

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

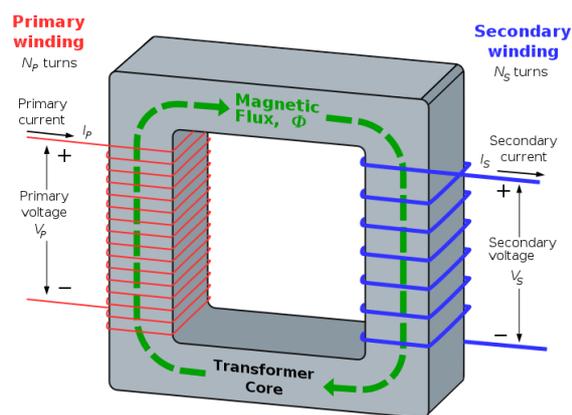
2.1 Transformator Tenaga

2.1.1 Pengertian Transformator

¹Transformator 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 tahun 2011). Transformator menggunakan prinsip hukum induksi faraday dan hukum lorentz dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet.

2.1.2 Prinsip Kerja Transformator

Apabila kumparan primer dihubungkan tegangan (sumber), maka akan mengalir arus bolak balik pada kumparan tersebut. Oleh karena itu kumparan mempunyai inti, arus menimbulkan fluks magnet yang juga berubah-ubah, pada kumparan primer akan timbul GGL induksi.



Gambar 2. 1 Prinsip kerja transformator

¹ Tim Review KEPDIR.2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. Hal. 1



Besarnya GGL induksi pada kumparan primer adalah:

$$E_p = -Np \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

E = Gaya gerak listrik (volt)

Np = Jumlah lilitan primer

Dt = Perubahan waktu dalam satuan detik

Dφ = Perubahan garis-garis gaya magnit dalam satuan weber

Fluks magnet yang menginduksikan GGL induksi juga alami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluks bersama (mutual fluks). Dengan demikian fluks tersebut menginduksikan GGL induksi pada kumparan sekunder.

Besarnya GGL induksi pada kumparan sekunder adalah:

$$E_s = -Ns \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

Ns = jumlah lilitan sekunder

Dari persamaan (1) dan (2) didapatkan perbandingan lilitan berdasarkan perbandingan GGL induksi yaitu:

$$a = \frac{e_p}{e_s} = \frac{Np}{Ns} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

a = Nilai perbandingan lilitan transformator

Apabila, $a > 1$, maka transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan (step up transformer)

$a < 1$, maka transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan (step down transformer).

Dan pada transformator ideal yang dieksitasi dengan sumber sinusoidal berlaku persamaan:

$$E = 4,44 \Phi_m.N.f \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

E = Tegangan (rms)

N = jumlah lilitan

Φ_m = fluks puncak (peak flux)

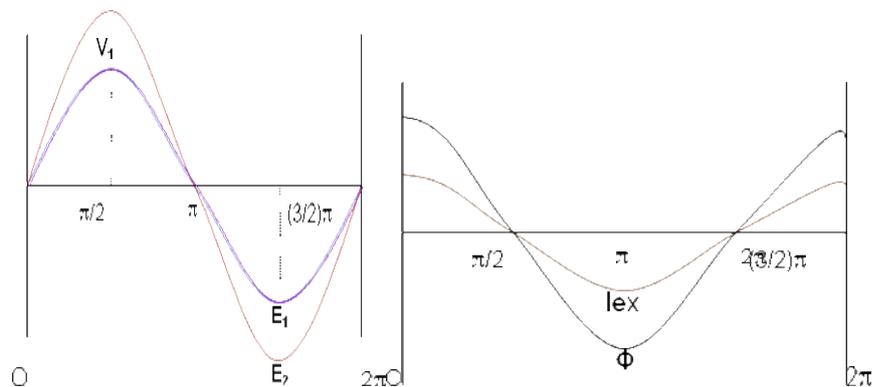
f = frekuensi (Hz)

Dikarenakan pada transformator ideal seluruh *mutual flux* yang dihasilkan salah satu kumparan akan diterima seutuhnya oleh kumparan yang lainnya tanpa adanya *leakage flux* maupun loss lain misalnya berubah menjadi panas. Atas dasar inilah didapatkan pula persamaan:

$$P_1 = P_2 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2 \dots\dots\dots (2.7)$$



Gambar 2. 2 Grafik arus, tegangan dan fluks yang terjadi

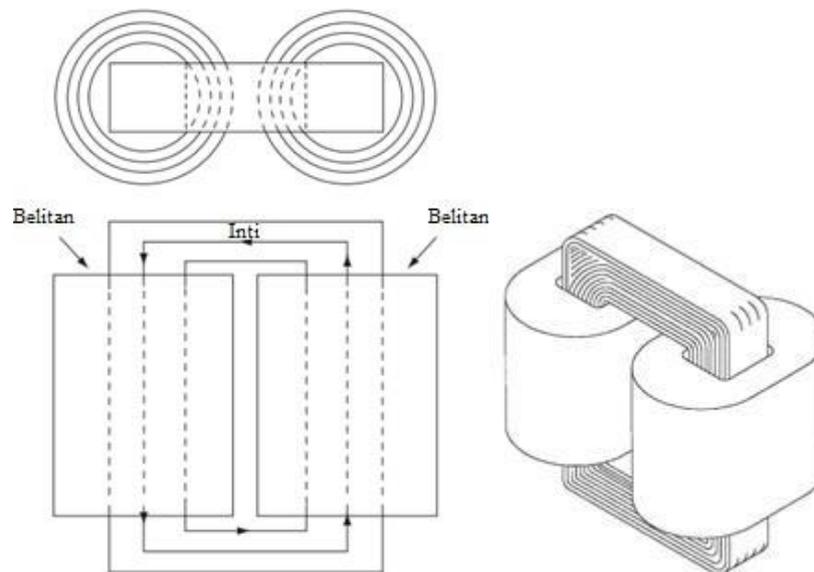
2.1.3 Konstruksi Transformator

Pada dasarnya transformator terdiri dari kumparan primer dan sekunder yang dibelitkan pada inti ferromagnetik. Transformator yang menjadi fokus bahasan disini adalah transformator daya.

Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal ada dua macam transformator, yaitu tipe Inti (Core type) dan tipe cangkang (Shell type).

1. Tipe inti (Core Type)

Tipe inti ini dibentuk dari lapisan besi berisolasi berbentuk persegi dan kumparan transformatornya dibelitkan pada dua sisi persegi. Pada konstruksi tipe inti, lilitan mengelilingi inti besi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 3 Konstruksi transformator tipe inti (Core Type)

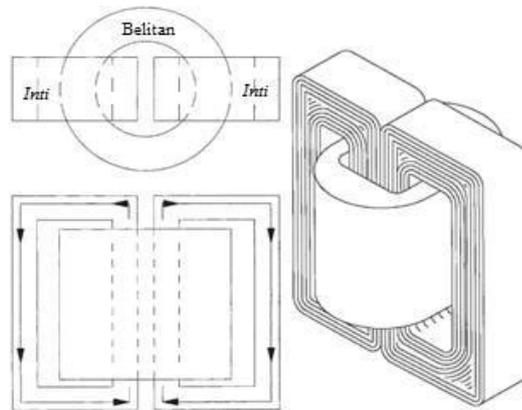
Bekerjanya Transformator menghendaki adanya fluks gandengan atau fluks bersama bolak-balik yang menghubungkan kedua kumparan yang menggunakan konsep induktansi bersama. Hal ini akan diperoleh pula bila digunakan inti udara tetapi akan jauh lebih efektif bila digunakan inti besi atau bahan ferromagnetic lainnya karena sebagian besar fluks akan terkurung dalam jalan tertentu yang menghubungkan kedua kumparan dan mempunyai permeabilitas yang jauh lebih besar

2. Tipe cangkang (Shell Type)

Jenis konstruksi transformator yang kedua yaitu tipe cangkang yang dibentuk dari lapisan inti berisolasi dan kumparan dibelitkan di pusat inti. Pada transformator ini, kumparan atau belitan transformator dikelilingi oleh inti.

Untuk mengurangi kerugian yang disebabkan oleh arus pusar didalam inti, rangkaian magnetik biasanya terdiri dari setiap laminasi tipis. Dalam jenis

Cangkang kumparan dililitkan sekitar kaki tengah dan inti berkaki tiga. Kebanyakan fluks berkurang dalam inti dan karena itu dirangkum oleh kedua kumparan

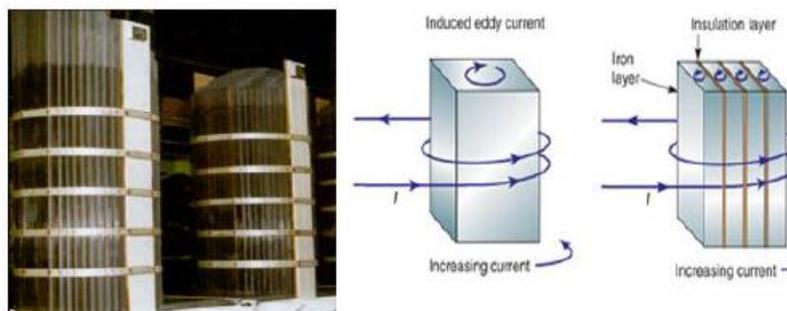


Gambar 2. 4 Transformator tipe cangkang (shell form)

2.1.4 Bagian-bagian Transformator dan Fungsinya²

1. *Electromagnetic Circuit* (Inti besi)

Inti besi digunakan sebagai media jalannya 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 yang di susun sedemikian rupa.

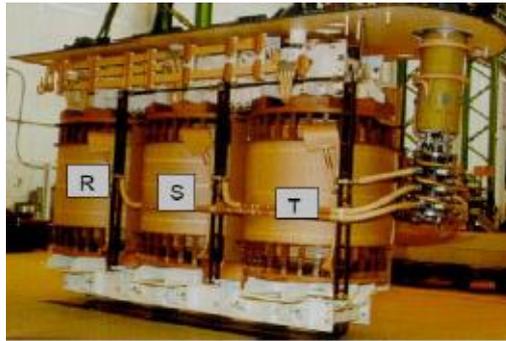


Gambar 2. 5 Inti besi

² Tim Review KEPDIR.2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Hal. 2-13

2. *Current carrying circuit* (Belitan)

Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnetik.



Gambar 2. 6 Belitan trafo

3. 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 main tank transformator.



Gambar 2. 7 Bushing

4. Pendingin

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 oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.

Tabel 2. 1 Macam-macam pendingin pada transformator

No.	Macam Sistem Pendingin *)	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

5. *Oil preservation & expansion* (Konservator)

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.

6. Bahan Dielectric

Bahan dielektrik pada transformator salah satunya yaitu minyak isolasi. Minyak isolasi pada transformator berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi trafo merupakan minyak

mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis, yaitu parafinik, naphthanik dan aromatik. Antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda.



Gambar 2. 8 Minyak isolasi transformator

Didalam standar IEC 60422 telah dicantumkan parameter-parameter minyak isolasi dengan batasan-batasan minimum untuk minyak isolasi yang baru dimasukan kedalam peralatan sebelum energize.

Tabel 2. 2 Batasan nilai parameter minyak isolasi

Property	Highest voltage for equipment kV		
	<72,5	72,5 to 170	>170
Appearance	Clear, free from sediment and suspended matter		
Colour (on scale given in ISO 2049)	Max. 2,0	Max. 2,0	Max. 2,0
Breakdown voltage (kV)	>55	>60	>60
Water content (mg/kg) ^a	20 ^b	<10	<10
Acidity (mg KOH/g)	Max. 0,03	Max. 0,03	Max. 0,03
Dielectric dissipation factor at 90°C and 40 Hz to 60 Hz ^c	Max. 0,015	Max. 0,015	Max. 0,010
Resistivity at 90 °C (GΩm)	Min. 60	Min. 60	Min. 60
Oxidation stability	As specified in IEC 60296		
Interfacial tension (mN/m)	Min. 35	Min. 35	Min. 35
Total PCB content (mg/kg)	Not detectable (< 2 total)		
Particles	-	-	See Table B.1 ^d

7. Tap Changer

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 primer diharapkan dapat merubah ratio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan output/sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input/primernya. Penyesuaian ratio belitan ini disebut Tap changer.³

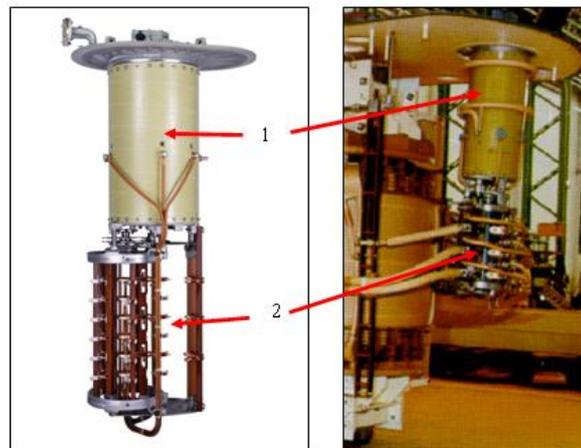
Proses perubahan ratio belitan ini dapat dilakukan pada saat trafo sedang berbeban (On load tap changer) atau saat trafo tidak berbeban (Off load tap changer).

Tap changer terdiri dari :

- Selector Switch
Selector switch merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal terminal untuk menentukan posisi tap atau ratio belitan primer.
- Diverter Switch
Diverter switch merupakan rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi.
- Tahanan transisi
Tahanan transisi merupakan tahanan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan tap.

Dikarenakan aktifitas tap changer lebih dinamis dibanding dengan belitan utama dan inti besi, maka kompartemen antara belitan utama dengan tap changer dipisah.

³ Tim Review KEPDIR.2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. Hal. 11



Gambar 2. 9 Tap changer pada transformator

Keterangan :

1. Kompartemen Diverter Switch
2. Selektor Switch

- Prinsip Kerja *Load Tap Changer*

Prinsip pengaturan tegangan sekunder berdasarkan perubahan jumlah belitan primer atau sekunder.

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

Dimana:

E1 = GGL induksi di sisi primer (Volt)

E2 = GGL induksi di sisi primer (Volt)

V1 = Tegangan Primer

V2 = Tegangan Sekunder

N1 = Belitan Primer

N2 = Belitan Sekunder

a = Perbandingan transformator

Jika belitan primer berkurang tegangan per belitan akan bertambah, sehingga tegangan sekunder bertambah juga. Pengurangan belitan primer

mempunyai pengaruh yang sama dengan penambahan belitan sekunder. Beberapa faktor akan dijelaskan di bawah ini yang dapat dibuat jadi pertimbangan, saat memutuskan sisi yang mana yang akan di pasang tappingnya :

1. Transformator dengan ratio belitan yang besar, disadap pada sisi tegangan tinggi, karena pengendalian tegangan keluaran lebih halus atau dengan kata lain sadapan pada belitan sisi tegangan tinggi memungkinkan merubah tegangan keluar dalam step yang cukup luas.
2. Penempatan tapping pada sisi tegangan tinggi hanya akan menangani arus yang kecil, walaupun isolasi diperlukan lebih banyak.
3. Pemasangan tap pada sisi sekunder cukup sulit karena pada umumnya belitan tegangan rendah dililit setelah inti, dan belitan tegangan tinggi dililit setelah belitan tegangan rendah. Oleh karena itu membuat tapping pada belitan tegangan tinggi lebih mudah.

2.1.5 Klasifikasi transformator

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi :

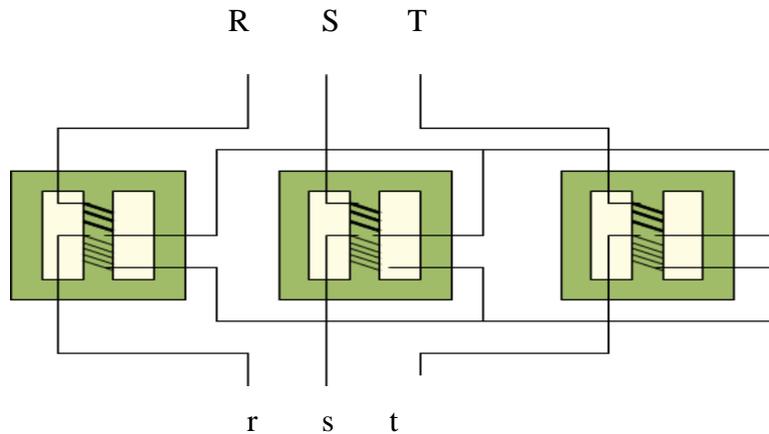
1. Transformator daya (> 500 kVA).
2. Transformator distribusi (3-500 kVA).
3. Transformator *instrument*, digunakan untuk pengukuran yang terdiri atas transformator arus dan transformator tegangan.

Berdasarkan jumlah fasanya transformator dibagi atas 2 yaitu :

1. Transformator satu fasa.
2. Transformator tiga fasa.

2.1.6 Transformator Tiga Fasa

Konstruksi suatu transformator tiga fasa terdiri dari rangkaian tiga buah trafo satu fasa.



Gambar 2. 10 Konstruksi transformator tiga fasa

Transformator tiga fasa pada prinsipnya sama dengan transformator satu fasa, perbedaannya adalah pada transformator tiga fasa mengenal adanya hubungan bintang, segitiga dan hubungan zig-zag, dan juga sistem bilangan jam yang sangat menentukan kerja paralel tiga fasa.

Transformator tiga fasa dikembangkan untuk alasan ekonomis, biaya lebih murah karena bahan yang digunakan lebih sedikit dibandingkan tiga buah transformator satu fasa dengan jumlah daya yang sama dengan satu buah transformator tiga fasa, pengerjaannya lebih cepat.

Pada dasarnya formulasi trafo tiga fasa dikembangkan atau merupakan jumlah vektor dari tiga buah trafo satu fasa. Jadi :

$$\begin{aligned}
 S_3 \text{ Fasa} &= S_1 + S_2 + S_3 \\
 &= I_1 \cdot V_1 + I_2 \cdot V_2 + I_3 \cdot V_3 \\
 &= 3 \cdot I \cdot V \dots\dots\dots (2.9)
 \end{aligned}$$

Rumus disamping ini berlaku baik pada trafo terhubung bintang maupun segitiga, dengan catatan bahwa arus (I) dan tegangan (V) adalah arus dan tegangan trafo satu fasa (bukan arus dan tegangan line).

2.1.7 Hubungan Transformator Tiga Fasa

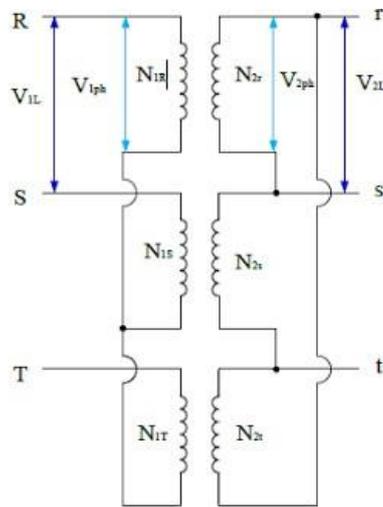
Dalam pelaksanaannya, tiga buah lilitan fasa dalam sisi primer dan sisi sekunder dapat dihubungkan dalam bermacam – macam hubungan, seperti hubungan bintang, hubungan segitiga (delta) dan hubungan kombinasi Y-Y, Y-Δ,

Δ -Y dan Δ - Δ , bahkan untuk kasus tertentu lilitan sekunder dapat dihubungkan secara berliku – liku (zig- zag), sehingga didapatkan kombinasi Δ -Z dan Z- Y.

Hubungan zig – zag merupakan sambungan bintang “istimewa”, hubungan ini untuk mengantisipasi kejadian yang mungkin terjadi apabila dihubungkan secara bintang dengan beban setiap fasanya tidak seimbang.

A. Hubungan Wye - Wye (Y – Y)

Jika tegangan tiga fasa dipasok ke transformator Y–Y, maka tegangan tiap-tiap fasanya akan saling berbeda 120° .



Gambar 2. 11 Hubungan transformator Y – Y

Tegangan primer pada masing – masing fasa adalah:

$$V_{\phi P} = \frac{V_{LP}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Tegangan fasa primer sebanding dengan tegangan fasa sekunder dan perbandingan belitan transformator. Maka diperoleh perbandingan tegangan pada transformator adalah:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3} V_{\phi P}}{\sqrt{3} V_{\phi S}} \dots\dots\dots (2.11)$$

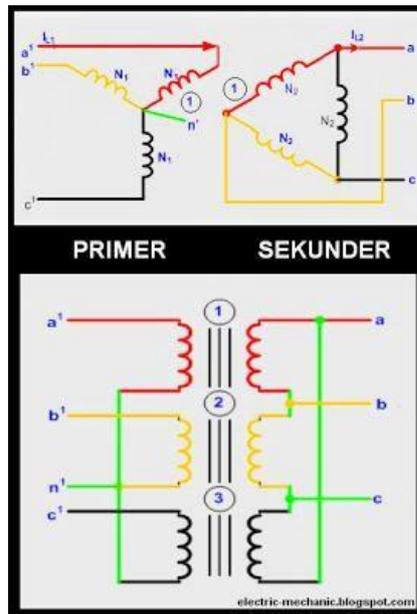
dimana:

$V_{\phi P}$ = tegangan fasa primer

$V_{\phi S}$ = tegangan fasa sekunder

B. Hubungan Wye – Delta (Y – Δ)

Beda fasa antara sisi primer dan sekunder sebesar 30° atau kelipatannya, yang jika hendak dihubungkan secara parallel, sisi sekunder transformator yang akan diparalelkan harus memiliki beda fasa yang sama. digunakan sebagai penaik tegangan untuk system tegangan tinggi. Hubungan Wye – Delta dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 12 Hubungan transformator Y – Δ

Tegangan kawat ke kawat primer sebanding dengan tegangan fasa primer.

$$V_{LP} = \sqrt{3} V_{\phi P} \dots\dots\dots(2.12)$$

Tegangan kawat – kawat sekunder sebanding dengan tegangan fasa.

$$V_{LS} = V_{\phi S} \dots\dots\dots(2.13)$$

Maka perbandingan tegangan pada hubungan ini:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3} V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = \sqrt{3} \dots\dots\dots(2.14)$$

2.2 FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)⁴

FMEA merupakan suatu metode untuk menganalisa penyebab kegagalan pada suatu peralatan. FMEA menjadi dasar untuk menentukan komponen-komponen yang akan diperiksa dan dipelihara.

FMEA atau *Failure Modes Effects Analysis* dibuat dengan cara :

- Mendefinisikan sistem (peralatan) dan fungsinya
- Menentukan sub sistem dan fungsi tiap subsistem
- Menentukan functional failure tiap subsistem
- Menentukan failure mode tiap subsistem

2.2.1 FMEA Transformator

Didalam FMEA trafo terdiri dari subsistem trafo, *Functional Failure* pada trafo, *Failure Mode* pada trafo.

FMECA (*Failure mode and effect critical analysis*) merupakan metoda untuk mengetahui resiko kegagalan sebuah subsistem pada sebuah sistem peralatan. Dengan mengkombinasikan data gangguan dengan FMEA maka akan diketahui peluang-peluang kegagalan pada setiap sub sistem dalam FMEA. Hal ini dapat dijadikan acuan dalam menerapkan metoda pemeliharaan yang optimal dengan tingkat kegagalan yang bervariasi.

2.3 Pengujian Transformator Tenaga

2.3.1 Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi isolasi antara belitan dengan ground atau antara dua belitan. Metoda yang umum dilakukan adalah dengan memberikan tegangan dc dan merepresentasikan kondisi isolasi dengan satuan mega ohm. Tahanan isolasi yang diukur merupakan fungsi dari arus bocor yang menembus melewati isolasi atau melalui jalur bocor pada permukaan eksternal. Pengujian tahanan isolasi dapat dipengaruhi suhu, kelembaban dan jalur

⁴ *Tim Review KEPDIR.2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. Hal.18*

bocor pada permukaan eksternal seperti kotoran pada bushing atau isolator. Megaohm meter biasanya memiliki kapasitas pengujian 500, 1000 atau 2500 V dc.

Pengkategorian kondisi isolasi berdasarkan hasil pengujian tahanan isolasi dilihat dari nilai tahanan isolasinya itu sendiri (megohm) dan index polarisasi (perbandingan hasil pengujian tahanan isolasi pada menit ke – 10 dengan menit ke – 1).

Formula nilai tahanan isolasi minimum trafo:⁵

1. Untuk transformator 1 fasa

$$R = \frac{CE}{\sqrt{kVA}} \dots \dots \dots (2.15)$$

2. Untuk transformator 3 fasa (bintang)

$$R = \frac{CE(P-n)}{\sqrt{kVA}} \dots \dots \dots (2.16)$$

3. Untuk transformator 3 fasa (segitiga)

$$R = \frac{CE(P-p)}{\sqrt{kVA}} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana:

R = Nilai tahanan isolasi minimum ($M\Omega$)

C = Konstanta untuk *oil filled transformer* (1,5)

E = Rating tegangan (V)

kVA = Rating kapasitas belitan yang diuji

P-n = Phasa – Netral

P-P = Phasa – Phasa

Salah satu jenis pemeliharaan yang dilakukan dalam kegiatan Combustion Inspection (CI) yaitu pemeliharaan periodik yang dilakukan setiap 8.000 jam trafo beroperasi adalah pemeriksaan stator atau belitan trafo, kegiatan yang dilakukan dapat berupa pengujian tahanan isolasi (*Insulation Resistance Test*) dan *Polarization Index Test*.

Nilai Insulation Resistance (IR) stator diukur pada suhu ruangan 30,5°C, pengukuran dilakukan dengan cara melepas hubungan way (Y) trafo terhadap

⁵ Tim Review KEPDIR.2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. Hal.87

ground terlebih dahulu. Pengukuran dilakukan pada tiap fasa yaitu fasa R, S, dan T masing-masing di ukur langsung terhadap ground. Sehingga megger yang digunakan yaitu megger fasa terhadap ground. Jenis Megger yang digunakan adalah Megger jenis analog dengan tegangan 5000 Volt, pemilihan megger dengan tegangan 5000 Volt sesuai dengan besarnya tegangan kerja Trafo dan berdasarkan standar IEEE.

Moisture dapat juga terdapat pada permukaan isolasi, atau pada lilitan atau pada keduanya. Oleh sebab itu, pengujian dengan megger sebelum dan sesudah mesin dibersihkan harus dilakukan. Jika nilai tahanan tetap rendah dan lilitan relatif bersih, ada kemungkinan adanya moisture pada lilitan, dan lilitan harus dikeringkan sekurang-kurangnya sampai diperoleh tahanan minimum yang dianjurkan.

2.3.1.1 Index polarisasi

Tujuan dari pengujian index polarisasi adalah untuk memastikan peralatan tersebut layak dioperasikan atau bahkan untuk dilakukan over voltage test. Index yang biasa digunakan dalam menunjukkan pembacaan tahanan isolasi trafo dikenal sebagai *dielectric absorption*, yang diperoleh dari pembacaan berkelanjutan untuk periode waktu yang lebih lama dengan sumber tegangan yang konstan.

Arus total yang muncul saat memberikan tegangan dc steady state terdiri dari:

1. Charging current karena sifat kapasitansi dari isolasi yang diukur. Arus ini turun dari nilai maksimum ke nol sangat cepat.
2. Absorption current karena molecular charge shifting pada isolasi. Arus transien ini menghilang sampai nol lebih lambat
3. Leakage current merupakan arus konduksi nyata pada isolasi. Leakage current bervariasi tergantung tegangan uji. Juga termasuk arus bocor dikarenakan kebocoran pada permukaan akibat kontaminasi.

Leakage current meningkat lebih cepat dengan kehadiran moisture dibanding absorption current, pembacaan megaohm tidak akan meningkat seiring waktu layaknya antara kecepatan pada isolasi buruk dengan cepatnya isolasi yang

bagus. Hal ini berdampak pada rendahnya index polarisasi. Index polarisasi merupakan perbandingan antara nilai tahanan isolasi pada menit ke 10 dengan menit ke 1.

Indeks yang biasa digunakan dalam menunjukkan pembacaan megger dikenal sebagai dielectric absorption, yang diperoleh dengan pembacaan yang berkelanjutan untuk periode waktu yang lebih lama. Jika pengujian berkelanjutan untuk periode selama 10 menit, megger akan mempunyai kemampuan untuk mempolarisasikan atau mencharger kapasitansi tinggi ke isolasi stator, dan pembacaan resistansi akan meningkat jika isolasi bersih dan kering. Ratio pembacaan 10 menit dibandingkan pembacaan 1 menit dikenal sebagai Polarization Index (PI) atau Indeks Polarisasi (IP).

Besarnya Indeks Polarisasi (IP) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$IP = \frac{\text{Pengukuran } R_{IS} \text{ 10 menit}}{\text{Pengukuran } R_{IS} \text{ 1 menit}} \dots\dots\dots(2.18)^6$$

Dimana:

PI = Indeks polarisasi

R1menit = Nilai tahanan isolasi pengukuran menit pertama (Ω)

R10 menit = Nilai tahanan isolasi pengukuran pada menit kesepuluh (Ω)

Kondisi isolasi berdasarkan index polarisasi ditunjukkan pada Tabel 2.3. (standar IEEE Std 62-1995).

Tabel 2. 3 Kondisi isolasi berdasarkan indeks polarisasi⁷

No	Hasil Uji	Keterangan	Rekomendasi
1	< 1,0	Berbahaya	Investigasi
2	1,0 – 1,1	Jelek	Investigasi
3	1,1 – 1,25	Dipertanyakan	Uji kadar air minyak, uji tan delta
4	1,25 – 2,0	Baik	-
5	> 2,0	Sangat Baik	-

⁶ Tim Review KEPDIR.2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. Hal.39

⁷ Tim Review KEPDIR.2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. Hal.88

2.3.2 Pengujian Ratio

Tujuan dari pengujian ratio belitan pada dasarnya untuk mendiagnosa adanya masalah dalam antar belitan dan seksi-seksi sistem isolasi pada transformator. Pengujian ini akan mendeteksi adanya hubung singkat antar lilitan, putusnya lilitan, maupun ketidaknormalan pada tap changer.⁸

Metode pengujiannya adalah dengan memberikan tegangan variabel pada sisi HV dan melihat tegangan yang muncul pada sisi LV. Dengan membandingkan tegangan sumber dengan tegangan yang muncul maka dapat diketahui ratio perbandingannya.

$$a = \frac{V_1}{V_2\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana:

- a = Ratio belitan
- V_1 = Tegangan sisi primer (V)
- V_2 = Tegangan sisi sekunder (V)

Analisis hasil pengujian ratio adalah membandingkan hasil pengukuran dengan name plate ratio tegangan pada transformator dengan batasan kesalahan sebesar 0,5 % (standar IEEE C57.125.1991). Jika hasil pengujian ratio melebihi 0,5 % maka disarankan untuk melakukan pengujian – pengujian lainnya.

$$\text{Deviasi} = \frac{a (\text{pengukuran}) - a (\text{perhitungan})}{a (\text{perhitungan})} \times 100\% \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

- Deviasi = Batasan kesalahan (%)
- a = Ratio belitan

⁸ Tim Review KEPDIR.2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. Hal.43