

PENGUKURAN PERBANDINGAN BELITAN PADA TRANSFORMATOR 3 PHASA 50 Hz 250 kVA

Sumardi Sadi SPd ST MT¹⁾, M Arif, ST MT²⁾

1) Dosen Teknik Elektro-Fakultas Teknik UMT
Email: *muhammad_arif@gmail.com*

2) Dosen Teknik Elektro-Fakultas Teknik UMT
Email: *sumardiumt@umt.ac.id*

Universitas Muhammadiyah Tangerang
Jl. Perintis Kemerdekaan 1 No. /33, Cikokol Kota Tangerang
http://www.umt.ac.id

ABSTRAK

Transformator adalah peralatan listrik yang sangat vital dalam proses pembangkitan maupun transmisi energi listrik karena transformator dapat menaikkan atau menurunkan tegangan yang diterima dari pembangkit listrik agar tegangannya disesuaikan dan bisa ditransmisikan sampai ke beban rumah tangga. Tap changer adalah alat yang berfungsi untuk mengubah perbandingan belitan transformator untuk mendapat tegangan operasi pada sisi sekunder sesuai yang dibutuhkan oleh tegangan jaringan (beban). Hasil Perbandingan belitan transformator bergantung pada vector group yang digunakan. Pengukuran perbandingan belitan dapat dilakukan dengan menggunakan alat Transformer Turn Ratio Test (TTR), dengan toleransi yang diijinkan 0,5 % dari rasio tegangan atau 1/10 dari persentase impedansi pada tapping nominal.

Kata Kunci: *transformator, tap changer, perbandingan belitan, vector group, turn ratio test, rasio tegangan.*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Transformator yang biasa diistilahkan dengan transformer atau 'trafo' adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik (EMF Induction) yang terjadi antara 2 induktor (kumparan) atau lebih. Umumnya pada trafo terdapat kumparan primer dan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluksi yang menginduksikan tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiannya beban) maka akan mengalir arus pada kumparan ini. Jadi kumparan sebagai alat transformasi tegangan dan arus. Perubahan perbandingan kumparan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder sesuai yang diinginkan dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah adalah tap *changer*. merubah perbandingan jumlah kumparan primer dan

kumparan sekunder sesuai dengan vektor group yang digunakan. Jadi rasio perbandingan tegangan berbanding lurus dengan rasio perbandingan lilitan/kumparan. Tujuan dari pengujian ratio belitan pada dasarnya untuk mendiagnosa adanya masalah dalam antar belitan dan seksi-seksi sistem isolasi pada trafo. pengujian ini akan mendeteksi adanya hubung singkat atau tidaknormalan pada tap changer.

1.2. Rumusan Masalah

Hal-hal yang harus diketahui sebelum pengukuran dilakukan antara lain:

1. Spesifikasi transformator yang akan diuji.
2. Nilai ratio perbandingan belitan dari transformator.
3. Kondisi tempat pengujian.

1.3. Batasan Masalah

Sesuai masalah yang ada, maka laporan ini dibatasi dan diutamakan pada:

1. Tipe dan jenis transformator yang di produksi di PT. XYZ.

2. Membahas pengujian perbandingan transformator distribusi.
3. Jenis tap changer transformator secara umum.
4. Proses dan analisis pengukuran perbandingan belitan hanya pada vektor group Dyn5

1.4. Tujuan dan Manfaat Penulisan

1. Tujuan dari penulisan laporan ini adalah:
 - Agar penulis dapat lebih memahami proses dan analisa pengukuran perbandingan belitan pada transformator distribusi.
 - Agar penulis dapat lebih memahami tipe dan jenis transformator.
 - Agar penulis dapat mengetahui item-item pengujian transformator.
2. Manfaat dari penulisan laporan ini antara lain:
 - Dapat mengetahui cara pengujian perbandingan belitan transformator distribusi.
 - Memperdalam pengetahuan tentang transformator distribusi.

1.5. Metode Penelitian

Metode-metode yang dilakukan dalam penulisan laporan ini antara lain:

1. Wawancara yaitu berkonsultasi langsung dengan pembimbing mengenai proses pengujian transformator.
2. Eksperimen yaitu langsung melakukan pengujian transformator.

1.6 Transformator

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Seperti pada Gambar 1.1, kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak balik akan muncul didalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi sendiri (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut

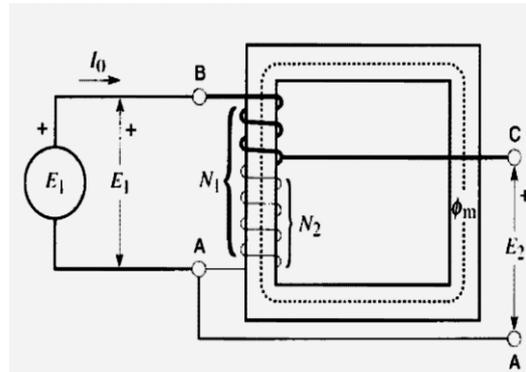
sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet dikumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetisasi). Secara umum suatu kumparan dialiri arus bolak-balik akan timbul Φ , lalu timbul tegangan induksi sebesar:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$



Gambar 1.1 Transformator (Sumber: PT. XYZ)

Autotransformator

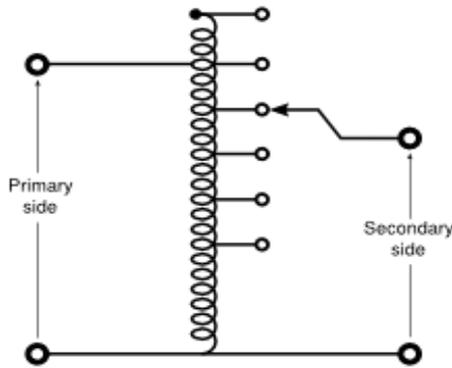


Gambar 1.2 Autotransformator

Gambar 1.2 menunjukkan rangkaian ekuivalen Autotransformator. Transformator jenis ini hanya terdiri dari satu lilitan dengan sadapan tengah. Dalam transformator ini, sebagian lilitan primer merupakan lilitan sekunder. Fasa arus dalam lilitan sekunder selalu berlawanan dengan arus primer, sehingga arus yang mengalir ke beban merupakan jumlah dari arus primer dan sekunder. Akibatnya untuk nilai daya yang sama, lilitan sekunder dapat dibuat dengan kawat yang lebih tipis dibandingkan transformator biasa. Keuntungan dari auto-

transformator adalah ukuran fisiknya yang kecil dan nilai rugi dayanya lebih rendah daripada transformator biasa. Autotransformator biasanya digunakan untuk menaikkan tegangan dengan nilai tidak lebih dari 1,5 kali tegangan awal.

Autotransformator Variabel



Gambar 1.3 Autotransformator Variabel

Gambar 1.3 menunjukkan rangkaian ekuivalen Autotransformator Variabel. Transformator jenis ini merupakan varian dari autotransformator biasa yang dilengkapi dengan sadapan tengah yang fleksibel (dapat dirubah-rubah). Dari perubahan sadapan tengah ini dapat diperoleh perbandingan kumparan primer dan sekunder yang berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan.

Pada prinsipnya, transformator tiga fasa sama dengan transformator satu fasa, perbedaannya adalah seperti perbedaan sistem listrik satu fasa dengan sistem listrik tiga fasa yaitu mengenal sistem bintang (Y) dan delta (Δ), serta sistem zig-zag (Z), dan juga sistem bilangan jam yang sangat menentukan untuk kerja paralel transformator tiga fasa. Untuk menganalisa transformator daya tiga fasa dilakukan dengan memandang atau menganggap 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 dikaitkan dengan nilai √3.

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

Pada hubungan wye-wye (Y-Y) Tegangan primer pada masing-masing fasa adalah:

$$V_{\Phi P} = \frac{V_{ST}}{\sqrt{3}}$$

$$\frac{V_{ST}}{V_{st}} = \frac{\sqrt{3}V\phi P}{\sqrt{3}V\phi S} = a$$

Maka diperoleh perbandingan tegangan transformator:

Pada hubungan wye-delta (Y-Δ) tegangan kawat ke kawat primer sebanding dengan tegangan fasa primer:

Tegangan kawat-kawat sekunder sebanding dengan tegangan fasa:

$$V_{rs} = V\phi S$$

Maka diperoleh perbandingan tegangan transformator:

$$V_{RS} = \sqrt{3} V_{\Phi P}$$

$$\frac{V_{RS}}{V_{rs}} = \frac{\sqrt{3}V\phi P}{V\phi S} = \sqrt{3}a$$

Pada hubungan wye-delta (Δ-Y) tegangan kawat ke kawat primer sebanding dengan tegangan fasa primer: $V_{RS} = V\phi P$

Tegangan kawat-kawat sekunder sebanding dengan tegangan fasa:

$$V_{rs} = \sqrt{3} V_{\Phi S}$$

Maka diperoleh perbandingan tegangan transformator:

$$\frac{V_{RS}}{V_{rs}} = \frac{V\phi P}{\sqrt{3}V\phi S} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

Sedangkan pada hubungan wye-delta (Δ-Δ) diperoleh:

$$V_{RS} = V_{ST} = V_{RT} = V_{LN}$$

Arus pada transformator hubungan delta:

$$I_L = \sqrt{3} I_P$$

Lilitan Transformator

Trafo mempunyai 2 lilitan yaitu lilitan primer dan lilitan sekunder. Lilitan primer terhubung dengan sumber, sedangkan lilitan sekunder dihubungkan dengan beban. Lilitan dibuat dari bahan tembaga yang dilapisi dari dengan bahan isolasi. Untuk trafo dengan daya besar lilitan dimasukkan dalam minyak trafo untuk keperluan pendinginan. Banyaknya lilitan akan menentukan besar tegangan dan arus yang ada pada sisi sekunder.



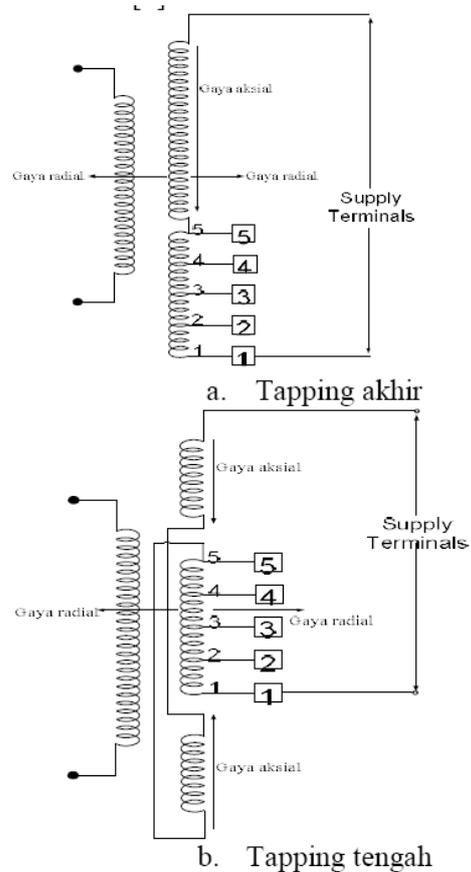
Gambar 1.4 Lilitan Transformator

Tap Changer

Tap changer atau pengubah tapping adalah suatu alat pengubah tegangan dengan mengubah rasio perbandingan belitan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder akibat adanya perubahan tegangan pada sisi primer. Tegangan keluaran atau tegangan terminal konsumen dapat dikendalikan dengan pemasangan tapping pada sisi primer atau pada sisi sekunder transformator. Perubahan posisi tapping dikendalikan oleh tap *changer*. Prinsip pengaturan tegangan sekunder berdasarkan perubahan jumlah belitan primer atau sekunder. V_1 , N_1 dan V_2, N_2 adalah parameter primer dan sekunder.

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \quad V_2 = \frac{V_1}{N_1} \times N_2$$

Tapping dapat dibuat di awal, di akhir dan di tengah belitan transformator ditunjukkan Gambar 2.14



Gambar 1.5 Posisi tapping pada belitan transformator

Tap *changer* tanpa beban biasanya digunakan pada transformator distribusi dimana tegangannya lebih stabil, sehingga pengaturan tappingnya dilakukan pada saat pemasangan transformator kedalam sistem tenaga listrik dan dalam jangka waktu lama. Suatu transformator, tapping dibuat pada sisi primer. Ketika semua belitan primer dalam rangkaian terhubung kesumber tegangan, tegangan sekundernya adalah:

$$V_{s1} = \frac{V_2}{N_2} \times N_s$$

$$V_{s2} = \frac{V_1 - IX_r}{N_1} \times N_s$$

$$V_{s3} = \frac{2V_1}{N_1 + N_2} \times N_s$$

$$V_{s4} = \frac{V_1 - IX_r}{N_2} \times N_s$$

$$V_{s5} = \frac{V_1}{N_2} \times N_s$$

Terdapat dua macam tap changer yang dibedakan berdasarkan kondisi kerjanya yaitu:

1. *Off load tap changer*

Adalah tap changer yang dioperasikan dalam keadaan tak berbeban. Tap changer ini dipasang pada trafo utama dan dioperasikan secara manual dengan memutar engkol sebelum mengoperasikannya, trafo harus dibebaskan dari sumber tegangan (off).

2. *On load tap changer*

Tap changer yang selama pindah tap, trafo tetap terhubung dengan sumber tegangan. Alat ini dipasang pada trafo pemakaian sendiri. Cara pengoperasian alat ini bisa dilakukan secara manual maupun otomatis

Komponen Tap Changer

1. *Tap Selector*

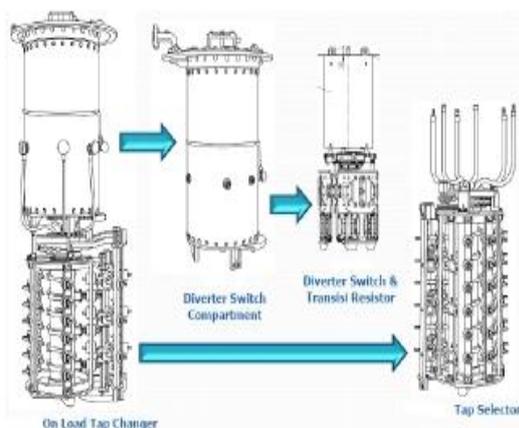
Tap Selector merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal terminal untuk menentukan posisi tap atau ratio belitan primer

2. *Diverter Switch*

Berfungsi untuk melakukan transisi perpindahan tap naik atau turun dan menjaga koneksi pada saat *selector switch* melakukan perpindahan *switch-tap*.

3. *Diverter Resistor*

Berfungsi sebagai tahanan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan tap



Gambar 1.6 Komponen Tap Changer

Proses perpindahan tap pada diverter switch melalui proses yang cepat dan tanpa memutuskan rangkaian tenaga trafo. Proses kerja *diverter switch* dari *Tap-Changer*

digambarkan pada gambar 1.8. Pertama *tap selector* akan mengubah posisi tap (tahap 1-3). Kemudian *diverter switch* akan bergerak dari sisi kiri dan mengalami kontak dengan *diverter resistor*. Pada saat ini arus akan mengalir melalui *diverter resistor*. *Diverter switch* akan terus bergerak hingga mencapai sisi kanan (tahap 7) dan perpindahan posisi tap selesai dilakukan.



Gambar 1.7 Proses Kerja Diverter Switch

2. ANALISA DAN PEMBAHASAN

2.1 Proses Pengukuran

Hal yang harus diketahui sebelum dilakukan proses pengukuran belitan. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam melakukan pengukuran belitan pada transformator, yaitu:

- Kepala seksi Connection menerima *design* trafo.
- Pelajari design dan hal-hal yang akan dilakukan.
- Pastikan trafo sudah terkoneksi dengan *tap changer*.
- Sesuaikan nomor "work order" pada transformator dengan gambar design yang dimaksud.
- Siapkan alat yang akan digunakan untuk melakukan pengukuran/pengelasan.

2.1.1 Objek Pengujian

Objek pengujian yang digunakan dalam percobaan ini adalah transformator. Transformator yang diuji dalam percobaan dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Trafo 3 fasa
- Kapasitas 250 kVA
- Rated tegangan 20.000 Volt / 400 Volt
- Frekuensi 50 Hz
- Hubungan: Dyn 5



Gambar 2.1. Core-coil Transformator 250 kVA yang telah Terkoneksi.



Gambar 2.2. Core-coil Transformator 250 kVA yang telah Terkoneksi.

2.1.2 Peralatan Pengujian

Dalam melakukan pengujian/perobaan ini digunakan peralatan yang tersedia di Departemen Produksi II PT. TRAFINDO PRIMA PERKASA, Tangerang. Peralatan tersebut adalah *Cranked Transformer Turns Ratio Tester*, digunakan untuk mengetahui jumlah belitan pada Transformator.



Gambar 2.3. Single Phase Hand Cranked TTR

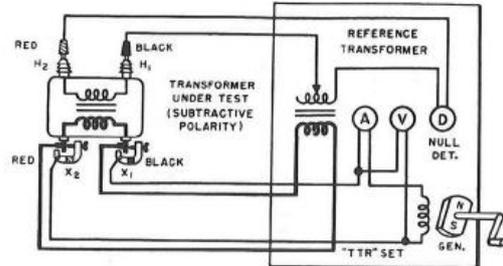
2.1.3 Alat hitung (kalkulator)

Digunakan untuk mengetahui apakah jumlah belitan sesuai atau masih masuk dalam toleransi.

2.1.4 Hubungan Belitan untuk TTR

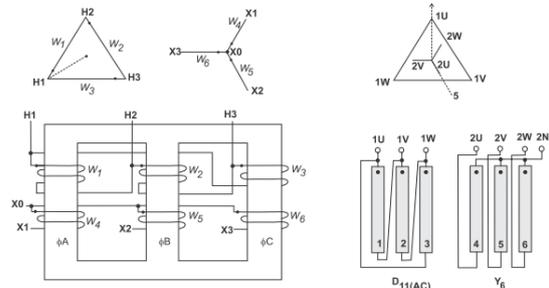
Dalam melakukan pengujian/perobaan ini perlu diketahui cara menghubungkan alat pada transformator, berikut adalah hal yang harus diketahui:

Diagram Skematik untuk set TTR



Gambar 2.4. Diagram Skematik untuk set TTR

Vector Group



Gambar 2.5. Vector Group Dyn5

Tabel Hubungan Belitan Fasa

Diag No.	IEC Vector Group	Winding Connection		Phase Tested	Winding Shorted By TTR	Winding Tested		Measured Turn Ratio
		High-Voltage Winding (H)	Low-Voltage Winding (X)			High-Voltage Winding	Low-Voltage Winding	
8	YNym6			A B C	—	H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	X ₁ - X ₁ X ₂ - X ₂ X ₃ - X ₃	$\frac{V_H}{V_X}$
9	YNd1			A B C	—	H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	X ₁ - X ₂ X ₂ - X ₃ X ₃ - X ₁	$\frac{V_H}{V_X \cdot \sqrt{3}}$
10	YNd7			A B C	—	H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	X ₂ - X ₁ X ₃ - X ₂ X ₁ - X ₃	$\frac{V_H}{V_X \cdot \sqrt{3}}$
11	Dy1			A B C	H ₂ - H ₃ H ₁ - H ₂ H ₃ - H ₁	H ₁ - (H ₂ -H ₃) H ₂ - (H ₁ -H ₃) H ₃ - (H ₁ -H ₂)	X ₁ - X ₂ X ₂ - X ₃ X ₃ - X ₁	$\frac{V_H \cdot \sqrt{3}}{V_X}$
12	Dyn5			A B C	—	H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	X ₁ - X ₂ X ₂ - H ₃ X ₃ - X ₁	$\frac{V_H \cdot \sqrt{3}}{V_X}$

Tabel 2.1 Hubungan Belitan Fasa

Perbandingan Penanda Terminal Transformator menurut standar ANSI dengan IEC.

Terminal on high-voltage side of transformer		Terminal on low-voltage side of transformer	
ANSI/IEEE Standard	IEC/VDE Standard	ANSI/IEEE Standard	IEC/VDE Standard
H ₁	U	X ₁	u
H ₂	V	X ₂	v
H ₃	W	X ₃	w
H ₀	N	X ₀	n

Tabel 2.2 Perbandingan Penandaan Terminal Transformator

Definisi simbol penandaan

H₁ H₂ H₃: Terminal Eksternal pada Belitan HV Transformator.

X₁ X₂ X₃: Terminal Eksternal pada Belitan LV Transformator.

H₀ : Terminal Eksternal Netral Belitan HV Transformator.

X₀ : Terminal Eksternal Netral Belitan LV Transformator.

V_H : Label Nama Tegangan (line-to-line) dari Belitan HV Transformator

V_x : Label Nama Tegangan (line-to-line) dari Belitan LV Transformator

A, B, C : Lilitan Diuji pada sisi HV Transformator

a, b, c, : Lilitan Diuji pada sisi LV Transformator

2.2 Prosedur Pengujian

- 1) Rangkaian dibuat seperti diagram skematik.
- 2) Hubungkan probe/input alat TTR sesuai dengan polaritasnya ke terminal LV dan HV sesuaikan dengan Vector Groupnya seperti pada tabel 4.1
- 3) Lakukan perhitungan Angka Transformasi untuk menentukan setting pada alat TTR.

$$\text{Perbandingan Belitan} = \frac{V_{H.\sqrt{3}}}{V_X}$$

Lakukan setting alat TTR dengan mengacu ke perhitungan diatas yaitu:
 Selektor I = Menunjukkan angka pertama
 Selektor II = Menunjukkan angka kedua
 Selektor III = Menunjukkan angka ketiga
 Selektor IV = Menunjukkan angka keempat dan kelima

- 4) Putar Handle kearah putaran jarum jam sehingga jarum Nul Detector dijaga tetap pada angka 0 (Nol).
- 5) Catat hasil yang didapat.

- 6) Lakukan untuk setiap coil.
- 7) Hasil test dinyatakan memenuhi persyaratan apabila masuk toleransi ± 0.5 %.



Gambar 2.6. Foto Pengujian Perbandingan Belitan

2.3 Data Hasil Pengujian

Data perbandingan belitan pada Transformator yang didapat saat melakukan pengujian.

No.	TAP 1	TAP 2	TAP 3	TAP 4	TAP 5	TAP 6	TAP 7
I	90.988	88.791	86.636	84.468	82.293	80.118	77.980
II	90.980	88.802	86.630	84.460	82.310	80.310	78.003
III	90.992	88.790	86.639	84.470	82.298	80.119	77.981

Tabel 2.3. Data perbandingan Belitan (Sumber: PT. XYZ)

Perhitungan perbandingan belitan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Perbandingan Belitan} = \frac{V_{H.\sqrt{3}}}{V_X}$$

Keterangan:

V_H = Tegangan Primer per tap

V_x = Tegangan Sekunder

Sumber: manual book megger 550005B

2.4 Analisis Data

Data Tegangan Primer Per Tap

HV.TAP.VOLT	SV POS
21000	1
20500	2
20000	3
19500	4
19000	5
18500	6
18000	7

Tabel 2.4. Data Tegangan Primer per Tap (Sumber: Dokumen PT. XYZ)

2.5 Data Standart Perbandingan Belitan

SW POS	V _H (V)	V _X (V)	$\frac{V_H \cdot \sqrt{3}}{V_X}$	Toleransi	
				Minimum(0.5%)	Maximum(1.05%)
1	21000	400	90,93	90,47535	91,88477
2	20500	400	88,765	88,32118	89,69703
3	20000	400	86,6	86,167	87,5093
4	19500	400	84,435	84,01283	85,32157
5	19000	400	82,27	81,85865	83,13384
6	18500	400	80,105	79,70448	80,9461

Tabel 2.5. Data Standart perbandingan Belitan (Sumber: Dokumen PT. XYZ)

3. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pengujian perbandingan belitan dari sebuah trafo distribusi dengan spesifikasi:

- Trafo 3 fasa
- Kapasitas 250 kVA
- Rated tegangan 20.000 Volt / 400 Volt
- Frekuensi 50 Hz
- Hubungan: Dyn 5

Dengan menggunakan alat "*Test Turn Ratio*" maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jumlah belitan rata-rata pada:
 - Tap 1 dari ketiga fasa 90.987
 - Tap 2 dari ketiga fasa 88.794
 - Tap 3 dari ketiga fasa 86.635
 - Tap 4 dari ketiga fasa 84.466
 - Tap 5 dari ketiga fasa 82.300
 - Tap 6 dari ketiga fasa 80.182
 - Tap 7 dari ketiga fasa 77.988
2. Dengan mengamati hasil percobaan tersebut dengan membandingkan standart yang ada pada PT. XYZ nilai jumlah belitan masuk dalam batas toleransi yang diberikan, maka transformator yang diuji memenuhi standart.
3. Jumlah belitan/lilitan sangat berpengaruh pada hasil tegangan yang dihasilkan.
4. Dengan melakukan pengujian tersebut kita dapat mengetahui kesalahan dalam melakukan penggulungan coil, kesalahan koneksi (vector group), kegagalan isolasi yang mengakibatkan short.

DAFTAR PUSTAKA

A.L.Tobing, Sianipar Bayu T., Studi Perbandingan Belitan Transformator Distribusi Tiga Fasa Pada Saat Penggunaan Tap Changer, Jurusan Teknik Elektro USU, Sumatra Utara, 2013.

Kadir, A., *TRANSFORMATOR*, Jakarta: UI-Press, 2010.

Manual Book., Instruction Manual For The Use Of The Transformer Turn Ratio Test Sets, USA. 1987.

SPLN D3.002-1, Spesifikasi Transformator Distribusi Bagian 1: Transformator Tiga Fasa, Jakarta, 2007.

SPLN D3.002-2, Spesifikasi Transformator Distribusi Bagian 2: Transformator Dengan Pengaman Sendiri, Jakarta, 2008.