

Pengoperasian Transformator Dengan Menggunakan Tap Changer Aplikasi Gardu Induk Denai

Roman Syahputra¹⁾, Yusmartato²⁾, Ramayulis Nasution³⁾, Yusniati⁴⁾

¹⁾Alumni, ^{2,3,4)}Dosen Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UISUMedan
yusmartato@ft.uisu.ac.id; ramayulis@ft.uisu.ac.id; yusniatichaniago@gmail.com

Abstrak

Pada suatu sistem tenaga listrik umumnya menggunakan jaringan tegangan tinggi untuk menyalurkan daya listrik dari suatu pembangkit menuju ke pusat beban yang mempunyai jarak cukup jauh maka diperlukan transformator daya. Pada umumnya suatu sistem transmisi tegangan tinggi banyak mengalami gangguan gangguan, di mana salah satu gangguan tersebut adalah gangguan beban lebih, sehingga menyebabkan terjadinya penurunan tegangan pada sisi bagian ujung beban. Dengan mempertimbangkan kejadian di atas dan guna memulihkan kembali tegangan agar pelayanan beban maksimal maka perlu diambil beberapa alternatif di antaranya dengan menggunakan Tap Changer. Maksud dari penggunaan tap changer pada tranformator agar transformator daya dapat bekerja lebih efisien. Di samping itu juga untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik dari tegangan jaringan primer yang berubah ubah.

Kata Kunci : Transformator, Tap Changer, Gardu Induk, Transmisi

I. PENDAHULUAN

Pada suatu sistem tenaga listrik umumnya menggunakan jaringan tegangan tinggi untuk menyalurkan daya listrik dari suatu pembangkit menuju ke pusat beban yang mempunyai jarak cukup jauh maka diperlukan transformator daya. Transformator merupakan suatu alat magnet elektrik yang berfungsi sebagai penaik atau penurun tegangan listrik. Dalam sistem tenaga listrik transformator daya yang hanya terdapat pada gardu induk.

Transformator daya ditinjau dari segi pengoperasiannya dapat digolongkan dalam dua hal, yaitu :

- Transformator *step-up* (Transformator penaik tegangan)
- Transformator *step down* (Transformator Penurun Tegangan)

Mengingat begitu luasnya materi tentang suatu penggunaan *tap changer* pada transformator daya dan begitu juga terbatasnya kemampuan penulis maka penulis membatasi masalah yang akan dibahas agar pembahasannya tidak terlalu luas maka batasan yang dimaksud adalah pengoperasian transformator daya dengan menggunakan *tap changer* di Gardu Induk Denai.

II. TINJAUAN PUSTAKA

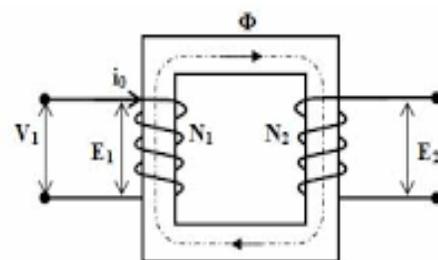
2.1. Transformator

Transformator adalah alat listrik yang berfungsi menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya berdasarkan prinsip induksi magnet. Dalam operasi umumnya, transformator- transformator tenaga ditanahkan pada titik netralnya sesuai dengan kebutuhan untuk sistem proteksi, contoh transformator 150 KV/70 KV ditanahkan langsung

disisi netral 150 KV, sedangkan transformator 70 KV/20 KV ditanahkan dengan tahanan disisi netral 20 KV.

2.2. Prinsip Kerja Transformator

2.2.1. Tranformator Keadaan Tanpa Beban



Gambar 1. Tranformator Tanpa Beban

Keterangan :

V_1 = Sumber tegangan

E_1 = Tegangan induksi pada belitan primer

E_2 = Tegangan induksi pada belitan sekunder

I_0 = Arus primer

N_1 = Belitan kumparan primer

N_2 = Belitan kumparan sekumder

\emptyset = Fluks medan magnetik

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoidal, akan mengalir arus primer I_0 yang juga sinusoidal dan akan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal 90° . Arus primer I_0 menimbulkan fluks (\emptyset) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoidal.

$$(\emptyset) = \emptyset_{sin} \sin \omega t$$

Fluks yang sinusoid ini akan menghasilkan tegangan induksi e_1 (Hukum Faraday)

$$c_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

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

(tertinggal 90° dari ϕ)

Harga efektif

$$E_1 = \frac{N_1 2\pi f \phi_{Maks}}{\sqrt{2}} = 4,4 N_1 \int \phi_{Maks}$$

Pada rangkaian Sekunder, Fluks (ϕ) tadi menimbulkan:

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$e_2 = -N_2 \omega \phi_{Maks} \cos \omega t$$

$$E_2 = 4,44 N_2 \int \phi_{Maks}$$

Sehingga :

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

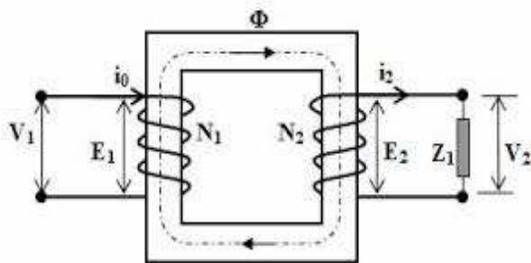
Dengan mengabaikan rugi rugi tahanan dan adanya fluks bocor.

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

a = Perbandingan Transformator

Didalam hal ini tegangan induksi E_1 mempunyai besaran yang sama tetapi berlawanan arah dengan tegangan sumber V.

2.2.2. Transformator Keadaan Berbeban



Gambar 2. Transformator dalam keadaan berbeban

Keterangan:

V_1 = Sumber tegangan

E_1 = Tegangan induksi pada belitan primer

E_2 = Tegangan induksi pada belitan sekunder

I_0 = Arus primer

I_2 = Arus sekunder

N_1 = Belitan kumparan primer

N_2 = Belitan kumparan sekunder

ϕ = Fluks medan magnetik

Z = Impendansi beban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_1 , I_2 mengalir pada kumparan sekunder dimana $I_2 = V_2/Z_L$ dengan ϕ_2 = Faktor kerja Beban. Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_{Maks} . Agar fluks itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus I'_2 yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 , sehingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer

2.3. Jenis Jenis Transformator

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator di kelompokkan menjadi :

2.3.1. Transformator Daya

Tranfomator daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari tegangan tinggi ketegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan). Dalam operasi umumnya transformator-transformator daya ditanahkan pada titik netralnya sesuai dengan kebutuhan untuk system langsung disisi netral 150 KV dan transformator 70/20 KV ditanahkan dengan tahanan disisi netral 20 KV.

Transformator tegangan dapat diklasifikasikan sebagai berikut menurut dari :

- a. Pasangan
 - Indoor
 - outdoor
- b. Pendingin
- c. Pemakaian
 - Transformator mesin
 - Transformator gardu induk
 - Transformator distribusi
- d. Kapasitas dan tegangan
 - Transformator mesin
 - Transformator Sedang
 - Transformator Kecil

2.3.2. Transformator Pengukuran

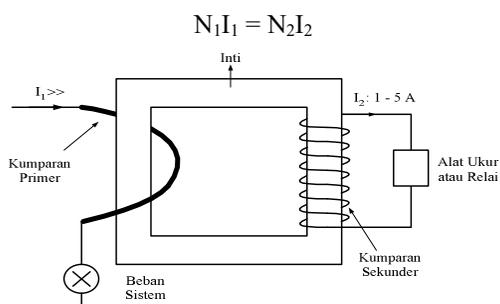
Prinsip kerja transformator tegangan sebenarnya sama dengan sebuah transformator biasa yang membedakannya adalah perbandingan transformasinya, dimana transformator tegangan memiliki ketelitian yang lebih tinggi bila di bandingkan dengan transformator biasa. Transformator tegangan biasanya mengubah tegangan tinggi menjadi tegangan rendah. Misalnya pada sebuah gardu distribusi yang mempunyai tegangan 20 KV dengan transformator tegangan diturunkan menjadi 200 Volt yang digunakan untuk pengukuran. Untuk mencegah terjadinya perbedaan tegangan yang besar antara kumparan primer dengan sekunder, karena adanya kerusakan isolasi pada kumparan primer, maka pada sisi sekunder perlu dipasang pembumian. Transformator pengukuran terdiri dari :

1. Transformator Arus (CT)

CT digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan ampere dan arus kecil yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi. Disamping untuk pengukuran arus, transformator arus juga dibutuhkan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh dan relay proteksi.

Konstruksi dan Rangkaian Ekivalen Transformator Arus ditunjukkan pada Gambar 3. Prinsip kerjanya sama dengan transformator daya 1 fasa. Jika pada kumparan primer mengalir arus I_1 , maka pada kumparan primer timbul gaya gerak magnetik sebesar $N_1 I_1$.

Gaya gerak magnetik ini memproduksi fluks pada inti. Fluks ini membangkitkan gaya gerak listrik pada kumparan sekunder. Jika kumparan sekunder tertutup, maka pada kumparan sekunder mengalir arus I_2 . Arus ini menimbulkan gaya gerak magnetik $N_2 I_2$ pada kumparan sekunder. Bila transformator tidak lagi mempunyai rugi-rugi (transformator ideal) maka berlaku persamaan:



Gambar 3. Konstruksi dan Rangkaian Ekivalen Transformator Arus

Perbedaan utama transformator arus dan transformator daya adalah sebagai berikut:

1. Jumlah belitan kumparan primer sangat sedikit, tidak lebih dari lima belitan.
2. Arus primer tidak dipengaruhi beban yang terhubung pada kumparan sekundernya, karena arus primer ditentukan oleh arus pada jaringan yang diukur.
3. Semua beban pada kumparan sekunder terhubung seri.
4. Terminal sekunder transformator arus tidak boleh terbuka, oleh karena itu terminal kumparan sekunder harus selalu dihubungkan dengan beban atau dihubung singkat jika bebannya belum dihubungkan.

Jenis-jenis Transformator Arus

- Jenis Menurut Jumlah Kumparan Primer
Jenis transformator arus ditinjau dari konstruksi belitan primernya terdiri dari jenis kumparan (*wound type*) dan jenis bar (*bar type*)

Jenis kumparan digunakan untuk pengukuran arus rendah atau burden yang besar atau pengukuran yang memerlukan ketelitian yang tinggi. Jumlah belitan primernya tergantung kepada arus primer yang akan diukur, biasanya dibatasi tidak lebih dari lima belitan. Sedangkan jenis bar biasanya digunakan untuk pengukuran arus besar (ribuan ampere). Konstruksinya kokoh sehingga transformator ini mempunyai faktor termis dan dinamis waktu singkat yang tinggi.

- Jenis Menurut Jumlah Rasio

Jenis transformator arus dilihat dari banyaknya rasio yang di sediakan terdiri dari transformator arus rasio tunggal dan transformator arus rasio ganda.

Pada transformator arus jenis bar, rasio ganda diperoleh dengan membuat sadapan di kumparan sekundernya. Rasio ganda pada transformator arus jenis kumparan diperoleh dengan merangkai kumparan primernya dalam hubungan tertentu.

- Jenis Menurut Jumlah Inti

Berdasarkan jumlah intinya, transformator arus dapat juga dibagi atas dua jenis, yaitu transformator arus inti tunggal dan transformator arus inti ganda. Transformator arus inti ganda digunakan jika sistem membutuhkan arus untuk pengukuran dan proteksi.

Transformator arus ini berfungsi untuk menurunkan arus yang besar pada tegangan tinggi menjadi arus kecil pada tegangan rendah untuk keperluan pengukuran dan proteksi.

Transformator Arus (CT) mempunyai peranan yang sangat penting dalam proteksi gangguan yang terjadi pada peralatan listrik, misalnya hubung singkat dan beban lebih.

Fungsi transformator arus ini adalah untuk membandingkan arus yaitu arus yang masuk pada sisi primer CT dan arus yang keluar dari sisi sekunder CT. Pada sisi sekunder CT biasanya arus diturunkan menjadi 5A yang sudah merupakan harga yang telah ditetapkan. Sedangkan pada sisi primer CT besarnya arus yang diberikan tidak tetap, tergantung keperluan pemakaian. Pada Gambar 4 dapat terlihat bentuk CT.

2.4. Pengertian Tap Changer

Tap changer adalah alat perubahan perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik dari tegangan jaringan primer yang berubah ubah.



Gambar 4. Tap Changer

Data Tap Changer:

Merek : PASTI
 Tipe : MR-MS III 300 – 75,5 + MA9
 Nomor Seri : 1677/91144049/8
 Tahun Pembuatan: 2010
 Daya : 60 MVA
 Buatan : Germany

Tap changer yang dapat beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan berbeban disebut “On Load Tap Chnager (OLTC)” dan dapat beroperasi secara manual atau otomatis. Untuk memenuhi kualitas tegangan pelayanan suatu kebutuhan konsumen (PLN Distribusi) tegangan keluaran harus dapat di ubah sesuai keinginan. Untuk memenuhi hal tersebut, maka pada salah satu atau pada kedua sisi belitan transformator dibuat Tap (penyadap) untuk merubah perbandingan transformasi (rasio) trafo.

2.5. Fungsi Tap Changer Pada Transformator

Tap changer dari transformator daya digunakan untuk mengatur tegangan keluaran transformator. Karena tegangan pada jaringan listrik tidak sama persis, untuk membuat transformator tidak bermasalah dalam posisi di grid yang bisa memberi nilai tegangan pengenalan, transformator pada lilitan tegangan tinggi menetapkan sejumlah keran dan akan disadap tombol tekan dengann membuka tentang grid yang terhubung. Dengan cara ini saklar dapat di hubungkan dengan gulungan transformator yang berbeda untuk mengubah rasio putaran gulungan tegangan tinggi dan rendah, sehingga dapat menyesuaikan tegangan keluaran pada transformator.

III. METODOLOGI

3.1. Cara Kerja Tap Changer

Tap changer adalah alat perubahan perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik dari tegangan jaringan primer yang berubah ubah.

Tap changer yang dapat beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan berbeban disebut “On Load Tap Changer” dan dapat beroperasi secara manual atau otomatis. Untuk memenuhi kualitas tegangan pelayanan suatu kebutuhan konsumen (PLN distribusi) tegangan keluaran harus dapat di ubah sesuai keinginan. Untuk memenuhi kebutuhan hal tersebut, maka pada salah satu atau pada kedua sisi belitan transformator di buat tap (penyadap) untuk merubah perbandingan transformasi (rasio) trafo.

Kekurangan dari On Load Voltage Regulator adalah keandalannya redah, harus selalu di periksa dan di pelihara. Dengan membaiknya keandalan dari on load tap changer, maka kebanyakan di pakai adalah on load tap changer sekaligus sebagai pengganti dari on load volteng regulator. Ada di sebutkan dengan dua cara kerja dari tap changer.

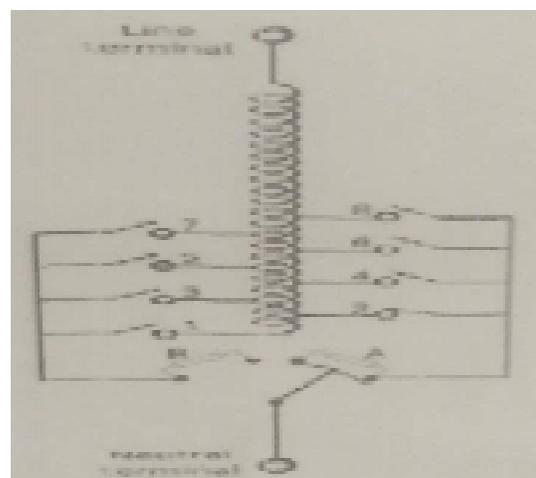
1. Mengubah tap dalam keadaan trafo tanpa beban
2. Mengubah tap dalam keadaan trafo berbeban (OLTC)

Transformator yang dipasang di gardu induk pada umumnya menggunakan tap changer yang dapat dioperasikan dalam keadaan trafo berbeban dan dipasang disisi primer. Sedangkan transformator penaik tegangan di pembangkitan atau pada trafo kapasitas kecil, umumnya menggunakan tap changer yang diopeasikan hanya pada saat trafo tanpa beban.

Bagian bagian dari on load tap changer terdiri atas beberapa, yaitu sebagai berikut :

1. Selektor switch
2. Diventer switch
3. Transisi resistor

Untuk jenis tahanan, fluktuasi tegangan pada waktu perpindahan tap di batasi dan tugas buka tutup dari saklar pengalih di peringan. Adapun hubungan belitan dan tap changer dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Tap Changer

Untuk mengisolasi dari bodi trafo (tanah) dan meredam panas pada saat proses perpindahan tap, maka *on load tap changer* direndam di dalam minyak isolasi yang biasanya terpisah dengan minyak isolasi utama trafo (ada beberapa trafo yang compartemennya menjadi satu dengan main tank). Karena pada proses perpindahan hubungan tap di dalam minyak terjadi fenomena elektris, mekanis, kimia dan panas, maka minyak isolasi *on load tap changer* kualitasnya akan cepat menurun, tergantung dari jumlah kerjanya dan adanya kelainan di dalam *on load tap changer*.

3.2. Fungsi On Load Tap Changer

On load tap changer dapat di artikan mengubah tap dalam keadaan berbeban artinya peralatan ini dapat melakukan perubahan tap untuk menambah atau mengurangi jumlah kumparan (dalam hal ini disebut kumparan bantu) tanpa harus melakukan pemadaman terlebih dahulu, sehingga secara umum *On Load Tap Changer* atau yang disingkat dengan OLTC merupakan peralatan yang di pasang pada transformator untuk memperbaiki kualitas tegangan yang dihubungkan dengan tap selektor pada OLTC.

Seperti yang sudah diketahui bahwasanya tegangan yang yang di terima oleh konsumen hendaknya stabil untuk menyalakan peralatan yang bekerja oleh energi listrik, hal ini agaknya berbanding terbalik dengan tegangan di sisten yang tidak stabil atau bersifat fluktuatif, hal ini selain di sebabkan oleh perubahan beban juga di pengaruhi oleh banyaknya daya yang di bangkitkan oleh pembangkit pembangkit, oleh karena itu di perlukanlah sebuah alat yang dapat mengatasi masalah tersebut, sehingga munculah yang disebut OLTC yang berfungsi untuk memperbaiki tegangan yang disalurkan ke konsumen sehingga tegangan yang sampai ke konsumen stabil, tentunya stabil pada tegangan sistem konsumen.

3.3. Prinsip Dasar On Load Tap Chnager

Prinsip dasar dari OLTC ini adalah untuk melakukan pengaturan tegangan baik pada sisi sekunder maupun sisi primer yang di lakukan dengan cara memili rasio tegangan, di mana untuk memilih rasio yang di kehendaki harus di lakukan dengan cara menambahkan atau mengurangi jumlah kumparan yang di mana proses tersebut di lakukan oleh tap selektor dan *diverter switch*.

3.4. Saluran Panjang Tanpa Rugi Rugi

Kompensai panjang gelombang, sekalipun sudah populer dalam komunikasi, tetapi pada teknik transformator daya sangat sedikit digunakan pada frekuensi 50 Hezt, panjang saluran udara tegangan tinggi yang sehubungan dengan frekuensi tersebut adalah 3.600 mil (5.790 km). Ini bearti bila panjang saluran 900 mil (1.477 Km) adalah hampir sama dengan seperempat panjang gelombang. Transmisi yang sedemikian panjang, kenaikan tegangan dan kebutuhan daya reatif

sangat besar dengan demikian dibutuhkan peralatan kompensasi. Tujuan kompensasi adalah untuk mengontrol tegangan kerja dsetiap titiksepanjang saluran dan untuk memperkecil panjang elektrik saluran.

Untuk kawat panjang :

$$V_S = V_R \cos \pi I + I_R \cdot Z_K \sin \pi I$$

$$I_S = I_R \cos + \frac{V_R}{Z_K} \sin \pi I$$

Untuk persamaan Saluran Panjang :

$$V_S = (\cos \pi I) V_R + (Z_K \sin \pi I) I_R$$

$$I_S = \left(\frac{\sin \pi I}{Z_K} \right) \cdot V_R + (\cos \pi I) I_R$$

Jadi :

$$A = D = \cos \pi I$$

$$B = Z_K \sin \pi I$$

$$C = \frac{\sin \pi I}{Z_K} \quad (3.1)$$

Untuk nominal PI diperoleh relasi tegangan dan arus

$$V_S = (L : Y_R Z) V_R : Z I_R$$

$$I_S = (Y_S + Y_R + Y_S Z Y_R) V_R + (L + Y_S Z) I_R$$

Jadi :

$$A = L + Y_R Z ; B = Z$$

$$C = Y_S + Y_R + Y_S Z Y_R$$

$$D = L + Y_S Z$$

Dan Bila $Y_S = Y_R = \frac{Y}{2}$

Maka :

$$A = D = L + \frac{YZ}{2}$$

$$B = Z$$

$$C = Y + \frac{Y^2 Z}{4}$$

3.5. Saluran Panjang Tanpa Kompensasi

Misalkan :

V_{RO} = Tegangan ujung beban tanpabebeban dalam perunit

V_S = Tegangan ujung kirim dalam perunit

Bila panjang daluran transmisi mendekati seperempat panjang gelombang $\frac{\pi}{4}$ maka:

$$\frac{V_{RO}}{V_S} = \frac{L}{A} = \frac{L}{\cos(\pi/2)} = \infty \quad (\text{Tak Terhingga})$$

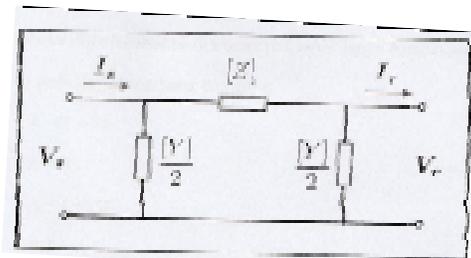
Sekarang kedua ujungnya dipertahankan pada tegangan yang sama $|V_S| = |V_R|$ jadi kedua ujung saluran mempunyai sumber, maka tegangan sepanjang saluran naik dan tegangan paling besar berada di tengah tengah saluran, yang besarnya tergantung dari saluran dan selisih sudut dari tegangan ujung kirim dan ujung beban. Tegangan di tengah-tengah saluran maka :

$$\frac{V_M}{V_S} = \frac{\cos(\delta/2)}{\cos(\pi/\gamma)}$$

Bila panjang saluran mendekati setengah panjang gelombang, maka tegangan tengah tengah saluran akan mendekati tak terhingga.

3.6. Kompensasi Reaktor Shun

Kompensasi reaktro shunt adalah suatu kompensasi dengan memasang reaktor shunt pada salah satu ujung saluran atau pada kedua ujung saluran. Bila saluran tersebut panjang sekali, maka saluran di bagi atas beberapa bagian yang di anggap perlu dan setiap bagian dikompensasikan. Sebagaimana tujuan dari kompensasi adalah untuk mengontrol tegangan kerja di setiap titik sepanjang saluran dan untuk memperkecil sepanjang saluran dan untuk memperkecil panjang dielektrik saluran. Untuk memperoleh operasi praktis dan berguna bagi saluran transmisi di daerah seperempat sampai setengah panjang gelombang, perlu dipasang reaktor shunt untuk mengontrol karakteristik dari saluran tersebut. Untuk nominal PI Gambar 6. diperoleh relasi tegangan dan arus.



Gambar 6. Nominal Phi saluran menengau

3.7. Pengaruh Kompensasi Reaktor Shunt Tanpa Tegangan

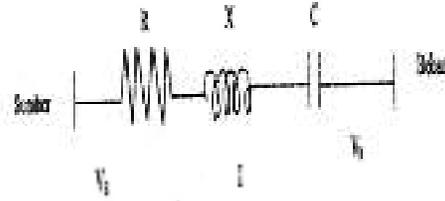
Penurunan tegangan sepanjang saluran dapat diperoleh dengan memasang reaktor shunt pada satu titik atau lebih. Semakin banyak seksi semakin datar tegangan tersebut. Dalam kondisi ini tegangan pada setiap lokasi reaktor akan sama dengan tegangan ujung kirim pada keadaan beban nol dalam keadaan hubung terbuka. Tegangan di tengah-tengah tiap seksi akan tetap lebih besar dari tegangan jepitnya.

3.8. Kompensasi Seri

Kompensasi seri ini dilakukan dengan memasang kapasitor seri pada saluran transmisi. Kapasitor seri ini dipasangkan pada salah satu ujung saluran dan apabila saluran terlalu panjang maka dipasang pada kedua ujung saluran. Pemasangan kapasitor seri pada tengah-tengah saluran adalah lebih baik tetapi lebih mahal biaya pemasangannya karena harus menambah gardu khusus untuk instalasi tersebut.

Kapasitor seri lebih efektif untuk mengkompensasikan teaktansi seri, dengan

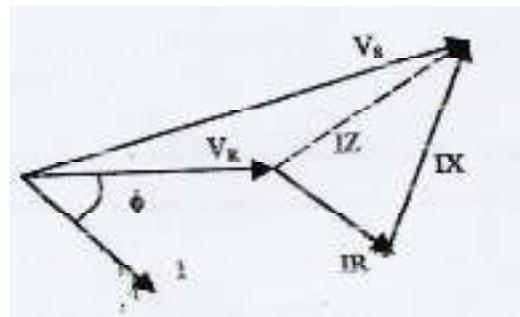
demikian menaikan limit daya statis atau menaikan stabilitas saluran. Kapasitor seri ini dilengkapi dengan suatu *Spark Gap* untuk perlindungan terhadap arus hubung singkat.



Gambar 7.Kompensasi Seri Pada Saluran Transmisi

3.9. Pengaruh Kapasitor Seri Terhadap Tegangan

Dengan pemasangan kapasitor seri, reaktansi ekuivalen berkurang dengan demikian jatuh tegangan berkurang. Jadi penganturan tengangan lebih baik.



Gambar 8.Diagram Vektor Tegangan

Kompensasi yang terdapat pada jaringan transmisi 150 KV sangat mempengaruhi dalam saluran transmisi dan distribusi. Kenaikan tengangan yang di sebabkan oleh panjang jaringan transmisi akan mempengaruhi beban, dengan demikian di perlukan peralatan kompensasi agar di dapat besar tenganga yang bekerja pada batas batas tertentu.

IV. PENGGUNAAN ON LOAD TAP CHANGER

4.1. Pengertian On Load Tap Changer

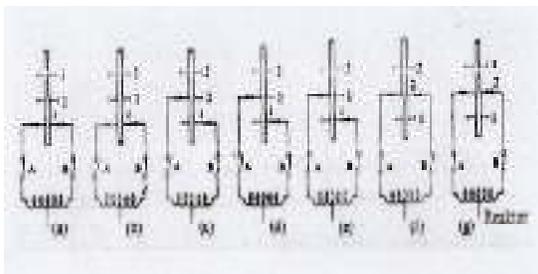
Suatu transformator daya yang digunakan pada sistem tenaga listrik dilengkapi dengan suatu alat perubah tegangan yang disebut dengan *tap changer*. *Tap Changer* dari suatu tranformator daya ditempatkan pada sisi primernya dan letaknya terpisah dari kumparan transformator. Kegunaan *tap changer* adalah untuk menyesuaikan besar tegangan jepitan transformator dengan tegangan sistem yang disebabkan adanya tegangan jatuh pada ujung saluran transmisi, *tap changer* terdiri dari saklar pengalih (*switch Diverter*) ke dalam suatu komponen dan tap selektor dipasang di bawah *Switch Diverter* pada kumparan yang sama. Switch diverter merupakan alat terpenting dari

peralatan *Tap Changer* dan digunakan untuk merubah arus beban, sedangkan tap selektor merupakan kontak dihubungkan ke terminal kumparan kumparan dan digunakan untuk merubah perbandingan lilitan dari kumparan tersebut. *Tap Changer* dari suatu tranformator daya yang dilengkapi dengan motor penggerak yang digunakan untuk memberikan gaya penggerak menerima sinyal listrik dan panel kontrol. *Switch Diverter*, tap selektor dan selektor pembalik terisolir terhadap tanah, oleh karena itu switch akan menimbulkan busur api pada saat beroperasi. Motor penggerak umumnya di pasang pada sisi luar dinding tanki transformator dan poros penggerak di hubungkan dengan mekanik dengan *switch diverter*, selektor pembalik dan tap selektor.

Pengubah tapping ini biasanya digunakan untuk perubahan tegangan dalam priode waktu yang singkat. Tegangan keluaran dapat diatur dengan menggunakan *tap changer*, tanpa menyebabkan gangguan pada sistem tenaga listrik.

4.2.Prinsip Kerja *On Load Tap Changer*

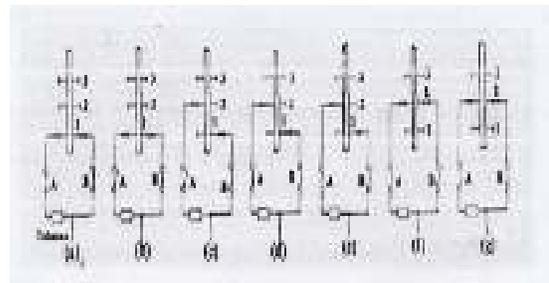
Prinsip kerja *on load tap changer* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Prinsip kerja *on load tap changer*

Keadaan (a) Adalah keadaan kerja normal, dimana arus mengalir melalui kumparan dengan posisi tap di tengah, kedua bagian kumparan di kedua sisi tap tergantung pada inti besi yang identik, sehingga fluk magnetnya sama besar dan saling meniadakan dan impedansi reaktornya = 0.

Keadaan (b) saklar pengalih membuka, arus mengalir pada satu sisi kumparan. Keadaan (c) pemilih tap berpindah pada keadaan berikutnya. Keadaan (d) saklar pengalih menutup kembali, 2 tap yang berbeda saling terhubung, dan arus sirkulasi karena adanya beda tegangan antara kedua tap kemudian di batasi oleh reaktor. Keadaan (e) dan (f) saklar pengalih dan pemilih tap berkerja pada sisi tap yang lain. Kemudian (g) pemindahan pada satu tap dianggap selesai. Selain *on load tap changer* jenis reaktor, ada juga tahanan tunggal dan tahanan ganda (*multy resistor tipe*), dimana arus sirkulasi dibatasi oleh tahanan, sebagai mana dijelas dalam Gambar 10.



Gambar 10. Changer jenis tahanan.

4.3.Perbandingan Belitan tranformator dengan menggunakan *on load tap Changer*

Besaarnya tegangan keluaran disisi sekunder transformator daya diharapkan tegangan normal yang sesuai atupun tidak melebihi dari toleransi tegangan yang diizinkan yaitu 0,5% dari tegangan nominalnya berdasarkan standar. Oleh karena itu pemasangan *Tap Changer* pada transformator daya dengan sistem perbandingan belitan diharapkan berguna untuk menjaga tegangan sekunder distribusi tetap konstan meskipun tegangan pada sisi primer berubah.

Perbandingan rasio bertujuan untuk membandingkan nilai rasio dari hasil suatu pengukuran dengan nilai yang tertera pada *nameplate*. Rasio belitan mendekati dengan rasio tegangan yaitu membandingkan tegangan disisi primer dengan tegangan disisi sekunder.

Tap yang dipakai pada tiap transformator adalah sebesar 5% dan untuk tiap transformator dilakukan 5 tapping. Besarnya tegangan masukan awal tiap transformator adalah 20 kV. Setelah dilakukan 5 kali tapping, maka besar tegangan masukan untuk masing masing trafo adalah 22 kV, 21 kV, 20 kV, 19 kV dan 18 kV. Sedangkan untuk tegangan keluaran yang diinginkan adalah 400/231 volt. Maka dengan itu jumlah belitan primer dapat hitung dengan menggunakan persamaan :

$$N_p = \frac{V_{p3\phi}}{V_{s1\phi}} \times N_s$$

Persamaan di atas berlaku untuk semua transformator. Sedangkan besarnya perbandingan belitan dapat diperoleh dari perbandingan tegangan masukan tiga fasa dengan tegangan keluaran satu fasa. Dengan memberikan nilai toleransi $\pm 1 \%$ maka akan diperoleh besarnya nilai perbandingan belitan maksimum dan perbandingan belitan minimum.

Dari Hasil perhitungan Tabell didapat besarnya *error* dari tegan sekunder dari 17 tapping.

Tabel 1. Perbandingan belitan pada transformator dengan menggunakan tap changer

No	Primer				Sekunder			
	Vr	Vs	Vt	Selink (2000 x Vr)	Vr	Selink (2000 x Vs)	Vt	Selink (2000 x Vt)
1	10.421	11.902	10.430	10842	11	10400	11	10800
2	10.475	11.955	10.475	10950	11	10450	11	10850
3	10.529	12.008	10.529	11058	11	10500	11	10900
4	10.583	12.061	10.583	11166	12	10550	12	10950
5	10.637	12.114	10.637	11274	12	10600	12	11000
6	10.691	12.167	10.691	11382	12	10650	12	11050
7	10.745	12.220	10.745	11490	12	10700	12	11100
8	10.799	12.273	10.799	11598	13	10750	13	11150
9	10.853	12.326	10.853	11706	13	10800	13	11200
10	10.907	12.379	10.907	11814	13	10850	13	11250
11	10.961	12.432	10.961	11922	14	10900	14	11300
12	11.015	12.485	11.015	12030	14	10950	14	11350
13	11.069	12.538	11.069	12138	14	11000	14	11400
14	11.123	12.591	11.123	12246	15	11050	15	11450
15	11.177	12.644	11.177	12354	15	11100	15	11500
16	11.231	12.697	11.231	12462	15	11150	15	11550
17	11.285	12.750	11.285	12570	16	11200	16	11600
18	11.339	12.803	11.339	12678	16	11250	16	11650
19	11.393	12.856	11.393	12786	16	11300	16	11700
20	11.447	12.909	11.447	12894	17	11350	17	11750
21	11.501	12.962	11.501	13002	17	11400	17	11800
22	11.555	13.015	11.555	13110	17	11450	17	11850
23	11.609	13.068	11.609	13218	18	11500	18	11900
24	11.663	13.121	11.663	13326	18	11550	18	11950
25	11.717	13.174	11.717	13434	18	11600	18	12000
26	11.771	13.227	11.771	13542	19	11650	19	12050
27	11.825	13.280	11.825	13650	19	11700	19	12100
28	11.879	13.333	11.879	13758	19	11750	19	12150
29	11.933	13.386	11.933	13866	20	11800	20	12200
30	11.987	13.439	11.987	13974	20	11850	20	12250
31	12.041	13.492	12.041	14082	20	11900	20	12300
32	12.095	13.545	12.095	14190	21	11950	21	12350
33	12.149	13.598	12.149	14298	21	12000	21	12400
34	12.203	13.651	12.203	14406	21	12050	21	12450
35	12.257	13.704	12.257	14514	22	12100	22	12500
36	12.311	13.757	12.311	14622	22	12150	22	12550
37	12.365	13.810	12.365	14730	22	12200	22	12600
38	12.419	13.863	12.419	14838	23	12250	23	12650
39	12.473	13.916	12.473	14946	23	12300	23	12700
40	12.527	13.969	12.527	15054	23	12350	23	12750
41	12.581	14.022	12.581	15162	24	12400	24	12800
42	12.635	14.075	12.635	15270	24	12450	24	12850
43	12.689	14.128	12.689	15378	24	12500	24	12900
44	12.743	14.181	12.743	15486	25	12550	25	12950
45	12.797	14.234	12.797	15594	25	12600	25	13000
46	12.851	14.287	12.851	15702	25	12650	25	13050
47	12.905	14.340	12.905	15810	26	12700	26	13100
48	12.959	14.393	12.959	15918	26	12750	26	13150
49	13.013	14.446	13.013	16026	26	12800	26	13200
50	13.067	14.499	13.067	16134	27	12850	27	13250
51	13.121	14.552	13.121	16242	27	12900	27	13300
52	13.175	14.605	13.175	16350	27	12950	27	13350
53	13.229	14.658	13.229	16458	28	13000	28	13400
54	13.283	14.711	13.283	16566	28	13050	28	13450
55	13.337	14.764	13.337	16674	28	13100	28	13500
56	13.391	14.817	13.391	16782	29	13150	29	13550
57	13.445	14.870	13.445	16890	29	13200	29	13600
58	13.499	14.923	13.499	17000	29	13250	29	13650
59	13.553	14.976	13.553	17108	30	13300	30	13700
60	13.607	15.029	13.607	17216	30	13350	30	13750
61	13.661	15.082	13.661	17324	30	13400	30	13800
62	13.715	15.135	13.715	17432	31	13450	31	13850
63	13.769	15.188	13.769	17540	31	13500	31	13900
64	13.823	15.241	13.823	17648	31	13550	31	13950
65	13.877	15.294	13.877	17756	32	13600	32	14000
66	13.931	15.347	13.931	17864	32	13650	32	14050
67	13.985	15.400	13.985	17972	32	13700	32	14100
68	14.039	15.453	14.039	18080	33	13750	33	14150
69	14.093	15.506	14.093	18188	33	13800	33	14200
70	14.147	15.559	14.147	18296	33	13850	33	14250
71	14.201	15.612	14.201	18404	34	13900	34	14300
72	14.255	15.665	14.255	18512	34	13950	34	14350
73	14.309	15.718	14.309	18620	34	14000	34	14400
74	14.363	15.771	14.363	18728	35	14050	35	14450
75	14.417	15.824	14.417	18836	35	14100	35	14500
76	14.471	15.877	14.471	18944	35	14150	35	14550
77	14.525	15.930	14.525	19052	36	14200	36	14600
78	14.579	15.983	14.579	19160	36	14250	36	14650
79	14.633	16.036	14.633	19268	36	14300	36	14700
80	14.687	16.089	14.687	19376	37	14350	37	14750
81	14.741	16.142	14.741	19484	37	14400	37	14800
82	14.795	16.195	14.795	19592	37	14450	37	14850
83	14.849	16.248	14.849	19700	38	14500	38	14900
84	14.903	16.301	14.903	19808	38	14550	38	14950
85	14.957	16.354	14.957	19916	38	14600	38	15000
86	15.011	16.407	15.011	20024	39	14650	39	15050
87	15.065	16.460	15.065	20132	39	14700	39	15100
88	15.119	16.513	15.119	20240	39	14750	39	15150
89	15.173	16.566	15.173	20348	40	14800	40	15200
90	15.227	16.619	15.227	20456	40	14850	40	15250
91	15.281	16.672	15.281	20564	40	14900	40	15300
92	15.335	16.725	15.335	20672	41	14950	41	15350
93	15.389	16.778	15.389	20780	41	15000	41	15400
94	15.443	16.831	15.443	20888	41	15050	41	15450
95	15.497	16.884	15.497	20996	42	15100	42	15500
96	15.551	16.937	15.551	21104	42	15150	42	15550
97	15.605	16.990	15.605	21212	42	15200	42	15600
98	15.659	17.043	15.659	21320	43	15250	43	15650
99	15.713	17.096	15.713	21428	43	15300	43	15700
100	15.767	17.149	15.767	21536	43	15350	43	15750
101	15.821	17.202	15.821	21644	44	15400	44	15800
102	15.875	17.255	15.875	21752	44	15450	44	15850
103	15.929	17.308	15.929	21860	44	15500	44	15900
104	15.983	17.361	15.983	21968	45	15550	45	15950
105	16.037	17.414	16.037	22076	45	15600	45	16000
106	16.091	17.467	16.091	22184	45	15650	45	16050
107	16.145	17.520	16.145	22292	46	15700	46	16100
108	16.199	17.573	16.199	22400	46	15750	46	16150
109	16.253	17.626	16.253	22508	46	15800	46	16200
110	16.307	17.679	16.307	22616	47	15850	47	16250
111	16.361	17.732	16.361	22724	47	15900	47	16300
112	16.415	17.785	16.415	22832	47	15950	47	16350
113	16.469	17.838	16.469	22940	48	16000	48	16400
114	16.523	17.891	16.523	23048	48	16050	48	16450
115	16.577	17.944	16.577	23156	48	16100	48	16500
116	16.631	17.997	16.631	23264	49	16150	49	16550
117	16.685	18.050	16.685	23372	49	16200	49	16600
118	16.739	18.103	16.739	23480	49	16250	49	16650
119	16.793	18.156	16.793	23588	50	16300	50	16700
120	16.847	18.209	16.847	23696	50	16350	50	16750
121	16.901	18.262	16.901	23804	50	16400	50	16800
122	16.955	18.315	16.955	23912	51	16450	51	16850
123	17.009	18.368	17.009	24020	51	16500	51	16900
124	17.063	18.421	17.063	24128	51	16550	51	16950
125	17.117	18.474	17.117	24236	52	16600	52	17000
126	17.171	18.527	17.171	24344	52	16650	52	17050
127	17.225	18.580	17.225	24452	52	16700	52	17100
128	17.279	18.633	17.279	24560	53	16750	53	17150
129	17.333	18.686	17.333	24668	53	16800	53	17200
130	17.387	18.739	17.387	24776	53	16850	53	17250
131	17.441	18.792	17.441	24884	54	16900	54	17300
132	17.495	18.845	17.495	24992	54	16950	54	17350
133	17.549	18.898	17.549	25100	54	17000	54	17400
134	17.603	18.951	17.603	25208	55	17050	55	17450
135	17.657	19.004	17.657	25316	55	17100	55	17500
136	17.711	19						