

BAB II

JENIS DAN HUBUNGAN BELITAN TRANSFORMATOR TIGA PHASA

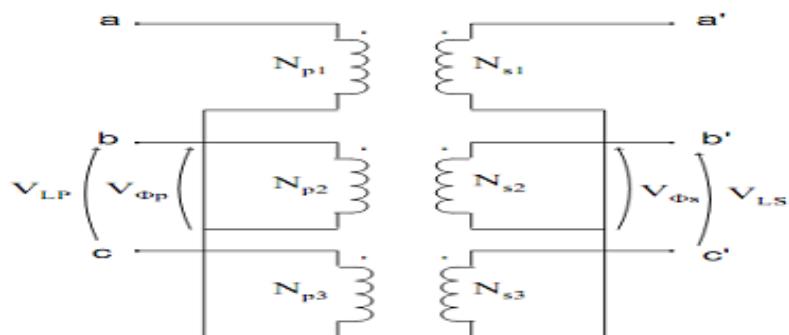
2.1 Jenis-Jenis Hubungan Belitan Transformator Tiga Phasa

Pada transformator tiga phasa terdapat dua hubungan belitan utama yaitu hubungan delta dan hubungan bintang dengan kombinasi Y - Y, Y - Δ, Δ - Y, Δ - Δ, bahkan untuk kasus tertentu belitan sekunder dapat dihubungkan secara berliku-liku (zig-zag), sehingga diperoleh kombinasi Δ - Z dan Y - Z. Hubungan zig-zag (Z) merupakan sambungan bintang istimewa”, hubungan ini dibuat dengan menambahkan kumparan yang dihubungkan secara segitiga pada kumparan sekunder yang dihubungkan secara bintang.

Berikut ini pembahasan hubungan transformator tiga phasa secara umum:

2.1.1 Hubungan Wye-Wye (Y-Y)

Hubungan ini ekonomis digunakan untuk melayani beban yang kecil dengan tengangan transformasi yang tinggi. Hubungan Y-Y pada transformator tiga phasa dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Transformator Hubungan Y-Y

Pada hubungan Y-Y , tegangan primer pada masing-masing phasa adalah

$$V_{\phi P} = V_{LP} / \sqrt{3} \quad (2.1)$$

Dimana : $V_{\phi P}$ = Tegangan phasa primer (Volt)

V_{LP} = Tegangan kawat primer (Volt)

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

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\phi P} \sqrt{3}}{V_{\phi S} \sqrt{3}} = a \quad (2.2)$$

Dimana : $V_{\phi P}$ = Tegangan phasa primer (Volt)

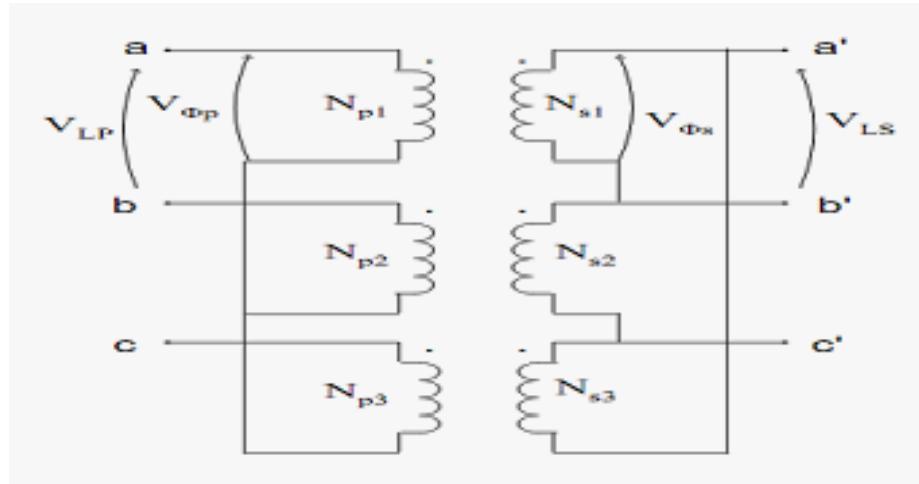
V_{LP} = Tegangan kawat primer (volt)

$V_{\phi S}$ = Tegangan phasa sekunder (volt)

V_{LS} = Tegangan kawat sekunder (volt)

2.1.2 Hubungan Wye-Delta (Y-Δ)

Digunakan sebagai penaik tegangan untuk sistem tegangan tinggi. Hubungan Y-Δ pada transformator tiga phasa dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2 Transformator Hubungan Y- Δ

Pada hubungan ini tegangan kawat ke kawat primer sebanding dengan tegangan phasa primer $V_{LP} = V_{\phi P} \sqrt{3}$ dan tegangan kawat ke kawat primer sama dengan tegangan phasa sekunder $V_{LP} = V_{\phi S}$. Sehingga diperoleh perbandingan tegangan pada hubungan ini adalah sebagai berikut:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\phi P} \sqrt{3}}{V_{\phi S}} = \sqrt{3}a \quad (2.3)$$

Dimana : $V_{\phi P}$ = Tegangan phasa primer (volt)

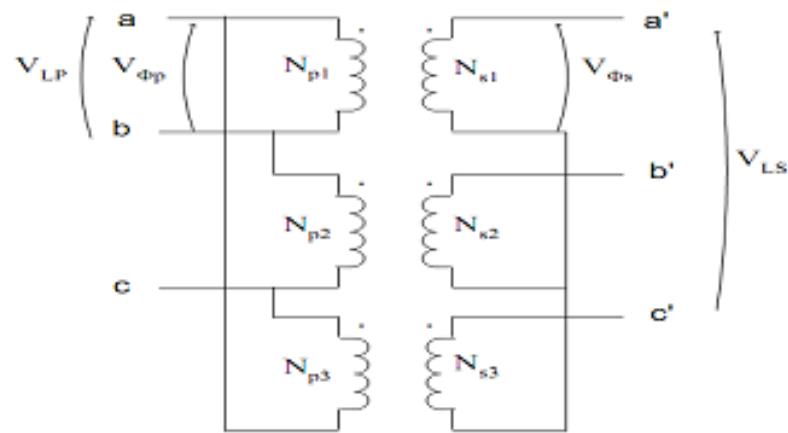
V_{LP} = Tegangan kawat primer (volt)

$V_{\phi S}$ = Tegangan phasa sekunder (volt)

V_{LS} = Tegangan kawat sekunder (volt)

2.1.3 Hubungan Delta – Wye (Δ –Y)

Umumnya digunakan untuk menurunkan tegangan dari tegangan transmisi ke tegangan rendah. Hubungan Δ –Y pada transformator tiga phasa ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 2.3 Transformator Hubungan Δ – Y

Pada hubungan ini tegangan kawat ke kawat primer sama dengan tegangan phasa primer $V_{LP} = V_{\phi P}$ dan tegangan sisi sekunder $V_{LS} = \sqrt{3} V_{\phi S}$. Maka perbandingan tegangan pada hubungan ini adalah:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\phi P}}{\sqrt{3} V_{\phi S}} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (2.4)$$

Dimana : $V_{\phi P}$ = Tegangan phasa primer (volt)

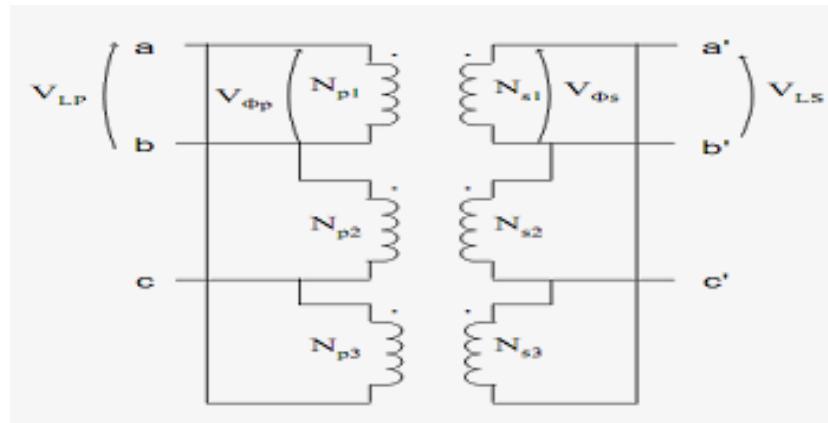
V_{LP} = Tegangan kawat primer (volt)

$V_{\phi S}$ = Tegangan phasa sekunder (volt)

V_{LS} = Tegangan kawat sekunder (volt)

2.1.4 Hubungan Delta-Delta ($\Delta - \Delta$).

Hubungan $\Delta-\Delta$ ini pada transformator tiga phasa ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4. Transformator Hubungan $\Delta - \Delta$

Pada hubungan ini, tegangan kawat ke kawat dan tegangan phasa sama untuk primer dan sekunder transformator $V_{AB} = V_{BC} = V_{AC} = V_L$. Maka hubungan tegangan primer dan sekunder transformator adalah sebagai berikut :

$$V_{L-L} = V_{L-N} \text{ (volt)} \quad (2.5)$$

$$V_{A-B} = V_{B-C} = V_{A-C} \text{ (volt)} \quad (2.6)$$

dengan

V_{L-L} = Tegangan line to line (volt)

V_{L-N} = Tegangan line to netral (volt)

Sedangkan arus pada transformator tiga phasa hubungan delta dapat dituliskan sebagai berikut :

$$I_L = \sqrt{3}I_P \text{ (ampere)} \quad (2.7)$$

dengan :

I_L = Arus line (ampere)

I_P = Arus phasa (ampere)

2.2 Tapping

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.

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

$$V_2 = \frac{V_1}{N_1} \times N_2 \quad (2.8)$$

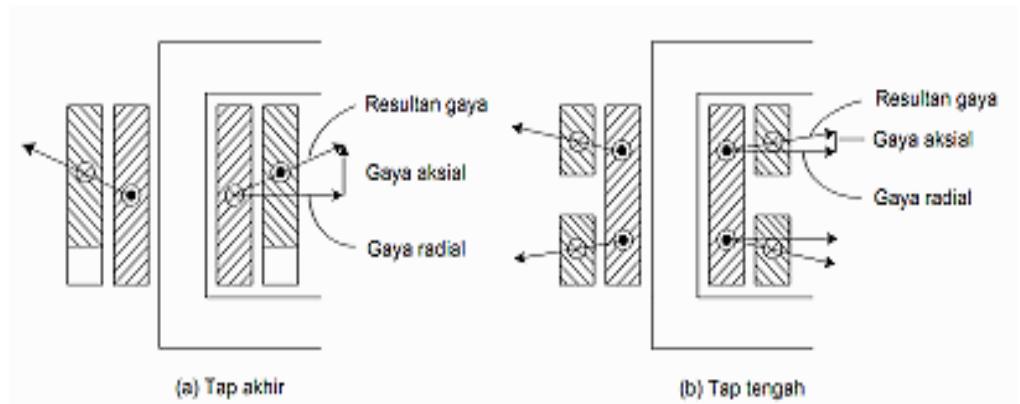
dimana

V_1 = Tegangan Primer (volt)

N_1 = Belitan Primer

V_2 = Tegangan sekunder (volt)

Jika N_1 berkurang, tegangan per belitan $\left(\frac{V_1}{N_1}\right)$ bertambah, sehingga tegangan sekunder $\frac{V_1}{N_1} \times N_2$ bertambah. Di sisi lain, jika N_2 bertambah sementara N_1 tetap, tegangan sekunder $\frac{V_1}{N_1} \times N_2$ juga bertambah. Dengan kata lain, pengurangan belitan primer N_1 mempunyai pengaruh yang sama dengan penambahan belitan N_2 . Tapping dapat dibuat di awal, di akhir dan di tengah belitan transformator, ditunjukkan Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Posisi Tapping

Ketika arus pada belitan primer dan sekunder mengalir dengan arah yang berlawanan. Arus-arus ini berinteraksi dengan fluks bocor diantara kedua belitan dan menghasilkan gaya radial yang saling tolak-menolak. Gaya radial ini menekan belitan dalam ke inti dan mendorong pelitan luar menjauhi inti. Gaya yang berlawanan ini akan menimbulkan gaya aksial jika tapping dibuat pada belitan transformator. Pada gambar diatas, belitan dengan tapping akhir menimbulkan gaya aksial yang lebih besar dengan belitan dengan tapping tengah. Pada keadaan hubung singkat, gaya aksial yang timbul akan sangat besar. Sehingga posisi tapping yang sering dipakai adalah tapping tengah.

Tapping transformator distribusi adalah dari tegangan nominalnya. Jadi tegangan pada sisi primer transformator distribusi mempunyai 5 tapping yaitu:

$$\text{Tapping 1} = V_N + (0,1 \times V_N)$$

$$\text{Tapping 2} = V_N + (0,05 \times V_N)$$

$$\text{Tapping 3} = V_S$$

$$\text{Tapping 4} = V_S - (0,05 \times V_S)$$

$$\text{Tapping 5} = V_S + (0,1 \times V_S)$$

Jumlah belitan transformator distribusi tiga phasa:

- Belitan primer dihubungkan Y

$$N_1 = \frac{V}{\sqrt{3}V/T} \quad (2.9)$$

Dimana : V/T = Tegangan per lilitan

- Belitan primer terhubung Δ

$$N_1 = \frac{V}{V/T} \quad (2.10)$$

- Jumlah belitan sekunder per kaki, jika belitan terhubung Z

$$N_2 = \frac{V}{3V/T} \quad (2.11)$$

Jika tap changer didisain beroperasi, ketika transformator di luar rangkaian disebut tap changer tanpa beban.

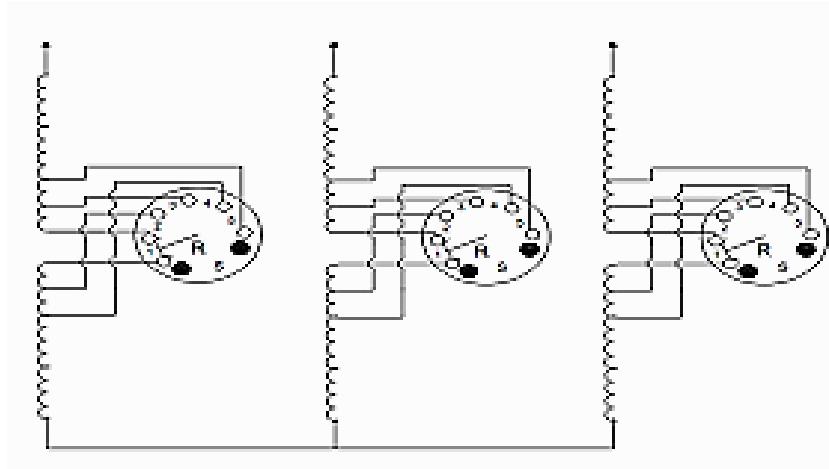
Tap changer yang di desain beroperasi ketika transformator dalam rangkaian disebut tap changer berbeban.

2.2.1 Tap Changer Tanpa Beban

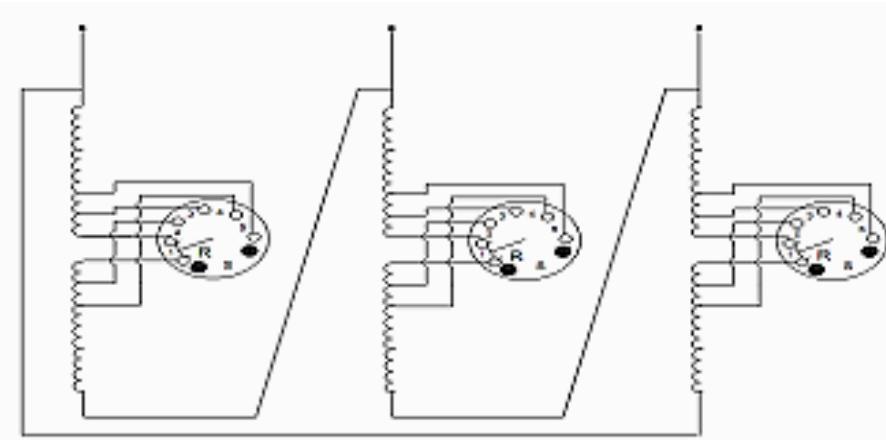
Tap changer ini biasanya digunakan pada transformator distribusi, dimana tegangannya lebih stabil. Sehingga pengaturan tappingnya, dilakukan pada saat pemasangan transformator ke dalam sistem tenaga listrik dan dalam jangka waktu yang lama. Tap changer tanpa beban diilustrasikan pada Gambar 2.6 dan 2.7. Terdapat enam penyetelan dari 1-6, belitan disadap dalam enam titik, sama dengan jumlah penyetelan. Tap changer dihubungkan ke enam titik sadapan melalui penyetelan yang berbentuk lingkaran. Tap changer transformator dapat ditempatkan dimana saja, bisa di bagian atas tangki atau tempat yang memungkinkan lainnya. Jarum penunjuk R dapat diputar melalui pemutar yang ada di luar tangki.

Jika belitan disadap pada interval 2,5%, maka dengan pemutaran jarum penunjuk R menyebabkan:

1. Pada penyetelan 1, 2 ; belitan penuh dalam rangkaian
2. Pada penyetelan 2, 3 ; 97,5% belitan dalam rangkaian
3. Pada penyetelan 3, 4 ; 95% belitan dalam rangkaian
4. Pada penyetelan 4,5 ; 92,5% belitan dalam rangkaian
5. Pada penyetelan 5,6 ; 90% belitan dalam rangkaian



Gambar 2.6. Penyusunan Posisi Tap Changer Tanpa Beban yang Terhubung Y



Gambar 2.7 Penyusunan Posisi Tap Changer Tanpa Beban yang Terhubung Δ

penyetelan S merupakan posisi akhir dan menjaga jarum penunjuk tidak berputar penuh. Jika penyetelan S tidak ada, jarum penunjuk R dapat tidak menghubungkan belitan. Mengubah tapping hanya bisa dilakukan, ketika transformator tidak terhubung dengan sumber. Seandainya jarum menunjuk R berada pada stut 1 dan 2. Untuk memindahkannya ke stut 2 dan 3, pertama transformator dilepas dari

rangkaian dan kemudian jarum penunjuk R diputar ke posisi stut 2 dan 3. Setelah itu, transformator dihubungkan dengan sumber dan sekarang 97,5% saja belitan pada rangkaian.

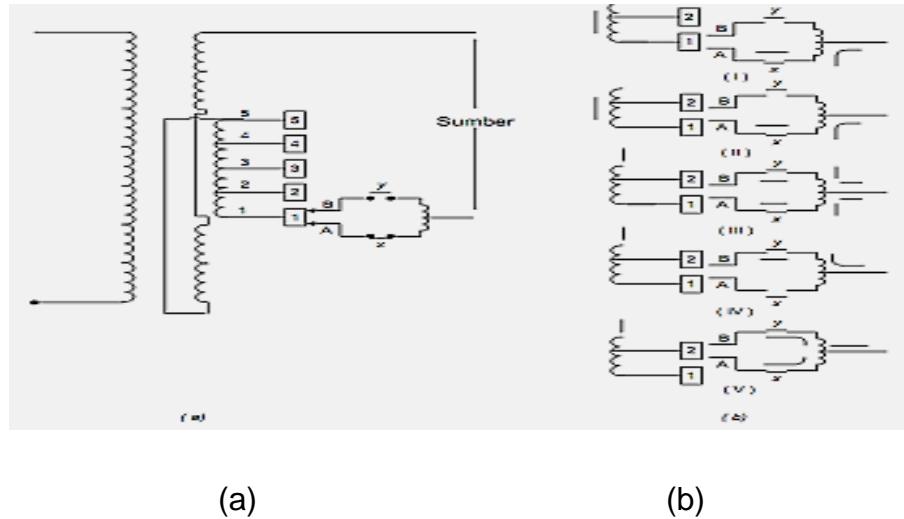
2.2.2 Tap Changer Berbeban

Pengubah tapping ini biasanya digunakan untuk perubahan tegangan dalam periode waktu yang singkat. Tegangan keluaran dapat diatur dengan tap changer, tanpa menyebabkan gangguan terhadap sistem. Selama operasi tap changer berbeban:

1. Rangkaian utama tidak harus dilepas kecuali jika menyebabkan percikan api.
2. Tidak ada bagian dari sadapan belitan yang akan terhubung singkat.

Salah satu bentuk tap changer berbeban diilustrasikan pada Gambar 2.8a. Dilengkapi dengan reaktor untuk menjaga sadapan belitan dari hubung singkat. Tapping transformator dihubungkan ke segmen 1 sampai 5 secara terpisah. Dua penyetelan A dan B , terhubung dengan reaktor sadapan tengah melalui saklar x dan y , sehingga membuat hubungan dengan setiap segmen dalam operasi normal. Gambar 2.8a, kedua stut terhubung dengan segmen 1 dan seluruh belitan dalam rangkaian. Saklar x , y ditutup. Setengah total arus mengalir melalui menuju setengah reaktor pada bagian bawah kemudian ke rangkaian luar. Setengah total arus yang lain mengalir melalui y menuju setengah reaktor pada bagian atas kemudian menuju rangkaian luar. Arus yang mengalir pada bagian atas dan bagian bawah reaktor mengalir dalam arah yang berlawanan. Reaktor dililit dengan dengan arah yang sama, sehingga ggm yang dihasilkan

setengah belitan berlawanan dengan ggm yang dihasilkan setengah belitan yang lainnya. Gaya-gaya ini sama besarnya dan penjumlahannya nol. Reaktor hampir tidak induktif dan impedansinya sangat kecil. Oleh karena itu, tegangan jatuh pada reaktor sadapan tengah tidak ada.



Gambar 2.8a. Tap Changer Berbeban. 2.8b. Operasi dari Segmen 1 ke Segmen 2

Ketika perubahan tegangan dibutuhkan, penyetelan *A* dan *B* dipindahkan ke segmen 2 dengan urutan operasi sebagai berikut:

- I. Buka saklar *y*, gambar (*b.I*). Arus masuk melalui reaktor pada bagian bawah. Reaktor menjadi sangat induktif dan tegangan jatuhnya besar. Oleh karena itu, reaktor harus didisain menahan arus beban penuh sesaat.
- II. Stut *B* tidak dialiri arus, sehingga bisa dipindahkan ke segmen 2 tanpa percikan api.
- III. Tutup saklar *y*, gambar (*b.III*). Belitan transformator antara sadapan 1 dan 2 terhubung melalui reaktor. Impedansi reaktor

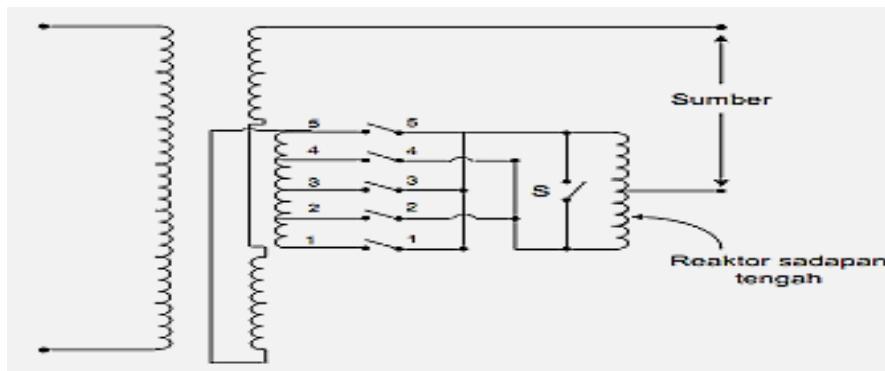
besar, pada saat arus mengalir dalam satu arah, arus sirkulasi yang mengalir melalui reaktor dan sadapan belitan sangat kecil. Pada keadaan ini, reaktor melindungi sadapan belitan dari hubung singkat.

IV. Buka saklar x. Arus masuk mengalir hanya melalui reaktor pada bagian atas, menyebabkan tegangan jatuh yang besar.

V. Pindahkan stut A dari segmen 1 ke segmen 2 dan tutup saklar x. Pada saat ini perpindahan sadapan 1 ke 2 telah selesai.

Untuk transformator yang besar, saklar dapat dibuat dari circuit breaker.

Jenis tap changer berbeban yang lain, juga dilengkapi dengan reaktor sadapan tengah, diilustrasikan pada Gambar 2.9. Fungsi reaktor adalah melindungi sadapan belitan dari hubungan singkat. Saklar 1, 2, 3, 4 dan 5 dihubungkan dengan sadapan belitan.



Gambar 2.9. Tapping Berbeban

Saklar S pada Gambar 2.9 ditutup selama operasi normal, dengan saklar 2, 3, 4, 5 dibuka dan saklar 1 ditutup. Pada saat ini, arus mengalir melalui reaktor bagian atas dan reaktor bagian bawah dengan arah yang berlawanan. Perubahan sadapan 1 ke sadapan 2, dilakukan dengan urutan operasi sebagai berikut.

- i. Buka saklar S. Sekarang arus total mengalir melalui reaktor pada bagian atas dan tegangan jatuhnya besar.
- ii. Tutup saklar 2. Belitan antara sadapan 1 dan sadapan 2 terhubung melalui reaktor.
- iii. Buka saklar 1. Sehingga arus mengalir melalui reaktor pada bagian bawah dan tegangan jatuhnya besar.
- iv. Tutup saklar S. Arus mengalir melalui kedua bagian reaktor .

Untuk perubahan sadapan 2 ke sadapan 3, urutan operasi di atas diulangi.

2.3 Variasi Tegangan Selama Perubahan Tapping

Asumsikan tapping dibuat pada sisi primer, dimana:

N_1 = jumlah belitan antara tegangan terminal dengan sadapan 1.

N_2 = jumlah belitan antara tegangan terminal dengan sadapan 2.

N_S = jumlah belitan sekunder, diasumsikan lebih kecil dari N_1 dan N_2

V_1 = tegangan primer

I = arus primer

X_Y = tahan reaktor ketika arus mengalir pada setengah bagian reaktor.

Pada Gambar 2.8a, ketika semua belitan primer dalam rangkaian, tegangan sekunder V_{S1} adalah :

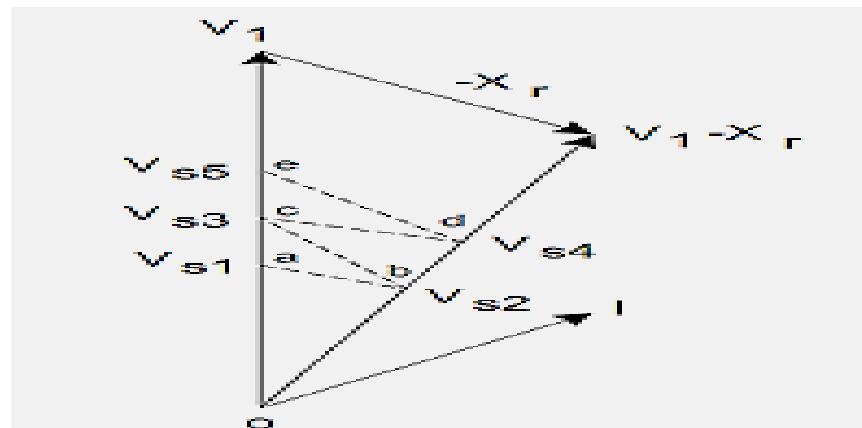
$$V_{S1} = \frac{V_1}{N_1} \times N_s \quad (2.12)$$

$$V_{S2} = \frac{V_1 - IX_r}{N_1} \times N_s \quad (2.13)$$

$$V_{S3} = \frac{2V_1}{N_1 + N_2} \times N_s \quad (2.14)$$

$$V_{S4} = \frac{V_1 - IX_4}{N_2} \times N_s \quad (2.15)$$

$$V_{S5} = \frac{V_1}{N_1} \times N_s \quad (2.16)$$



Gambar 2.10 Variasi Tegangan Selama Perubahan Tapping

Perubahan tegangan sekunder \$V_{S1}\$ ke \$V_{S2}\$ yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 menjelaskan tegangan sekundernya, pertama-tama berkurang dari \$oa\$ ke \$ob\$ sampai akhirnya bertambah ke \$oe\$. Tegangan berubah dari \$ab\$, \$bc\$, \$cd\$, ke \$de\$ dalam Gambar 2.8 merupakan tegangan yang paling besar.