

Rancangan Perubah Sadapan (Tap Changer) Transformator Distribusi

Firman Silitonga
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir

Abstrak

Rancangan Perubah Sadapan Transformator Distribusi, Transformator Distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah 20 kV menjadi 380/220 volt dan mendistribusikan tegangan rendah ini pada konsumen. Perubahan tegangan primer dapat menimbulkan naik atau turunnya tegangan pada konsumen. Untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan pada konsumen perlu dirancang posisi perubah sadapan pada sisi primer transformator distribusi 19 kV, 19.5 KV, 20 kV, 20.5 kV dan 21 kV. Tegangan yang diinginkan pada sisi konsumen dan posisi perubah sadapan saat terjadinya perubahan tegangan primer seperti pada Tabel 3, Tabel 4, tabel 5, Tabel 6 dan tabel 7.

1. PENDAHULUAN

Transformator adalah suatu alat 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. Transformator distribusi ini digunakan untuk menurunkan tegangan menengah 20 kV menjadi 380/220 volt dan mendistribusikan daya listrik ini ke pihak konsumen. Penggunaan transformator Distribusi dalam sistem tenaga listrik memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk keperluan tegangan konsumen.

Rancangan perubah sadapan transformator ini dipasang pada sisi tegangan menengah. Pada sisi kumparan tegangan menengah transformator distribusi ini dirancang perubah sadapan sebagai berikut : 19 kV; 19,5 kV; 20 kV; 20,5 kV dan 21kV sesuai dengan ketentuan standar¹⁾. Rancangan perubah sadapan ini dilakukan

untuk mengantisipasi perubahan tegangan suplai dari jaringan tegangan menengah. Dengan adanya perancangan perubah sadapan transformator distribusi diharapkan tegangan pada konsumen konstan.

2. TEORI

2.1. Luas Penampang Inti Transformator

Ukuran dan dimensi kerangka transformator ditentukan dari spesifikasi teknis transformator distribusi. Besarnya daya transformator dapat ditentukan dari persamaan berikut ini

$$S = 2,22 f B_m J A_{FE} A_{CU} \dots\dots\dots 1$$

Dari persamaan ini dapat diperoleh :

$$A_{FE} = \left\{ \frac{1}{2,22 f B_m J (A_{FE} / A_{CU})} \right\}^{1/2} S^{1/2} m^2 \dots\dots 2$$

$$K_{AS} = \left\{ \frac{1}{2,22 f B_m J (A_{FE} / A_{CU})} \right\}^{1/2}$$

Maka luas penampang inti besi transformator dapat diperoleh

$$A_{FE} = K_{AS} S^{1/2} \dots\dots\dots 3$$

dengan .. :

A adalah luas penampang inti besi transformator

K_{AS} adalah koefisien yang berkaitan dengan luas penampang

S adalah semu transformator dalam MVA

Nilai rata-rata K_{AS} untuk berbagai rancangan transformator dapat dilihat pada

Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Koefisien keluaran transformator untuk typical –type transformer

Kelas transformator	Persentasi reaktansi		Koefisien keluaran $K_{AS} = A_{FE} / S^{1/2}$		Koefisien belitan rata-rata $K_{VS} = 2,22B_m K_{AS} 10^2$
	Rentang	Nilai rata-rata	Rentang	Nilairata-rata	
Generator	12,0-18,0	15	0,056-0,075	0,071	26,8
Transmisi primer	12,0-22,5	17,5	0,045-0,060	0,055	19,0
Transmisi sekunder	10,0-26,0	14,2	0,051-0,060	0,058	20,0
Distribusi	4,75	4,75	0,054-0,060	0,057	19,6

Pada Tabel 2.2, nilai teoritis dari koefisien keluaran dapat dihitung dari nilai rata-rata B_m , J dan A_{FE} / A_{CU} untuk rancangan untuk

masing-masing kelas transformator ini dibandingkan dengan nilai rata-rata dari K_{AS} yang dihitung dari A_{FE} dan $S^{1/2}$

Tabel 2.2 Perbandingan koefisien teoritis dan koefisien keluaran aktual

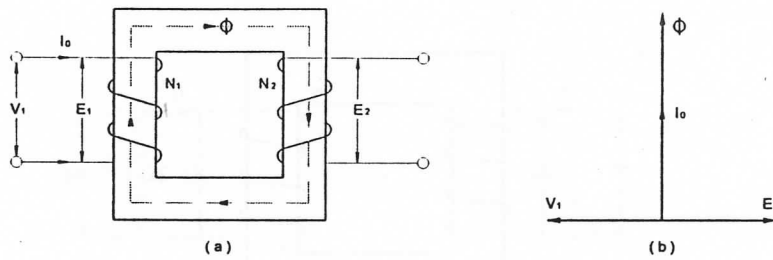
Kelas transformator	Kerapatan arus $J (A \text{ mm}^2)$		A_{FE}/A_{CU} untuk transformator pada Tabel 2.1		Keraptan fluksi rata-rata $B_m (T)$ untuk transformator dalam Tabel2.1	$K_{AS} = \left(\frac{1}{2,22fB_m J} \times \frac{A_{FE}}{A_{CU}} \right)$ Dihitung dari nilai rata-rata untuk masing-masing transformator	Nilai aktual rata-rata K_{AS}
	Rentang	Rata-rata	Rentang	Rata-rata			
Generator	2,6-4,0	2,9	2,1-3,8	2,9	1,70	0,073	0,071
Transmisi	3,7-5,0	4,3	1,4-2,6	2,2	1,55	0,053	0,055
Distribusi	2,7-3,2	2,8	1,2-2,8	1,8	1,55	0,061	0,058
final	2,4-3,1	2,6	1,4-1,7	1,6	1,55	0,060	0,057
Distribusi rural	2,0-2,5	2,3	0,65-0,85	0,8	1,55	0,045	0,042

2.2..Keadaan Transformator Tanpa Beban

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoidal, akan mengalir arus primer I_0 yang juga sinusoidal dan

dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 seperti pada gambar 1. Arus primer I_0 menimbulkan fluks (Φ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoidal

$$\Phi = \Phi_{maks} \sin \omega t$$



Gambar 1. Transformator dalam keadaan tanpa beban

Fluks yang sinusoidal ini akan menghasilkan tegangan induksi e_1 .

$$e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_1 = -N_1 \frac{d(\Phi_{maks} \sin \omega t)}{dt} = -N_1 \omega \Phi_{maks} \cos \omega t$$

Harga efektif tegangan induksi pada kumparan primer transformator

$$E_1 = \frac{N_1 2 \pi f \Phi_{maks}}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = 4,44 N_1 f \Phi_{maks}$$

$$E_1 = 4,44 N_1 f B \cdot A_{FE} \dots\dots\dots 4$$

dimana $\Phi_{maks} = B \cdot A$

Pada rangkaian sekunder, fluks (Φ) bersama ini menimbulkan

$$e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_2 = -N_2 \omega \Phi_{maks} \cos \omega t$$

Harga efektif tegangan induksi pada kumparan sekunder transformator

$$E_2 = 4,44 N_2 f \Phi_{maks}$$

$$E_2 = 4,44 N_2 f B A_{FE} \dots\dots\dots 5$$

Dari persamaan 1) dan 2) dapat diperoleh :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots 6$$

Dalam keadaan ideal, rugi – rugi diabaikan sehingga $E_1 = V_1$ dan $E_2 = V_2$ dengan:

V_1 = tegangan catu daya atau tegangan pada sisi primer, volt
 V_2 = tegangan pada sisi sekunder, volt

E_1 = tegangan induksi pada sisi primer, volt

E_2 = tegangan induksi pada sisi

sekunder, volt

N_1 = jumlah lilitan primer

N_2 = jumlah lilitan sekunder

I_1 = arus primer, Amper

I_2 = arus sekunder, Amper

Dari persamaan 3) dapat diperoleh:

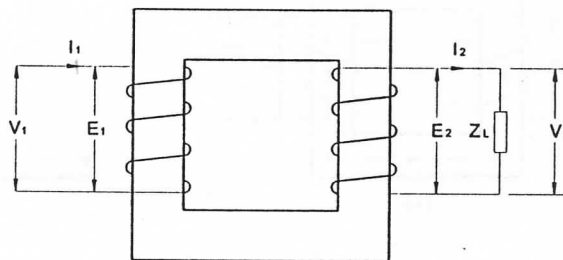
$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1 \dots\dots\dots 7$$

Dari persamaan 7) ini, tegangan sekunder V_2 berbanding lurus dengan jumlah

kumparan sekunder dan tegangan primer dan berbanding terbalik jumlah kumparan primer

2.3. Transformator Dalam Keadaan Berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban dengan beban Z_L , arus I_2 mengalir pada kumparan sekunder seperti pada gambar 2, arus $I_2 = V_2 / Z_L$ atau dengan θ_2 adalah faktor daya beban.



Gambar 2. Transformator dalam keadaan berbeban

Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks (Φ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_M . Agar fluks bersama ini tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus I_2' , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi:

$$I_1 = I_0 + I_2'$$

Bila rugi besi diabaikan (I_C) diabaikan maka $I_0 = I_M$

$$I_1 = I_M + I_2'$$

Untuk menjaga agar fluks tetap tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_M saja, berlaku hubungan:

$$N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2$$

$$N_1 I_M = N_1 (I_M + I_2') - N_2 I_2$$

Karena I_M dianggap kecil sekali dan,

$$I_2' = I_1 \text{ Maka } N_1 I_1 = N_2 I_2 \text{ atau}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

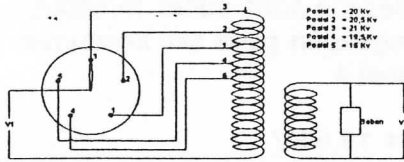
$$I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1 \dots\dots\dots 8$$

3. METODE PERANCANGAN

Merancang Posisi Perubah Sadapan Transformator

Perubah sadapan adalah perubah perbandingan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder (konsumen) sesuai dengan yang diinginkan dari tegangan jaringan /primer yang berubah-ubah seperti pada gambar 3. Perubah sadapan dapat dilakukan baik

dalam keadaan berbeban (on load) atau dalam keadaan tanpa beban(off load) tergantung dari jenis perubah sadapan tersebut.



Gbr.3 Perubah Sadapan Changer)

a. Menghitung luas penampang inti besi

Untuk menghitung luas penampang inti besi transformator distribusi, sebagai berikut :

- Kapasitas transformator 750 KVA = 0,75 MVA
- Tegangan nominal 20 kV – 380/220 volt
- Frekuensi 50 Hz

Untuk daya semu S untuk daya 1 fasa :

$$S = \frac{0,75}{3} = 0,25$$

Dari data transformator distribusi, dapat ditentukan luas penampang inti besi dengan menggunakan rumus 3 berikut ini:

$$A_{FE} = K_{AS} S^{1/2}$$

$$A_{FE} = 0,057 (0,25)^{1/2}$$

$$A_{FE} = 0,0028 \text{ m}^2$$

K_{AS} dapat diperoleh dari Tabel 2.2 untuk transformator distribusi

b. Menghitung jumlah lilitan pada belitan primer dan sekunder

Sebelum menentukan jumlah lilitan pada belitan primer dan sekunder, pertama-tama menentukan tegangan per lilitan dengan menggunakan rumus 5 :

$$\frac{V}{N} = 4,44 f B_m A_{FE}$$

$$\frac{V}{N} = 4,44 \cdot 50 \cdot 1,55 \cdot 0,00288 = 9,91$$

Kerapatan fluksi B_m dapat ditentukan dari Tabel 2.2

Kerapatan fluksi B_m dapat ditentukan dari Tabel 2.2

Jumlah lilitan pada kumparan primer, N_1 (tegangan menengah), 20 KV adalah :

$$\frac{20000}{9,91} = 2018,1634$$

Jumlah lilitan pada kumparan sekunder, N_2 (tegangan rendah), 380 volt adalah:

$$\frac{380}{9,91} = 38,345$$

Jumlah lilitan pada tegangan transformator distribusi dengan sadapan 19 KV, 19,5 KV, 20 KV, 20,5 KV dan 21 KV dapat ditabelkan seperti pada Tabel 3

Jika tegangan pada sisi primer turun 19 kV, hal ini dapat diketahui dari voltmeter yang dipasang pada panel tegangan rendah, maka tegangan pada sisi konsumen dapat diketahui pada Tabel 3

Tabel 3. Hubungan antara tegangan konsumen dan tegangan $V_1 = 19 \text{ kV}$

No	Tegangan primer (KV)	N_1	$\frac{N_2}{N_1}$	$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1$ (volt)
1.	19	1917,2552	0,02	380
2.	19,5	1967,7093	0,01949	370,31

3.	20	2018,1634	0,019	361
4.	20,5	2068,6175	0,01854	352,26
5.	21	2119,0716	0,0181	343,9

Jika tegangan pada sisi menengah turun 19,5kV, hal ini dapat diketahui dari voltmeter yang dipasang pada panel tersebut, maka tegangan pada sisi konsumen seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hubungan antara tegangan V_2 dan tegangan $V_1 = 19,5$ kV

No	Tegangan primer (KV)	N_1	$\frac{N_2}{N_1}$	$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1$ (volt)
1.	19	1917,2552	0,02	390
2.	19,5	1967,7093	0,01949	380,055
3.	20	2018,1634	0,019	370,5
4.	20,5	2068,6175	0,01854	361,53
5.	21	2119,0716	0,0181	352,95

Jika tegangan pada sisi primer turun 20 KV, hal ini dapat diketahui dari voltmeter yang terpasang pada panel, maka tegangan pada sisi konsumen dapat seperti tertera pada Tabel 5.

Tabel 5. Hubungan antara tegangan sekunder dan $V_1 = 20$ kV

No	Tegangan primer (KV)	N_1	$\frac{N_2}{N_1}$	$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1$ (volt)
1.	19	1917,2552	0,02	400
2.	19,5	1967,7093	0,01949	389,8
3.	20	2018,1634	0,019	380
4.	20,5	2068,6175	0,01854	370,8
5.	21	2119,0716	0,0181	362

Jika tegangan pada sisi primer turun 20,5 KV, hal ini dapat diketahui dari voltmeter yang dipasang pada panel tegangan rendah, maka tegangan pada sisi konsumen seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Hubungan antara tegangan sekunder dan tegangan primer $V_1 = 20,5$ kV

No	Tegangan primer (KV)	N_1	$\frac{N_2}{N_1}$	$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1$ (volt)
1.	19	1917,2552	0,02	410
2.	19,5	1967,7093	0,01949	399,545
3.	20	2018,1634	0,019	389,5
4.	20,5	2068,6175	0,01854	380,07
5.	21	2119,0716	0,0181	371,05

Jika tegangan pada sisi primer turun 21 KV, hal ini dapat diketahui dari voltmeter yang terpasang pada panel tersebut

Tegangan pada sisi konsumen seperti pada Tabel 7.

Tabel 7 Hubungan antara tegangan rendah dan tegangan primer $V_1 = 21$ kV

No	Tegangan primer (KV)	N_1	$\frac{N_2}{N_1}$	$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1$ (volt)
1.	19	1917,2552	0,02	420
2.	19,5	1967,7093	0,01949	409,29
3.	20	2018,1634	0,019	389,5
4.	20,5	2068,6175	0,01854	389,34
5.	21	2119,0716	0,0181	380,1

c. Perhitungan arus pada transformator distribusi

Arus pada sisi kumparan sekunder dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$I_2 = \frac{KVA}{\sqrt{3} V}$$

$$I_2 = \frac{750.000}{\sqrt{3.380}} = 1139,507 A$$

Arus I_2 dianggap konstan dengan mengatur posisi sadapan pada sisi kumparan primer transformator distribusi, sehingga nilai arus I_2 dapat seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Hubungan arus transformator distribusi dan perubah sadapan transformator distribusi

No	Tegangan primer (KV)	N_1	$\frac{N_2}{N_1}$	$I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2$ Amper
1.	19	1917,2552	0,02	22,790
2.	19,5	1967,7093	0,01949	22,21
3.	20	2018,1634	0,019	21,65
4.	20,5	2068,6175	0,01854	21,126
5.	21	2119,0716	0,0181	20,625

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan metoda seperti dalam dasar teori, diperoleh hasil perhitungan luas penampang inti besi transformator (A_{FE}), besarnya luas penampang inti besi berbanding lurus dengan faktor K_{AS} dan kapasitas daya transformator distribusi. Untuk menentukan tegangan per lilitan pada kumparan primer dan sekunder tergantung pada kerapatan fluksi B_m dan luas penampang inti besi, A_{FE} . Jumlah lilitan pada kumparan primer dan

sekunder tergantung besarnya tegangan pada belitan primer dan sekunder.

Rancangan perubah sadapan tegangan menengah pada transformator distribusi sebagai berikut 19 kV, 19,5 kV, 20 kV, 20,5 kV dan 21 kV dan jumlah lilitan pada sadapan ini masing-masing dapat dilihat pada Tabel 3.

Bila tegangan pada sisi tegangan menengah turun menjadi 19 kV maka besarnya tegangan pada konsumen dapat dilihat pada Tabel 3. Dari Tabel 3 ini tegangan pada konsumen tetap 380 volt maka perubah sadapan harus dipindahkan

dari posisi sadapan 20 kV ke posisi sadapan 19 kV .

Bila tegangan pada sisi tegangan menengah 19,5 KV maka besarnya tegangan pada sisi konsumen dapat dilihat pada Tabel 4. Dari Tabel 4 ini tegangan pada konsumen tetap 380 volt, posisi sadapan dapat dipindahkan dari posisi 20 KV ke posisi 19,5 KV.

Bila tegangan pada sisi tegangan menengah (primer) 20 KV tetap maka besarnya tegangan pada sisi beban tetap 380 volt dapat dilihat Tabel 5, sehingga tidak perlu sadapan transformator dipindah atau sadapan tetap pada posisi 20 KV.

Bila Tegangan sisi tegangan menengah naik menjadi 20,5 KV, nilai tegangan pada konsumen dapat dilihat pada Tabel 6. Dari Tabel 6 ini tegangan konsumen tetap 380 volt pada posisi sadapan 20,5 KV

Bila Tegangan sisi tegangan menengah naik menjadi 21 KV, nilai tegangan pada konsumen dapat dilihat pada Tabel 7. Dari Tabel 7 ini tegangan konsumen tetap 380 volt pada posisi sadapan 21 KV.

Besarnya perubahan arus pada belitan tegangan menengah pada posisi sadapan 19 kV;19,5 kV dan 20 kV ; 20,5 kV dan 21 kV dapat dilihat pada Tabel 8. Bila perubahan arus ini cukup besar maka transformator ini akan berdengung.

Bila perubahan tegangan menengah (primer) dari transformator distribusi diluar

jangkauan dari sadapan ini maka rele tegangan rendah atau rele tegangan lebih bekerja mengirimkan sinyal ke Circuit Breaker(pemutus tenaga) untuk membuka.

5. KESIMPULAN

Rancangan perubah sadapan transformator distribusi ini dirancang pada posisi 19 kV, 19,5 kV, 20 kV, 20,5 kV dan 21 kV untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder (konsumen) yang konstan dari perubahan tegangan primer. Tegangan konstan pada sisi konsumen dapat diperoleh dengan memindahkan perubah sadapan primer transformator distribusi seperti pada Tabel 3,4,5,6, dan Tabel 7.

DAFTAR PUSTAKA

- 1.Modern Power Transformer Practice, First Published 1979 by The Macmillan LTD.
- 2.Late Shri D.L.Deshpande ,B.L Theraja a Text book of Electrical Technologi S.Chand & Company Ltd. Ram Nagar, New delhi-110055, 1979.
3. Hasan Basri, Sistem Distribusi Daya Listrik, ISTN.
- 4.SNI-0203-1987-C,Spesifikasi Transformator Distribusi
5. Zuhail , Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, Penerbit PT. Gramedia , Jakarta. 1988