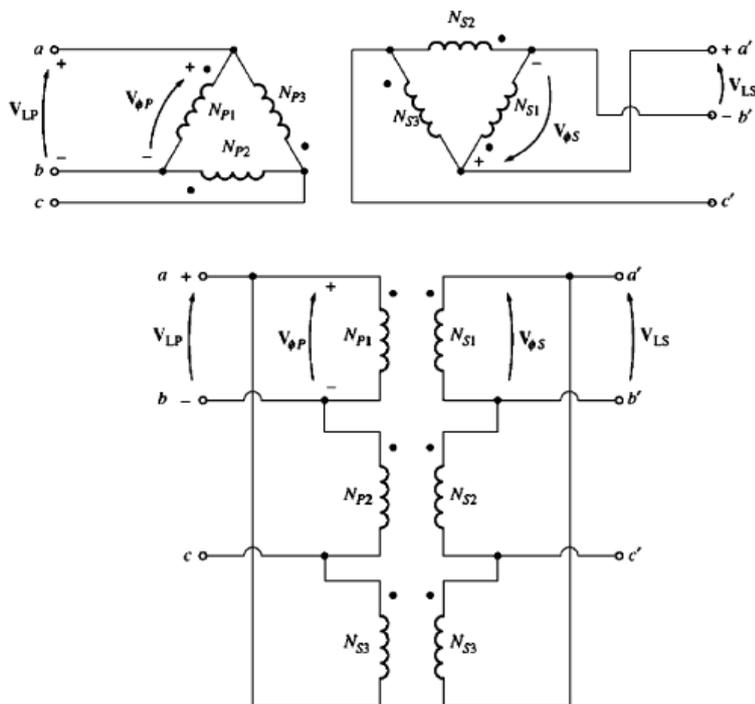
$$I_L = \sqrt{3}I_P \dots\dots\dots(2-29)$$

dimana:

I_L = Arus line (A)

I_P = Arus fasa (A)

Dapat dilihat pada gambar 2.10 merupakan gambar transformator tiga fasa hubungan delta – delta.



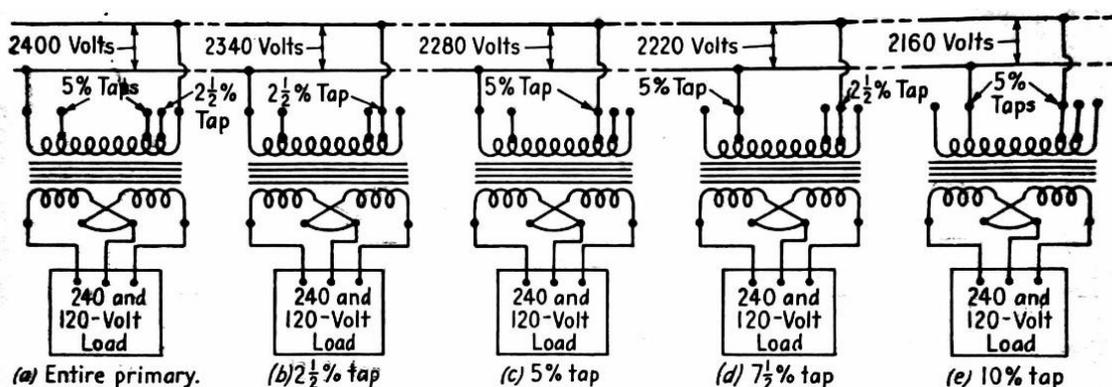
Gambar 2.10 Transformator tiga fasa hubungan $\Delta - \Delta$

Sumber : Stephen J. Chapman, 2005 : 123

2.5 Transformator Tap

Tap pada transformator ibarat sebuah keran untuk mengatur seberapa besar tegangan pada sisi primer dan sekunder. Semakin banyak tap yang digunakan semakin banyak pula variasi tegangan transformator pada sisi primer maupun sekunder.

Pada sirkuit distribusi yang relatif panjang, penurunan voltase pada kabel saluran meningkat dengan jarak dari sumber utama tegangan. Ini berarti bahwa transformator distribusi yang terhubung pada awal baris akan menerima voltase yang lebih tinggi dari jarak jauh beberapa mil. Dengan mengasumsikan bahwa dua transformator distribusi serupa terhubung ke jalur yang sama, namun beberapa jarak dari satu sama lain. Tegangan sekunder pada kedua kasus tidak akan sama, tegangan beban mungkin terlalu tinggi pada awal garis dan terlalu rendah di ujungnya. Untuk mengatasi kelemahan yang jelas ini, sehingga layanan voltase yang tepat dapat diberikan untuk semua beban, transformator diberikan tap pada sisi primer, sisi yang tinggi, sedemikian rupa sehingga rasio transformasi dapat diubah agar sesuai dengan tegangan primer yang sebenarnya pada titik di mana transformator dipasang. Tap di primer biasanya dibuat pada titik yang mudah dijangkau dari ujung belitan dan ditentukan dalam persen dari keseluruhan lilitan. Pengaturan yang umum adalah untuk tap ialah $2\frac{1}{2}\%$, 5% , $7\frac{1}{2}\%$, dan 10% . Untuk primer 2400 volt, ini berarti bahwa tegangan sekunder yang sama dapat diperoleh jika potensial garis adalah 2340, 2280, 2220, dan 2160 volt. Gambar 2.11 menunjukkan bagaimana tiga kabel 240 dan 120 volt yang sama dapat disediakan untuk variasi tegangan primer hingga 10 persen.



Gambar 2.11 Sketsa menunjukkan bagaimana transformator distribusi diberikan tap untuk berbagai tegangan utama

Sumber: Charles S. Siskind, 1966 : 282

2.6 Relay

Dalam dunia elektronika, *Relay* dikenal sebagai komponen yang dapat mengimplementasikan logika switching. Sebelum tahun 70an, *Relay* merupakan “otak” dari

rangkaian pengendali. Baru setelah itu muncul PLC yang mulai menggantikan posisi *Relay*. *Relay* yang paling sederhana ialah *Relay* elektromekanis yang memberikan pergerakan mekanis saat mendapatkan energi listrik. Secara sederhana *Relay* elektromekanis ini didefinisikan sebagai berikut :

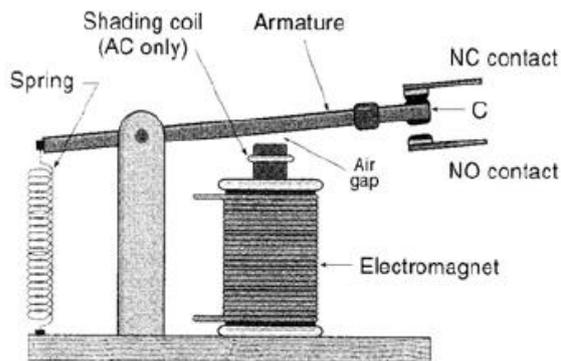
- Alat yang menggunakan gaya elektromagnetik untuk menutup (atau membuka) kontak saklar.
- Saklar yang digerakkan (secara mekanis) oleh daya/energi listrik.

Secara umum, *Relay* digunakan untuk memenuhi fungsi-fungsi berikut :

- Remote control (dapat menyalakan atau mematikan alat dari jarak jauh)
- Penguatan daya (menguatkan arus atau tegangan)
- Pengatur logika kontrol suatu sistem

2.6.1 Prinsip Kerja dan Simbol

Relay terdiri dari *coil* dan *contact*. Perhatikan gambar 2.12, *coil* adalah gulungan kawat yang mendapat arus listrik, sedang *contact* adalah sejenis saklar yang pergerakannya tergantung dari ada tidaknya arus listrik di *coil*. *Contact* ada 2 jenis : *Normally Open* (kondisi awal sebelum diaktifkan *open*), dan *Normally Closed* (kondisi awal sebelum diaktifkan *close*). Secara sederhana berikut ini prinsip kerja dari *Relay* : ketika *Coil* mendapat energy listrik (*energized*), akan timbul gaya elektromagnet yang akan menarik *armature* yang berpegas, dan *contact* akan menutup.



Gambar 2.12 Bagian-bagian *Relay*

Sumber : Handy Wicaksono, 2009 :12

2.6.2 Jenis-jenis *Relay*

Seperti saklar, *Relay* juga dibedakan berdasarkan *pole* dan *throw* yang dimilikinya. Berikut definisi *pole* dan *throw*:

- *Pole* : banyaknya *contact* yang dimiliki oleh *Relay*
- *Throw* : banyaknya kondisi (*state*) yang mungkin dimiliki *contact*

Berikut ini penggolongan *Relay* berdasar jumlah *pole* dan *throw* :

- SPST (*Single Pole Single Throw*)
- DPST (*Double Pole Single Throw*)
- SPDT (*Single Pole Double Throw*)
- DPDT (*Double Pole Double Throw*)
- 3PDT (*Three Pole Double Throw*)
- 4PDT (*Four Pole Double Throw*)

2.7 Arduino Mega 2560 R3

Arduino Mega 2560 R3 adalah papan *microcontroller* berbasis Atmega 2560. Arduino Mega 2560 R3 memiliki 54 pin digital *input / output*, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai *output PWM*, 16 pin sebagai *input analog*, dan 4 pin sebagai *UART (port serial hardware)*, 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, *jack power*, *header ICSP*, dan tombol *reset*. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung *microcontroller*. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau *power* dihubungkan dengan adaptor AC – DC atau baterai untuk mulai mengaktifkannya. Dapat dilihat pada gambar 2.13 merupakan gambar dari Arduino Mega 2560.



Gambar 2.13 Arduino Mega 2560

Sumber: Gagat Mughni Pradipta, 2016: 2

2.8 Sensor Tegangan ZMPT101B

Sensor tegangan ZMPT101B didesain menggunakan transformator sehingga hanya dapat untuk *men-sensing* tegangan AC saja. Terdapat banyak cara mengakses sensor tegangan ZMPT101B seperti halnya menggunakan *sampling data*, mengkonversikan menjadi tegangan DC sehingga lebih mudah dibaca oleh mikrokontroler dan lain-lain.

Sensor tegangan ZMPT101B dapat mengukur tegangan 110 V – 250 V. Dapat dilihat tampak dari sensor tegangan ZMPT101B pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Sensor Tegangan ZMPT101B

Sumber: Abubakar, 2017: 2

2.9 Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD telah digunakan dalam berbagai bidang diantaranya alat-alat elektronik, seperti televisi, kalkulator ataupun layar komputer.

Pada LCD terdapat 16 pin, masing masing pin memiliki fungsi masing masing untuk dihubungkan dengan mikrokontroler arduino. Pada table 2.1 menunjukkan hubungan masing masing pin terhadap port pada Arduino.

Tabel 2.1

Pin LCD dan port arduino

Pin LCD	Pin Arduino
Pin 1 (GND)	GND
Pin 2 (VCC)	+5V
Pin 3 (VSS)	Potential 50K
Pin 4 (RS)	PORT 1
Pin 5 (R/W)	GND
Pin 6 (E)	PORT 2
Pin 11 (D4)	PORT 4
Pin 12 (D5)	PORT 5
Pin 13 (D6)	PORT 6
Pin 14 (D7)	PORT 7
Pin 15 (LED +)	+5V
Pin 16 (LED -)	GND