

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Untuk memenuhi kualitas tegangan pelayanan sesuai kebutuhan konsumen (PLN Distribusi), tegangan keluaran transformator harus dapat dirubah sesuai keinginan. Untuk hal itu, maka pada salah satu kedua sisi belitan transformator dibuat tap (penyadap) untuk merubah perbandingan belitan (*ratio*) transformator. Tulisan ini membahas mengenai ketepatan perbandingan belitan pada transformator distribusi pada saat penggunaan *tap changer*, dan analisa ketepatan pengukuran perbandingan pada toleransi $\pm 1 \%$. Besarnya tegangan masukan awal tiap transformator adalah 20 kV. Setelah dilakukan 7 tapping, besarnya tegangan keluaran yang diinginkan adalah 400/231 Volt.

Jumlah belitan sekunder transformator dihitung/diukur secara manual dengan menggunakan alat penghitung jumlah belitan transformator. Kemudian besarnya belitan primer perhitungan diperoleh dengan mengalikan jumlah belitan sekunder terhadap persamaan perbandingan tegangan yang besarnya sama dengan perbandingan belitan. Sedangkan besarnya perbandingan belitan dapat diperoleh dari perbandingan tegangan masukan tiga phasa dengan tegangan keluaran satu phasa. Dengan memberikan nilai toleransi sebesar $\pm 1 \%$ maka akan diperoleh besarnya nilai perbandingan belitan maksimum dan perbandingan belitan minimum. Dengan mengalikan jumlah belitan sekunder dengan nilai perbandingan belitan maksimum dan minimumnya maka akan diperoleh batasan nilai maksimum dan minimum jumlah belitan primer dari tiap transformator. Setelah itu akan dihitung jumlah belitan primer pengukuran dengan mengalikan nilai belitan sekunder dengan data hasil pengukuran (*transformator turn ratio*).

4.2 Pengukuran dan pengambilan data

4.2.1 Hal yang harus diketahui sebelum dilakukan proses pengukuran belitan.

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam melakukan pengukuran belitan pada transformator, yaitu :

- a) Kepala seksi *Connection* menerima *design* trafo
- b) Pelajari design dan hal – hal yang akan dilakukan
- c) Pastikan trafo sudah terkoneksi dengan tap changer.
- d) Sesuaikan nomor “*work order*” pada transformator dengan gambar design yang dimaksud.
- e) Persiapkan alat yang akan digunakan untuk melakukan pengukuran/pengetesan.

4.2.2 Objek Pengujian

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

- a) Trafo 3 phasa
- b) Kapasitas 50, 160, 250 kVA
- c) Rated tegangan 20.000 Volt / 400 Volt
- d) Frekuensi 50 Hz
- e) Hubungan : Dyn5 dan Yzn5



Gambar 4.1. Core-coil Transformator 250 kVA yg telah Terkoneksi

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)



Gambar 4.2. Core-coil Transformator 250 kVA yg telah Terkoneksi

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

4.2.3 Peralatan Pengujian

Dalam melakukan pengujian / percobaan ini digunakan peralatan yang tersedia di Departemen Produksi II PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA, Tangerang. Peralatan tersebut adalah :

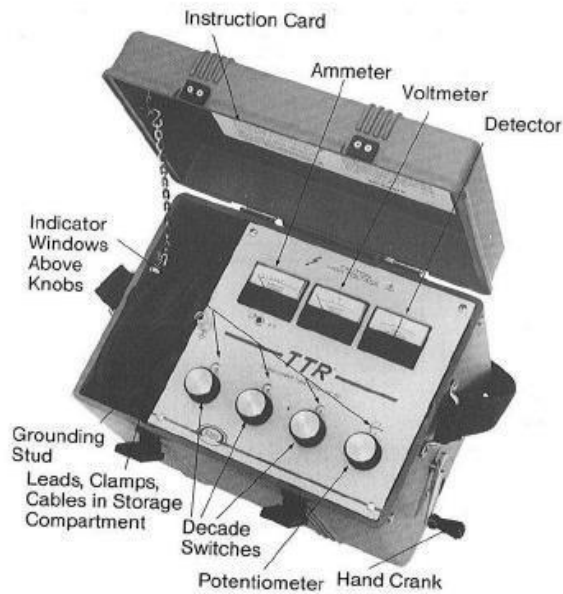
- a) *Cranked Transformer Turns Ratio Tester.*

Digunakan untuk mengetahui jumlah belitan pada Transformator.



Gambar 4.3. *Single Phase Hand Cranked TTR*

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)



Gambar 4.4. Bagian TTR

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

a) Alat hitung (kalkulator)

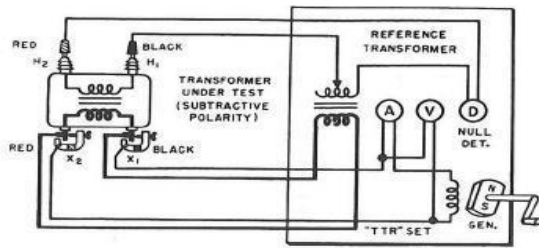
Digunakan untuk mengetahui apakah jumlah belitan sesuai atau masih masuk dalam toleransi.

4.2.4 Hubungan Belitan untuk TTR

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

a) Diagram Skematik untuk set TTR

Gambar dibawah ini menunjukkan diagram skematik pada setting alat Transformator Turn Ratio Tester (TTR).

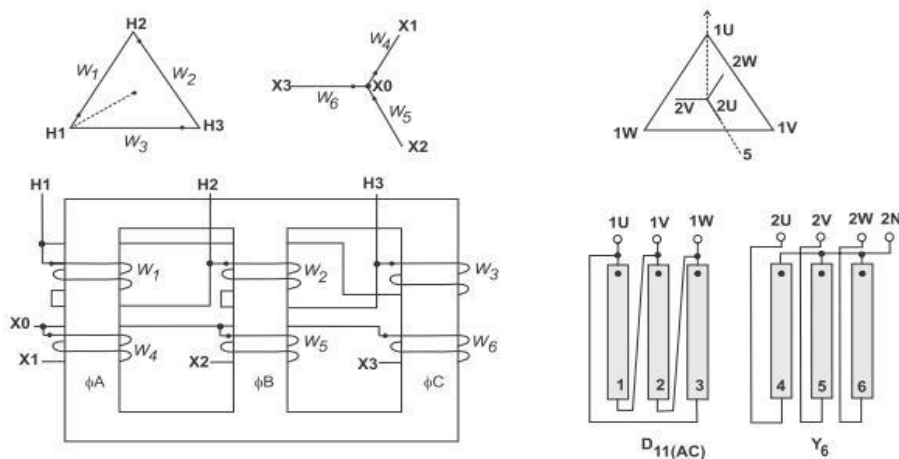


Gambar 4.5. Diagram Skematik untuk set TTR

(Sumber : manual book megger 550005B)

b) *Vector Group*

Gambar dibawah merupakan *vector group* untuk belitan delta dan bintang.



Gambar 4.6. *Vector Group* Dyn5

(Sumber : manual book megger 550005B)

c) Tabel Hubungan Belitan Fasa

Notasi hubungan lilitan pada sisi primer atau sisi sekunder suatu transformator 3 phase secara garis besar dapat dihubungkan menurut 3 cara yaitu ; hubungan bintang (Y), delta (D), dan zig zag (Z). Dalam praktek hubungan bintang dan delta yang paling banyak dipergunakan, sedangkan hubungan zig zag jarang dilaksanakan karena kesulitan dalam konstruksinya terutama pada sisi tegangan tinggi sangat tidak dianjurkan.

Tabel 4.1. Hubungan Belitan Fasa

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

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	YNyn6			A B C	—	H ₁ - H ₀ H ₂ - H ₀ H ₃ - H ₀	X ₀ - X ₁ X ₀ - X ₂ X ₀ - X ₃	$\frac{V_H}{V_X}$
9	YNd1			A B C	—	H ₁ - H ₀ H ₂ - H ₀ H ₃ - H ₀	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 ₀ H ₂ - H ₀ H ₃ - H ₀	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 ₁ - H ₂ H ₁ - H ₃ H ₂ - H ₁	H ₁ - (H ₂ -H ₃) H ₂ - (H ₁ -H ₃) H ₃ - (H ₂ -H ₁)	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 ₁ H ₃ - H ₂	X ₁ - X ₀ X ₂ - X ₀ X ₃ - X ₀	$\frac{V_H \cdot \sqrt{3}}{V_X}$

d) Perbandingan Penanda Terminal Transformator menurut standar ANSI dengan IEC.

Berikut merupakan tabel perbandingan penanda terminal menurut ANSI dengan IEC.

Tabel 4.2. Perbandingan Penandaan Terminal Transformator

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

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

- e) 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

4.2.5 Prosedur Pengujian

- a) Rangkaian dibuat seperti diagram skematik.
- b) Hubungkan probe/input alat TTR sesuai dengan polaritasnya ke terminal LV dan HV sesuaikan dengan *Vector Group*nya seperti pada tabel 4.1
- c) Lakukan perhitungan Angka Transformasi untuk menentukan setting pada alat TTR.

$$\text{Angka Transformasi} = \frac{HV\sqrt{3}}{LV} \text{ dan } \frac{HV}{LV\sqrt{3}}$$

Lakukan setting alat TTR dengan mengacu ke perhitungan diatas yaitu :

Selektor I = Menunjukkan angka pertama

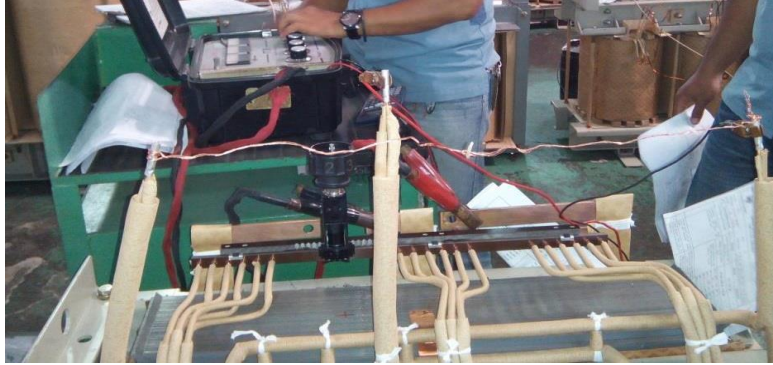
Selektor II = Menunjukkan angka kedua

Selektor III = Menunjukkan angka ketiga

Selektro IV = Menunjukkan angka keempat dan kelima

- d) Putar *handle* kearah putaran jarum jam sehingga jarum *Nul Detector* dijaga tetap pada angka 0 (Nol).
- e) Catat hasil yang didapat.
- f) Lakukan untuk setiap *coil*.

- g) Hasil test dinyatakan memenuhi persyaratan apabila masuk toleransi \pm 1%.



Gambar 4.7 Foto Pengujian Perbandingan Belitan

(Sumber: PT. TRAFINDO PRIMA PERKASA)

4.2.6 Perbandingan Belitan Transformator Distribusi Tiga fase pada Saat Penggunaan Tap *Changer*

Untuk mendapatkan data-data yang diperlukan selama penulisan, penulis melakukan pengamatan dan pengukuran terhadap tiga buah transformator di PT. TRAFINDO PRIMA PERKASA. Adapun ketiga transformator tersebut memiliki kapasitas dan jumlah belitan sekunder yang berbeda, namun tipe hubungan belitan, tegangan masukan dan tegangan keluarannya sama. Pada table 4.3 dibawah ditunjukkan jumlah belitan sekunder untuk masing-masing transformator.

Tabel 4.3. Data perbandingan Belitan

(Sumber: PT. TRAFINDO PRIMA PERKASA)

Kapasitas Transformator (kVA)	Jumlah belitan sekunder (Turn)
50	60
100	50
160	40
250	30

4.2.7 Analisis Perbandingan Belitan Transformator

Alat yang digunakan untuk pengukuran adalah *Transformer Turn Ratio Test* atau (TTR). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah perbandingan belitan pada masing–masing kumparan telah sesuai atau belum. Pada alat pengujian terdapat 4 kawat, dimana 2 kawat dihubungkan ke primer dan 2 kawat lagi ke sekunder. Dengan cara memutar *handle* dan mengatur tap. Pengukuran ini dilakukan untuk berbagai tapping, sehingga diperoleh perbandingan belitan trafo untuk tiap *tapping*. Berdasarkan IEC, penyimpangan angka pebandingan trafo terhadap harga nominal yang diizinkan mempunyai toleransi $\pm 1\%$.

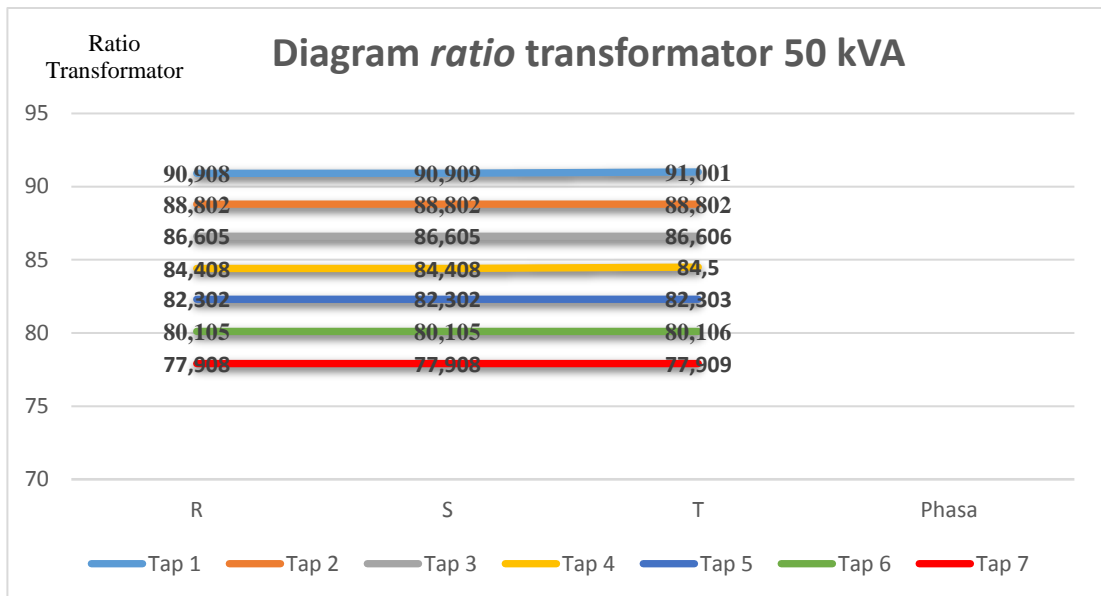
4.2.8 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengukuran perbandingan belitan transformator (TTR) pada tiap tap masing-masing phasa untuk setiap transformator ditunjukkan pada tabel. Besarnya perbandingan belitan pada transformator 50 kVA ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4. Data perbandingan Belitan pada transformator 50 kVA

(Sumber: PT. TRAFINDO PRIMA PERKASA)

Phasa	<i>Ratio Transformator pada tap changer</i>						
	TAP 1	TAP 2	TAP 3	TAP 4	TAP 5	TAP 6	TAP 7
R	90,908	88,802	86,605	84,408	82,302	80,105	77,908
S	90,909	88,802	86,605	84,408	82,302	80,105	77,908
T	91,001	88,802	86,606	84,500	82,303	80,106	77,909



Gambar 4.8. Diagram *ratio* transformator 50kVA

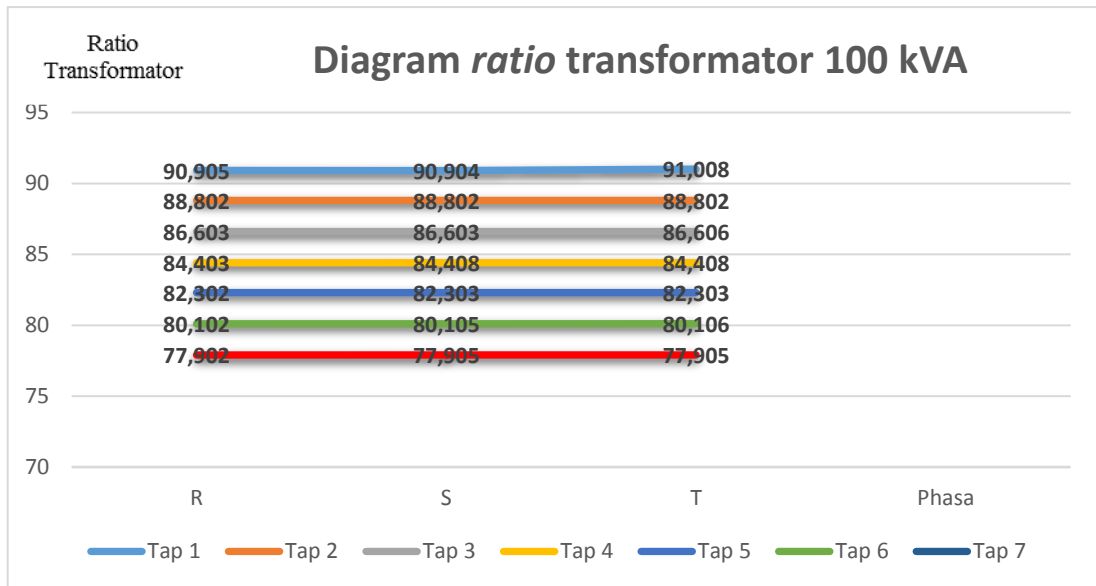
Pada pengukuran ini didapatkan hasil pengukuran ratio transformator dengan alat TTR. Dengan alat ini ternyata pengukuran alat dengan pengukuran rumus didapatkan hasil yang berbeda. Akan tetapi hasil tersebut masih dalam jumlah angka toleransi sebesar $\pm 1\%$. Jadi transformator tersebut lulus dalam tahap pengukuran *ratio* transformator.

Besarnya perbandingan belitan pada transformator 100 kVA ditunjukkan pada tabel 4.5

Tabel 4.5. Data perbandingan Belitan pada transformator 100 kVA

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

Phasa	<i>Ratio</i> Transformator pada tap <i>changer</i>						
	TAP 1	TAP 2	TAP 3	TAP 4	TAP 5	TAP 6	TAP 7
R	90,905	88,802	86,603	84,403	82,302	80,102	77,902
S	90,904	88,803	86,603	84,408	82,303	80,105	77,905
T	90,908	88,802	86,606	84,408	82,303	80,106	77,905



Gambar 4.9. Diagram Ratio Transformator 100kVA

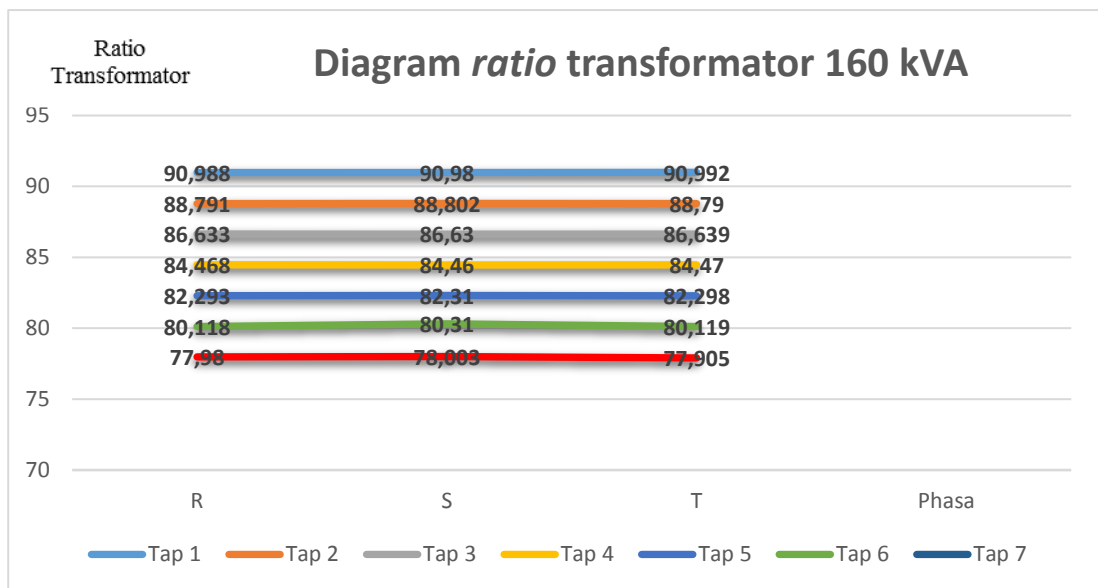
Pada pengukuran ini didapatkan hasil pengukuran ratio transformator dengan alat TTR. Dengan alat ini ternyata pengukuran alat dengan pengukuran rumus didapatkan hasil yang berbeda. Akan tetapi hasil tersebut masih dalam jumlah angka toleransi sebesar $\pm 1\%$. Jadi transformator tersebut lulus dalam tahap pengukuran *ratio* transformator.

Besarnya perbandingan belitan pada transformator 160 kVA ditunjukkan pada tabel 4.6

Tabel 4.6. Data perbandingan Belitan pada transformator 160 kVA

(Sumber: PT. TRAFINDO PRIMA PERKASA)

Phasa	<i>Ratio</i> Transformator pada tap <i>changer</i>						
	TAP 1	TAP 2	TAP 3	TAP 4	TAP 5	TAP 6	TAP 7
R	90,988	88,791	86,636	84,468	82,293	80,118	77,980
S	90,980	88,802	86,630	84,460	82,310	80,310	78,003
T	90,992	88,790	86,639	84,470	82,298	80,119	77,981



Gambar 4.10. Diagram *ratio* transformator 160 kVA

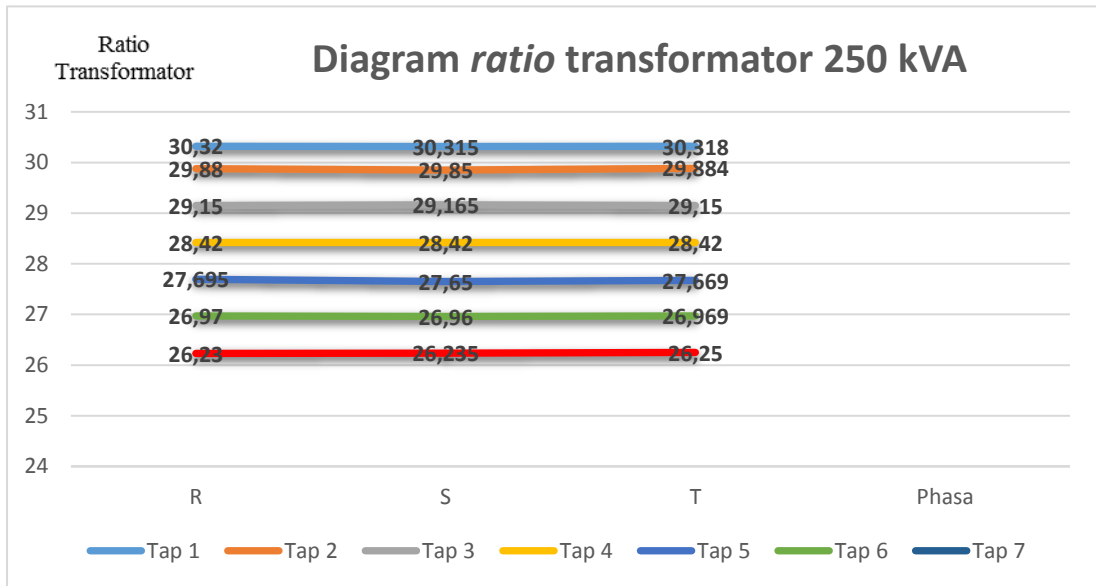
Pada pengukuran ini didapatkan hasil pengukuran ratio transformator dengan alat TTR. Dengan alat ini ternyata pengukuran alat dengan pengukuran rumus didapatkan hasil yang berbeda. Akan tetapi hasil tersebut masih dalam jumlah angka toleransi sebesar $\pm 1\%$. Jadi transformator tersebut lulus dalam tahap pengukuran *ratio* transformator.

Besarnya perbandingan belitan pada transformator 250 kVA ditunjukkan pada tabel 4.7

Tabel 4.7. Data perbandingan Belitan pada transformator 250 kVA

(Sumber: PT. TRAFINDO PRIMA PERKASA)

Phasa	<i>Ratio</i> Transformator						
	TAP 1	TAP 2	TAP 3	TAP 4	TAP 5	TAP 6	TAP 7
R	30,320	29,880	29,150	28,420	27,695	26,970	26,230
S	30,315	29,850	29,165	28,420	27,650	26,960	26,235
T	30,318	29,884	29,150	28,420	27,669	26,969	26,250



Gambar 4.11. Diagram *ratio* transformator 250 kVA

Pada pengukuran ini didapatkan hasil pengukuran ratio transformator dengan alat TTR. Dengan alat ini ternyata pengukuran alat dengan pengukuran rumus didapatkan hasil yang berbeda. Akan tetapi hasil tersebut masih dalam jumlah angka toleransi sebesar $\pm 1\%$. Jadi transformator tersebut lulus dalam tahap pengukuran *ratio* transformator.

Perhitungan perbandingan belitan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Perbandingan Belitan} \quad Y_{zn5} = \frac{HV\sqrt{3}}{LV} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$Dyn5 = \frac{HV}{LV\sqrt{3}} \dots\dots\dots (4.2)$$

Keterangan :

HV = Tegangan Primer per tap

LV = Tegangan Sekunder

4.3 Analisis Data Tegangan Primer Per Tap

Pada transformator distribusi 3 phasa mempunyai tegangan maksimal per tap. Msing-masing tap mempunyai tegangan tinggi. Berikut merupakan tabel tegangan per tap pada transformator.

Tabel 4.8. Data tegangan primer per tap

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

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

Untuk trafo 3 phasa 50 Hz 50,100,160 kVA, 20kV 400/231 Volt, memiliki tapping pada sisi sekunder sebagai berikut. Dengan toleransi $\pm 1\%$ maka dapat ditulis perbandingan transformasi adalah :

Tabel 4.9. Data perbandingan Belitan pada transformator 50,100,dan 160 kVA

SW POS	HV (V)	LV (V)	Ratio Transformator		
			$\frac{HV\sqrt{3}}{LV}$	Toleransi Minimum(0,5%)	Toleransi Maximum(1,05%)
1	21000	400	90,932	90,022	91,841
2	20500	400	88,767	87,879	89,654
3	20000	400	86,602	85,735	87,468
4	19500	400	84,437	83,592	85,281
5	19000	400	82,272	81,449	83,094
6	18500	400	80,107	79,305	80,908
7	18000	400	77,942	77,162	78,721

Maka jumlah belitan primer per-tap pada toleransi 1% adalah :

Tapping 1 : Maksimal : 91,841 x 60 = 5510 lilitan

Minimal : 90,022 x 60 = 5401 lilitan

Tapping 2 : Maksimal : 89,654 x 60 = 5379 lilitan

Minimal : 87,879 x 60 = 5272 lilitan

Tapping 3 : Maksimal : 87,468 x 60 = 5248 lilitan

Minimal : 85,735 x 60 = 5144 lilitan

Tapping 4 : Maksimal : 85,281 x 60 = 5117 lilitan

Minimal : 83,592 x 60 = 5015 lilitan

Tapping 5 : Maksimal : 83,094 x 60 = 4986 lilitan

Minimal : 81,449 x 60 = 4887 lilitan

Tapping 6 : Maksimal : 80,908 x 60 = 4854 lilitan

Minimal : 79,305 x 60 = 4758 lilitan

Tapping 7 : Maksimal : 78,721 x 60 = 4723 lilitan

Minimal : 77,162 x 60 = 4230 lilitan

Untuk trafo 3 phasa 50 Hz 250 kVA, 20kV 400/231 Volt, memiliki tapping pada sisi sekunder sebagai berikut. Dengan toleransi $\pm 1\%$ maka dapat ditulis perbandingan transformator adalah :

Tabel 4.10. Data perbandingan Belitan pada transformator 250 kVA

SW POS	HV (V)	LV (V)	<i>Ratio Transformator</i>		
			$\frac{HV}{LV\sqrt{3}}$	Toleransi Minimum(0,5%)	Toleransi Maximum(1,05%)
1	21000	400	30,310	30,613	30,006
2	20500	400	29,589	29,884	29,293
3	20000	400	28,867	29,155	28,578
4	19500	400	28,145	28,426	27,863
5	19000	400	27,424	27,698	27,149
6	18500	400	26,702	26,969	26,434
7	18000	400	25,980	26,239	25,720

Tabel 4.11. Data perbandingan Belitan primer pada transformator

Daya (kVA)	Jumlah Belitan Primer Transformator													
	<i>Tapping 1</i>		<i>Tapping 2</i>		<i>Tapping 3</i>		<i>Tapping 4</i>		<i>Tapping 5</i>		<i>Tapping 6</i>		<i>Tapping 7</i>	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
50	5510	5410	5379	5272	5248	5144	5117	5015	4986	4887	4854	4758	4723	4230
100	4597	4501	4483	4393	4373	4286	4264	4179	4154	4072	4045	3965	3936	3858
160	3673	3600	3586	3515	3498	3429	3411	3343	3323	3257	3236	3172	3148	3086
250	918	900	896	878	874	857	852	835	830	814	800	793	787	771

Jadi pada hasil pengukuran belitan transformator harus berada diantara nilai minimum dan nilai maksimum yang telah ditetapkan. Jika hasil pengukuran diatas tidak sesuai, maka transformator tersebut harus diperbaiki dengan cara menambah atau mengurangi jumlah belitan pasa sisi primer. Kesalahan pembacaan pada alat penggulangan belitan transformator menyebabkan ketidaksesuaian jumlah belitan transformator pada hasil pengukuran dengan menggunakan ketentuan yang ditetapkan pada analisa perhitungan.

Tegangan masuk pada transformator distribusi 3 phasa 250 kVA, 20 kV, 400/231 V sebesar 20.500 V. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih mendekati dengan besarnya tegangan keluaran yang telah ditetapkan sebelumnya maka diperlukan pemilihan *tapping* yang lebih sesuai. Untuk mengetahui tapping mana yang akan dipakai maka dilakukan analisa sebagai berikut. *Tapping* yang akan dipilih misalnya adalah tapping 1 atau *tapping* 2.

Pada tap 2, besarnya tapping adalah 1%, perbandingan belitannya = 88,791.

Jika tegangan primernya adalah 20.500 V, maka berdasarkan rumus

$$a \frac{V_1}{V_2} \dots\dots\dots (4.3)$$

Diperoleh : $88,791 \frac{20.500}{V_2}$

$$V_2 = 230,8 \text{ Volt}$$

Pada tap 1, besarnya tapping adalah 1%, perbandingan belitannya 90,998. Jika tegangan primernya adalah 20.500 V, maka :

$$90,991 \frac{20.500}{V_2}$$

$$V_2 = 225,30 \text{ Volt}$$

Dalam perhitungan ini, *tapping* yang digunakan adalah *tapping* 1. Tegangan keluaran yang mendekati nilai nominal yaitu *tapping* 1, yang sudah ditentukan sebelumnya jika dibandingkan dengan *tapping* 2. Selain itu, alasan pemilihan tap 1 adalah untuk keamanan isolasi. Suatu isolator dapat rusak jika tegangan yang ada melebihi batasan tegangan yang diperbolehkan untuk suatu isolator.