

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sistem Distribusi

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Fungsi distribusi tenaga listrik adalah pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 550 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2 \times R$). Daya yang sama apabila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Melalui saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi.

Kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer, dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen, dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi yang mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahal harganya perlengkapan-perengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo step down. Akibat yang ditimbulkan bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda.

2.2 Gardu Induk

Gardu induk merupakan suatu sistem instalasi listrik yang terdiri dari beberapa perlengkapan peralatan listrik dan menjadi penghubung listrik dari jaringan transmisi ke jaringan distribusi primer, jaringan transmisi adalah bagian sistem dari sistem tenaga listrik yang tugasnya adalah menyalurkan tenaga listrik, dari pembangkit listrik ke gardu induk penaik melalui jaringan transmisi ke gardu induk penurun hingga di distribusikan ke semua konsumen pengguna tenaga listrik (Alsimeri, 2008 : 1840). Sistem Distribusi kebanyakan merupakan jaringan yang diisi dari sebuah Gardu Induk (GI). Jaringan distribusi yang diisi dari sebuah GI pada umumnya tidak dihubungkan secara listrik dengan jaringan distribusi yang diisi dari GI yang lain, sehingga masing-masing jaringan distribusi beroperasi secara terpisah satu sama lain. Sistem Distribusi terdiri dari jaringan tegangan menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Baik JTM maupun JTR pada umumnya beroperasi secara radial. Dalam sistem yang perkembangannya masih baru, bebannya relative masih rendah sehingga tidak diperlukan sistem transmisi (penyaluran). Dalam pengoperasian Sistem Distribusi, masalah utama adalah mengatasi gangguan karena jumlah gangguan dalam Sistem Distribusi adalah relative banyak

dibandingkan dengan jumlah gangguan pada bagian sistem yang lain. Disamping itu masalah tegangan, bagian-bagian instalasi yang berbeban lebih dan rugi-rugi daya dalam jaringan merupakan masalah yang perlu dicatat dan dianalisa secara terus-menerus, untuk dijadikan masukan bagi perencanaan pengembangan sistem dan juga untuk melakukan tindakan-tindakan penyempurnaan pemeliharaan dan penyempurnaan Operasi Sistem Distribusi.

2.2.1 Klasifikasi Gardu Listrik

Klasifikasi Gardu Listrik dapat dibedakan menurut dua hal:

2.2.1.1 Menurut lokasi dan fungsi

Menurut lokasinya didalam sistem tenaga listrik, fungsi dan tegangannya (tinggi, menengah atau rendah) maka gardu listrik dapat dibagi :

a) Gardu Induk

Adalah gardu listrik yang mendapatkan daya dari satuan transmisi atau sub-transmisi suatu sistem tenaga listrik untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban (Industri, Kota dan sebagainya) melalui saluran distribusi primer.

b) Gardu Distribusi

Adalah gardu listrik yang mendapatkan daya dari saluran distribusi primer yang menyalurkan tenaga listrik ke pemakai dengan tegangan rendah.

2.2.1.2 Menurut penempatan peralatannya

Menurut penempatannya. Gardu listrik dibagi :

a) Gardu Induk pemasangan dalam

Gardu Induk dimana semua peralatannya (switchgear, isolator dan sebagainya) dipasang di dalam gedung ruangan tertutup.

b) Gardu Induk pemasangan luar

Gardu Induk dimana semua peralatannya (switchgear, isolator dan sebagainya) ditempatkan di udara terbuka.

2.2.1.3 Menurut isolasi yang digunakan

Gardu induk yang menggunakan isolasi udara :

- Adalah gardu induk yang menggunakan isolasi udara antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian yang bertegangan lainnya.
- Gardu induk ini berupa gardu induk konvensional yang memerlukan tempat terbuka yang cukup luas.

Gardu Induk yang menggunakan isolasi gas sf6 :

- Gardu Induk yang menggunakan gas isolasi sf6 sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan antara satu dengan bagian lainnya. Bagian bertegangan, maupun antar bagian bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan.
- Gardu Induk ini disebut Gas Insulated Substation atau Gas Insulated Switchgear (GIS), yang memerlukan tempat sempit(lihat gambar 1.).



Gambar 1. Gas Insulated Substation (GIS)

Secara prinsip peralatan yang dipasang pada GIS sama dengan peralatan yang dipakai GI konvensional. Perbedaannya adalah :

- Pada GIS peralatan-peralatan utamanya berada dalam suatu selubung logam tertutup rapat , yang didalamnya berisi gas bertekanan, yaitu gas sf6 (*sulphur hexafluorida*).
- Gas sf6 berfungsi sebagai isolasi *switchgear* dan sebagai pemadam busur api pada operasi *circuit breaker* (CB).
- Demikian cara pemasangan GIS berbeda dengan GI konvensional.

Pengembangan GIS :

- Pada mulanya GIS didesain dengan sistem selubung fasa tunggal.
- Perkembangan majunya teknologi kelistrikan, maka saat ini sebagian besar GIS memakai desain selubung tiga fasa dimasukkan dalam satu selubung.
- Keuntungan sistem selubung tiga fasa adalah : lebih murah, lebih ringan, lebih praktis dan pemasangannya lebih mudah, meminimalkan kemungkinan terjadinya kebocoran gas dan lebih sederhana susunan isolasinya.

2.2.1.4 Menurut sistem rel (busbar)

Rel (busbar) merupakan titik hubungan pertemuan (*connecting*) antara transmormtor daya, SUTT / SKTT dengan komponen listrik lainnya, untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik. Berdasarkan sistem rel (busbar), gardu induk dibagi menjadi beberapa jenis yaitu :

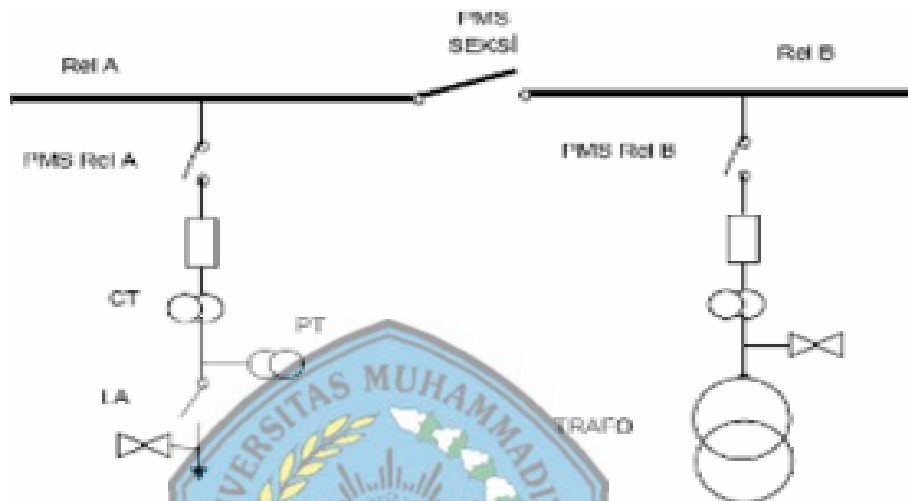
Gardu Induk sistem ring busbar :

- Adalah gardu induk yang busbarnya berbentuk ring.
- Pada gardu induk ini, semua rel (*busbar*) yang ada, tersambung (terhubung) satu dengan lainnya dan membentuk *ring* (cincin).

Gardu Induk sistem single busbar :

- Adalah gardu induk yang mempunyai satu (*single*) busbar

- Pada umumnya gardu dengan sistem ini adalah gardu induk yang berada pada ujung b/akhir dari suatu sistem transmisi
- *Single line diagram* gardu sistem single busbar

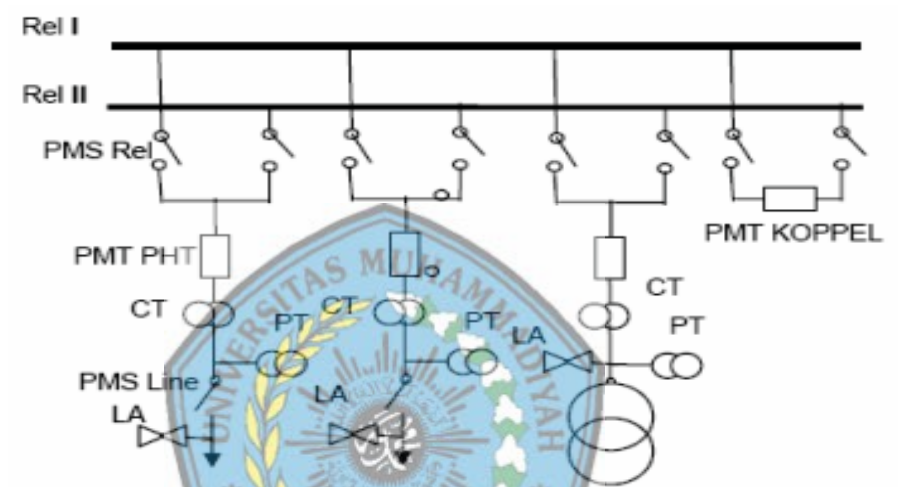


Gambar 2. Single Line Diagram Gardu Induk Single Busbar

Gardu Induk sistem double busbar :

- Adalah gardu induk yang mempunyai dua (double) busbar.

- Gardu Induk sistem double busbar sangat efektif untuk mengurangi terjadinya pemadaman beban, khususnya pada saat melakukan perubahan sistem (*maneuver system*).
- Jenis Gardu Induk ini pada umumnya yang banyak digunakan.
- *Single Line Diagram* Gardu Induk sistem busbar ganda (*double busbar*).

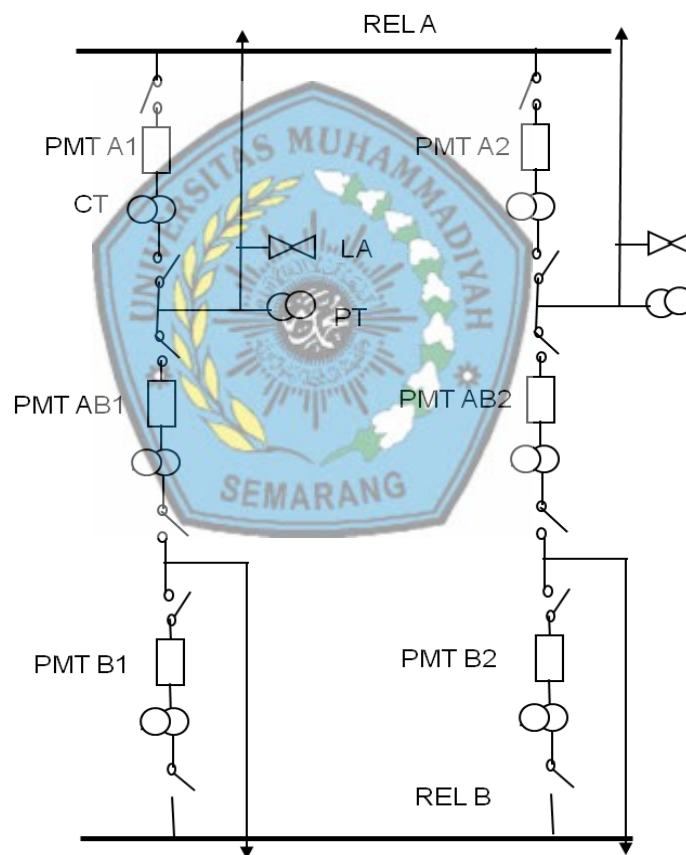


Gambar 3. Single Line Diagram Gardu Induk Sistem Double Busbar

Gardu Induk sistem satu setengah (*on half*) busbar

- Adalah Gardu Induk yang mempunyai dua (*double*) busbar.

- Pada umumnya Gardu Induk jenis ini dipasang pada Gardu Induk di pembangkit tenaga listrik atau gardu induk yang berkapasitas besar.
- Dalam segi operasional, gardu induk ini sangat efektif, karena dapat mengurangi pemadaman beban pada saat dilakukan perubahan sistem (*maneuver system*).
- Sistem ini menggunakan 3 buah PMT dalam satu diagonal yang terpasang secara deret (seri). Single line diagram.



Gambar 4. Single Line Diagram Gardu Induk Satu Setengah Busbar

2.2.2 Peralatan dan Fasilitas Gardu Induk

Peralatan dan Fasilitas suatu Gardu Induk pada umumnya adalah Instalasi transformator tenaga dan peralatan penyaluran tenaga listrik yang terdiri dari :

a) Trafo Tenaga.

b) Peralatan tegangan tinggi (sisi primer), antara lain :

- Lightning arrester
- Spark road
- Pemutus Tenaga (PMT)
- Saklar Pemisah (PMS)
- Trafo arus (CT)
- Trafo tegangan (PT)

c) Peralatan tegangan menengah (sisi sekunder

Peralatan untuk tegangan menengah (sisi sekunder) ragamnya adalah sama dengan peralatan untuk tegangan tinggi (sisi primer).

d) Peralatan control

Digunakan untuk mengontrol pelayanan gardu induk dari suatu tempat dari dalam gedung control yang terdiri dari :

- Panel control
- Panel relay
- Meter-meter pengukuran
- Peralatan telekomunikasi (telepon, PLC, dan radio pemancar)
- Batere dan rectifier
- Dan lain-lain

e) Peralatan lain

Kecuali peralatan yang disebut diatas masih ada peralatan seperti :

- Peterson coil
- Reactor
- Static kapasitor
- Resistor dan lain-lain

Gunanya untuk memperbaiki sistem penyaluran tenaga listrik

2.3 Transformator

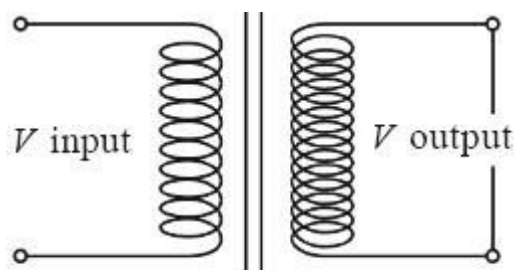
Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energy listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik lain, melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi electromagnet.

2.3.1 Jenis Transmormator

Transformator memiliki banyak jenis namun pada umumnya transformator terbagi menjadi 2 jenis yaitu :

2.3.1.1 Transformator *Step Up*

Transformator step up adalah transformator yang berfungsi untuk menaikkan tegangan $V_p < V_s$. transformator ini memiliki lilitan primer (N_p) yang lebih sedikit dari pada lilitan sekunder (N_s). Transformator jenis *step up* digunakan pembangkit listrik bertegangan tinggi dan alat-alat elektronika lainnya yang membutuhkan tegangan yang lebih tinggi.



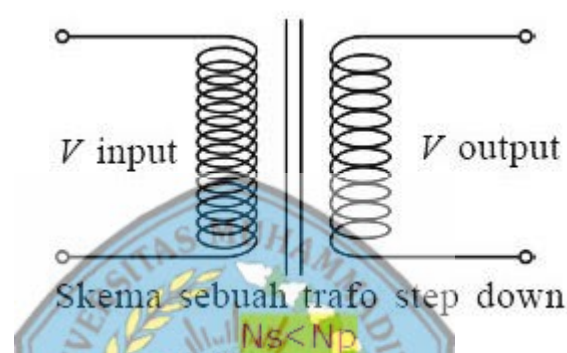
Skema sebuah trafo step up

$$N_s > N_p$$

Gambar 5. Simbol Transformator Step Up

2.3.1.2 Transformator *Step Down*

Transformator *step down* adalah transformator yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, sehingga $V_p > V_s$. transformator step down memiliki lilitan primer (N_p) yang lebih banyak dengan lilitan sekunder (N_s). Transformator jenis step pada umumnya digunakan pada alat-alat elektronika seperti radio, televise, dan lain-lain yang membutuhkan tegangan yang lebih rendah.



Gambar 6. Simbol Transformator Step Down

2.3.2 Penggunaan Transformator

Dalam sistem tenaga listrik, penggunaan transformator dapat dibagi menjadi 2 keperluan yaitu :

2.3.2.1 Transformator pengukuran

Transformator pengukuran adalah suatu alat listrik yang berfungsi sebagai alat transformator energy listrik yang digunakan sebagai alat ukur bantu untuk keperluan pengukuran tegangan dan arus listrik agar berada dalam jangkauan alat ukur, sehingga pengukuran arus dan tegangan listrik dapat terbaca oleh suatu alat ukur. Transformator pengukuran, ada 2 macam yaitu :

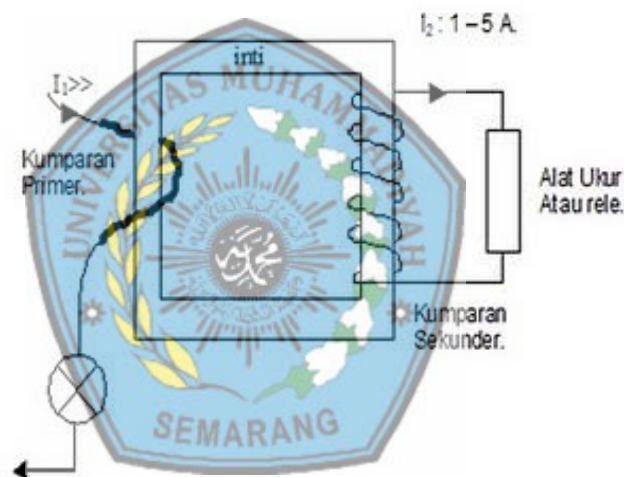
1) Transformator Tegangan/Potensial Transformator (PT)

Fungsinya adalah mentransformasikan besaran Tegangan Tinggi ke besaran Rendah guna pengukuran atau proteksi dan sebagai isolasi antara sisi tegangan yang diukur atau diproteksikan dengan alat ukurnya/proteksinya. Factor yang harus diperhatikan dalam pemilihan transformator tegangan adalah

kesalahan transformasi dan pergeseran. Burden, yaitu beban sekunder dari transformator tegangan (PT), dalam hal ini sangat terkait dengan kelas ketelitian transformator tegangannya. Untuk instalasi pasangan dalam, lazimnya transformator tegangan sudah terpasang pada kubikel pengukuran.

2) Transformator Arus/ *Current Transformer (CT)*

Transformator arus (*current transformer*) adalah salah satu peralatan di Gardu Distribusi, fungsinya untuk mengkonversi besaran arus besar ke arus kecil guna pengukuran sesuai batasan alat ukur, juga sebagai proteksi serta isolasi sirkit sekunder dari sisi primernya.



Gambar 7. Prinsip Kerja Trafo Arus

Faktor yang harus diperhatikan pada instansi transformator arus adalah beban (burden) pengenal dan kelas ketelitian CT. disarankan menggunakan jenis CT yang mempunyai tingkat ketelitian yang sama untuk beban 20%-120% arus nominal. Nilai burden, kelas ketelitian untuk proteksi dan pengukuran harus merujuk pada ketentuan/persyaratan yang berlaku. Konstruksi transformator arus dapat terdiri lebih dari 1 kumparan primer (*double primer*). Untuk konstruksinya sama halnya dengan transformator tegangan, transformator arus pasangan luar memiliki konstruksi lebih

besar/kokoh dibandingkan konstruksi pasangan dalam yang umumnya *built in* (akan dipasangkan) dalam kubikel pengukuran.

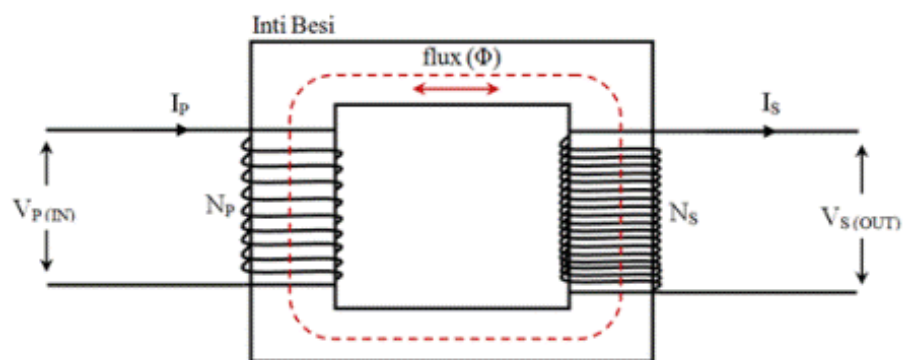
2.3.2.2 Transformator Daya

Transformator tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.

2.3.3 Prinsip Kerja Transformator

Transformator menggunakan prinsip hukum induksi *faraday* dan *hukum Lorentz* dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Apabila magnet tersebut dikelilingi oleh belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda potensial.

Arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga inti besi akan mengalir *flux magnetic* dan *flux magnetic* ini akan menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial.



Gambar 8. Prinsip Kerja Transformator

Menurut Alsimeri (2008) Rumus tegangan Transformator adalah :

$$E_1 = 4,44 \times N_1 \times f_1 \times \phi_{\max} \times 10^{-8} \dots\dots\dots (1)$$

Maka untuk transformator rumus tersebut sebagai berikut :

$$E_1 = 4,44 \times N_1 \times f_1 \times \phi_{\max} \times 10^{-8} \dots\dots\dots (2)$$

$$E_2 = 4,44 \times N_2 \times f_2 \times \phi_{\max} \times 10^{-8} \dots\dots\dots (3)$$

Karena $f_1 = f_2$

Keterangan :

E_1 = tegangan primer (volt)

E_2 = tegangan sekunder (volt)

F_1 = frekuensi primer (Hz)

F_2 = frekuensi sekunder (Hz)

Maka :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots (4)$$

$$E_1 \times N_2 = E_2 \times N_1 \dots\dots\dots (5)$$

$$E_2 = \frac{E_1}{N_1} \times N_2 \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

E_1 = tegangan primer (volt)

E_2 = tegangan sekunder (volt)

N_1 = belitan primer

N_2 = belitan sekunder

VA primer = VA sekunder

$$I_1 \times E_1 = I_2 \times E_2 \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} \text{ maka } I_1 = \frac{E_2 \times I_2}{E_1} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

I_1 = Arus primer (ampere)

I_2 = Arus sekunder (ampere)

E_1 = Tegangan primer (volt)

E_2 = Tegangan sekunder (volt)

Rumus umum menjadi :



$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \dots\dots\dots (9)$$

Maka :

$$E_1 = E_2 \times \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots (10)$$

Pada transformator di haruskan tegangan keluarannya adalah konstan sedangkan tegangan yang masuk ke transformator selalu berubah-ubah. Dengan demikian ketika tegangan masuk ke transformator (E_1) mengalami penurunan, agar tegangan keluaran transformator (E_2) konstan maka perlu di tambahkan belitan (N_1) maupun sebaliknya.

2.3.4 Bagian-bagian transformator daya

1) Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*.



Gambar 9. Inti Besi Dan Laminasi Yang Diikat Fiber Glass

2) Kumparan Transformator

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus.



Gambar 10. Kumparan Phasa RST

3) Minyak Transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebahagian bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga kedua kemampuan ini maka minyak diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan.

Minyak transformator mempunyai unsur atau senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak transformator ini adalah senyawa hidrokarbon parafinik, senyawa hidrokarbon naftenik dan senyawa hidrokarbon aromatic. Selain ketiga senyawa diatas minyak transformator masih mengandung senyawa yang disebut zat adiktif meskipun kandungannya sangat kecil.

Minyak transformator adalah cairan yang dihasilkan dari proses pemurnian minyak mentah. Selain itu minyak ini juga berasal dari bahan-bahan organik, misalnya minyak piranol dan silicon, beberapa jenis minyak transformator yang sering dijumpai dilapangan adalah minyak transformator jenis Diala A, Diala B dan Mectrans.

Kenaikan suhu pada transformator akan menyebabkan terjadinya proses hidrokarbon pada minyak, nilai tegangan tembus dan kerapatan arus konduksi merupakan beberapa indicator atau variable yang digunakan untuk mengetahui apakah suatu minyak transformator memiliki ketahanan listrik yang memahami persyaratan yang berlaku.

Secara analisa kimia ketahanan listrik suatu minyak transformator dapat menurun akibat adanya pengaruh asam dan pengaruh tercampurnya minyak dengan air. Untuk menetralsir keasaman suatu minyak transformator dapat menggunakan potas hidroksida (KOH). Cara menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam minyak tersebut yaitu dengan memberikan suatu bahan higrokospis yaitu selikagel.

Dalam menyalurkan perannya sebagai pendingin, kekentalan minyak transformator ini tidak boleh terlalu tinggi agar mudah bersikulasi, dengan demikian proses pendinginan dapat berlangsung dengan baik. Kekentalan relative minyak transformator tidak boleh lebih dari 4,2 pada suhu 20' C dan 1,8 dan 1,85 dan maksimum 2 pada suhu 50'C. Hal ini sesuai dengan sifat minyak transformator yakni semakin lama dan berat operasi suatu minyak transformator, maka minyak akan semakin kental. Bila kekentalan minyak tinggi maka sulit untuk bersikulasi sehingga akan menyulitkan proses pendingin transformator.

4) Bushing

Hubungan antara kumparan transformator dan ke jaringan luar melalui sebuah bussing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator yang konstruksinya dapat dilihat pada gambar 11. Bushing sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator.



Gambar 11. Bushing

Pada bushing dilengkapi fasilitas untuk pengujian kondisi bushing yang sering disebut tap center tap.

5) Tangki konservator

Tangki konservator berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap/udara akibat pemanasan trafo karena arus beban. Diantara tangki dan trafo dipasangkan relay bucholz yang akan menyerap gas produksi akibat kerusakan minyak.

Untuk menjaga agar minyak tidak terkontaminasi dengan air, ujung masuk saluran udara melalui saluran pelepasan dan masuknya udara kedalam konservator

perlu dilengkapi media penyerap uap air pada udara sering disebut dengan silica gel dan dia tidak keluar mencemari udara disekitarnya.



Gambar 12. Tangki Konservator

2.3.5 Peralatan Bantu Transformator

1) Pendingin Trafo

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi tembaga, maka panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, ini akan merusak isolasi, maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut transformator perlu dilengkapi dengan alat atau sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa gas / udara, minyak dan air.

Pada acara alamiah, pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media dan untuk mempercepat pendinginan dari media-media (minyak-udara / gas) dengan cara melengkapi transformator dengan sirip-sirip (radiator). Bila diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara manual dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa-pompa sirkulasi minyak, udara, dan air cara ini disebut pendingin pakasa (*forced*). Macam-macam sistim pendingin transformator dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Macam-macam Sistem Pendingin

No	Macam sistem pendingin	MEDIA			
		Didalam transformator		Diluar transformator	
		Sirkulasi alami	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi alami	Sirkulasi Paksa
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7	OFWF	-	Minyak	-	air
8	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			



Gambar 13. Pendingin Trafo Type ONAF

2) Pengubah Tap Berbeban

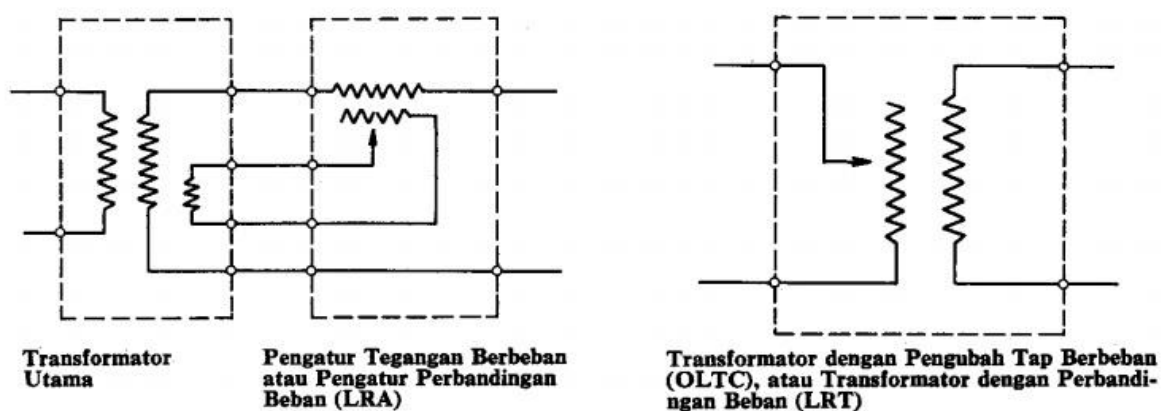
Ada dua cara untuk mengubah tegangan transformator (lihat gambar 14.) memasang transformator dengan pengubah tap (tap changer) berbeban, dimana pada salah satu atau kedua sisi lilitan transformator tadi dibuat tap (penyadap) dan perbandingan transformasinya diubah oleh pengubah tap berbeban atau dengan memasang pengatur tegangan berbeban (On Load Tap Changer) secara seri dan terpisah dari transformator utama. Keduanya mempunyai mekanisme yang dapat mengubah tap dalam keadaan berbeban masih rendah dan masih sering harus diperiksa serta dipelihara, maka pengatur tegangan berbeban dipasang terpisah dari transformator utama, agar supaya pada waktu diadakan pemeriksaan, transformator utama dapat bekerja terus tanpa (by pass) pengatur tegangan itu. Tetapi sekarang, karena keandalannya sudah baik, kebanyakan dipakai transformator dengan pengubah tap berbeban sebagai pengganti pengatur tegangan berbeban yang terpisah.

Suatu pengubah tap berbeban (OLTC mempunyai mekanisme hubung yang dapat mengubah tap dalam keadaan berbeban, dan terdiri dari pemilih tap (tap selector), saklar pengalih (diverter switch) dan bagian-bagian pembantu (related auxiliaries). Seperti terlihat pada (gambar 14.) keadaan (a) adalah keadaan kerja normal arus kembali (*backward current*) mengalir melalui reactor yang mempunyai tap di tengah. Kedua bagian kumparan dikedua sisi tap itu tergulung pada inti besi yang identik, sehingga fluks magnetnya sama dan akan meniadakan pengaruh masing-masing, dan impedansi reactor itu mendekati nol. Pada keadaan (b) arus berpindah ke satu sisi karena terbukanya saklar pengalih. Sementara itu pada (c) pemilih tap maju ke tap berikutnya dan pada (d) saklar pengalih menutup kembali, sekarang ada dua tap yang terhubung. Arus sirkulasi karena adanya beda tegangan antara kedua tap itu dibatasi oleh reactor. Setelah itu terjadi keadaan (e) dan (f) dimana saklar pengalih dan pemilih tap dari sisi yang lain bekerja, setelah semua itu berlangsung, maka selesailah perpindahan satu tap (keadaan g).

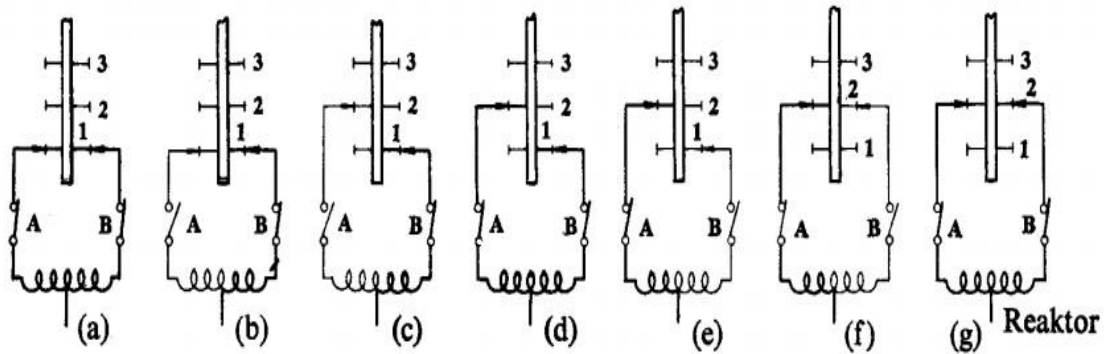
Pada gambar diatas adalah pengubah tap berbeban dari jenis reactor (*reactor type*). Selain itu ada pula jenis tahanan resistansi dimana arus sirkulasi dibatasi oleh tahanan (gambar 15.). Ada juga jenis tahanan ganda (*multi resistor type*) dimana

fluktuansi tegangan pada waktu perpindahan tap dibatasi dan tugas buka dan tutup dari saklar pengalih diperingan, contohnya adalah jenis tahanan 6 kontak seperti dalam (gambar 16.).

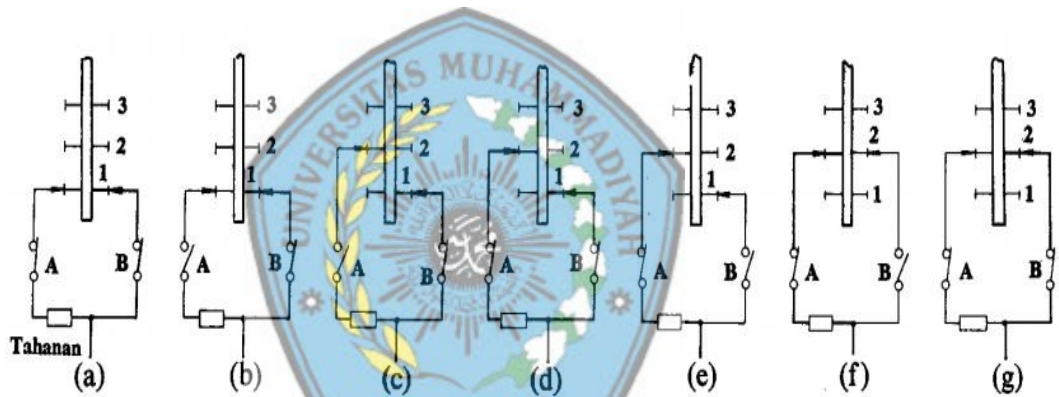
Ada berbagai jenis persoalan yang timbul sehubungan dengan pemakaian pengubah tap. Karena saklar pengalih itu melaksanakan perpindahan hubungan (*switching over*) di dalam minyak, maka minyak itu cepat memburuk. Oleh karena itu minyak ini harus dipisahkan dari minyak isolasi transformator dengan dinding pemisah. Minyak yang telah memburuk ini harus disaring, tergantung dari keadaan, untuk mencegah turunnya tahanan isolasinya. Ini dapat dilakukan dengan filter minyak yang dapat bekerja dalam keadaan transformator bertegangan. Karena frekuensi bekerjanya saklar pengalih ini tinggi maka keausan kontak harus mendapat perhatian. Penggantian kontak cukup dilakukan sekali dalam beberapa tahun, karena dalam pengujian jenis (*type test*) dilakukan pengujian listrik bekerjanya kontak (*electrical duty test*) berpuluh-puluh ribu kali (jika perlu 200-300 ribu kali). Gangguan-gangguan pada bagian mekanis dari pengubah tap itu lebih sering terjadinya dari pada gangguan pada transformatornya. Usaha-usaha untuk meningkatkan keandalannya dilakukan, dengan pengujian kerja mekanis (*mechanical duty test*) sebagai bagian dari pengujian jenis dipabriknya. Meskipun demikian, sebaiknya dilakukan pemeriksaan dan pemeliharaan yang cermat untuk menjamin kestabilan bagian mekanis yang rumit ini.



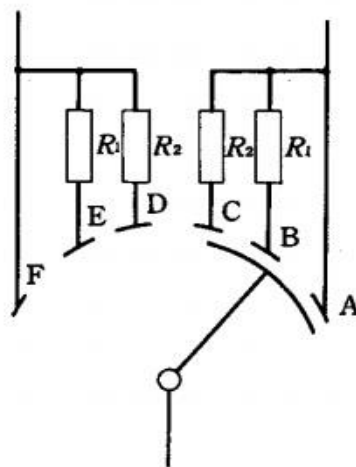
Gambar 14. Dua Cara Mengubah Tegangan Transformator



Gambar 15. Cara Kerja Pengubah Tap Berbeban (OLTC) Jenis Reactor



Gambar 16. Cara Kerja Pengubah Tap Berbeban (OLTC) Jenis Tahanan



Gambar 17. Saklar Pengalih Jenis 6 Tahanan

Berdasar pada pengaruh dari perubahan tegangan disisi primer maka akan mempengaruhi perubahan disisi sekunder, untuk mengetahui perubahan tap disisi primer terhadap tegangan disisi sekunder bisa kita lihat pada name plate transformator dengan perbandingan persen perubahan disisi primer :

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

Keterangan :

E_1 = tegangan primer (volt)

E_2 = tegangan sekunder (volt)

V_1 = belitan primer

V_2 = belitan sekunder

3) Alat pernapasan (*Dehydrating Breather*)

Tempat penampungan pemuaian minyak isolasi akibat panas yang timbul maka minyak ditampung pada tangki yang sering disebut sebagai konservator. Pada konservator ini permukaan minyak diusahakan tidak boleh bersinggungan dengan udara karena kelembaban udara yang mengandung uap air akan mengkontaminasi minyak walaupun prosesnya berlangsung cukup lama.

Untuk mengatasi hal tersebut udara yang masuk kedalam tangki konservator pada saat minyak menjadi dingin diperlukan suatu media penghisap kelembaban yang digunakan biasanya adalah silicagel. Kebalikan jika trafo panas maka akan menghisap udara dari luar masuk kedalam tangki dan untuk menghindari terkontaminasi oleh kelembaban udara maka diperlukan suatu media penghisap kelembaban yang digunakan biasanya adalah silicagel yang secara khusus dirancang untuk maksud tersebut diatas. Konstruksi alat pernapasan transformator dapat dilihat pada gambar 18.



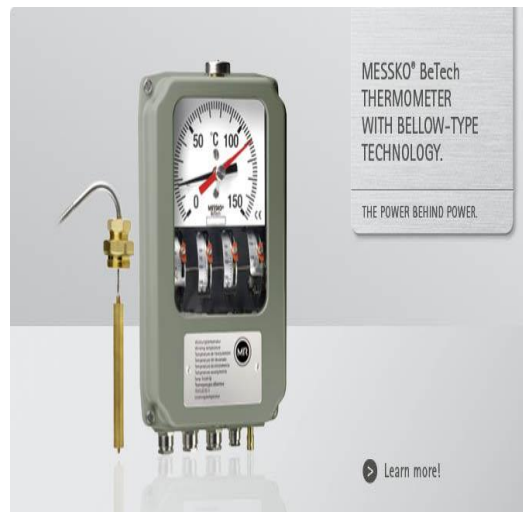
Gambar 18. Konstruksi Alat Pernapasan Transformator

2.3.6 Indikator-indikator pada Transformator

1) Thermometer

Alat ini berfungsi untuk mengukur tingkat panas dari trafo baik panasnya kumparan primer dan sekunder juga minyak. Thermometer ini bekerja atas dasar air raksa (mercuri/Hg) yang tersambung dengan tabung pemuaian dan tersambung dengan jarum indicator derajat panas.

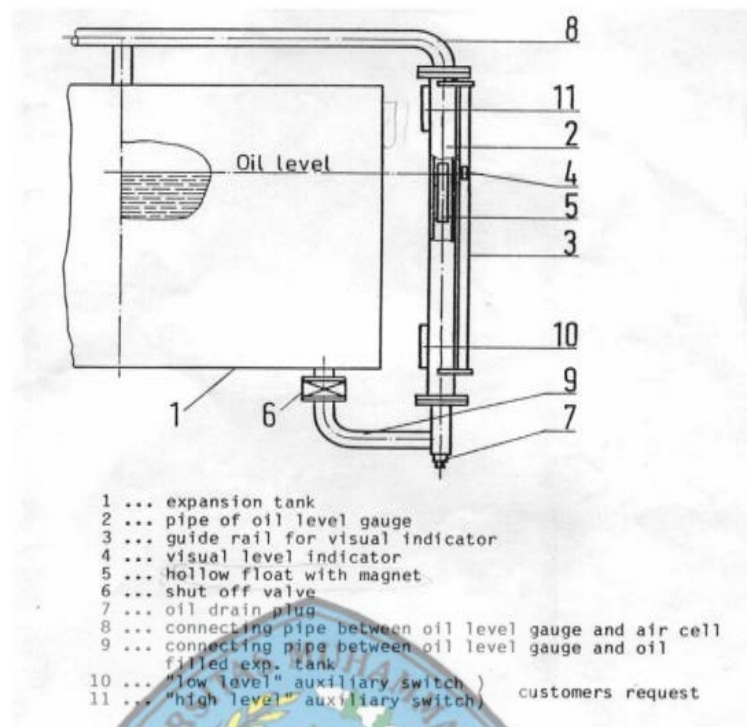
Beberapa thermometer dikombinasikan dengan panas dari resistor khusus yang tersambung dengan transformator arus, yang terpasang pada salah satu fasa (fasa tengah) dengan demikian penunjukan yang diperoleh adalah relative terhadap kebenaran dari panas yang terjadi.



Gambar 19. Thermometer

2) Permukaan minyak

Alat ini berfungsi untuk penunjukan tinggi permukaan minyak yang ada pada konservator. Ada beberapa jenis penunjukan seperti penunjukan langsung yaitu dengan cara memasang gelas penduga pada salah satu sisi konservator sehingga akan mudah mengetahui level minyak. Sedangkan jenis lain jika konservator dirancang sedemikian rupa dengan melengkapi semacam balon dari bahan elastic dan diisi dengan udara biasa dan dilengkapi dengan alat pelindung seperti pada sistem pernapasan sehingga pemuai dan penyusutan minyak udara yang masuk kedalam balon dalam kondisi kering dan aman.



Gambar 20. Alat Ukur Penunjukan Tinggi Permukaan Minyak

2.3.7 Peralatan Proteksi Internal Transformator

1) Relai Bucholz

Penggunaan relai deteksi gas (Bucholtz) pada transformator terendam minyak yaitu untuk mengamankan transformator yang didasarkan pada gangguan transformator yang umumnya menghasilkan gas. Gas-gas tersebut dikumpulkan pada ruangan relai dan akan mengerjakan kontak-kontak alarm.



Gambar 21. Relai Bucholz

2) Jensen Membran

Alat ini berfungsi untuk pengaman tekanan lebih, relai ini bekerja karena tekanan lebih akibat gangguan didalam transformator, karena tekanan melebihi kemampuan membrane yang terpasang, maka membrane akan pecah dan minyak keluar dari dalam transformator yang disebabkan oleh tekanan minyak.

3) Relay tekanan lebih

Suatu *flash over* atau hubung singkat yang timbul pada suatu transformator terendam minyak, umumnya akan berkaitan dengan suatu tekanan lebih dalam tangki, karena gas yang dibentuk oleh decomposisi dan evaporasi minyak. Dengan melengkapi tekanan lebih yang membahayakan tangki trafo dapat dibatasi besarnya. Apabila tekanan lebih ini tidak dapat dieliminasi dalam waktu beberapa milidetik, tangki trafo akan meledak dan terjadi panas lebih pada cairan.

2.4 Penggunaan On Load Tap Changer (OLTC) Pada Transformator

2.4.1 Pengertian

Dari namanya sendiri yaitu On Load Tap Changer dapat diartikan 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 OLTC merupakan peralatan yang dipasang pada transformator untuk memperbaiki kualitas tegangan pada sisi sekunder dengan memilih rasio tegangan tanpa melakukan pemadaman, dimana rasio tegangan ini ditentukan oleh kumparan tegangan yang dihubungkan dengan tap selector pada OLTC.*

2.4.2 Fungsi

Seperti yang telah diketahui bahwasannya tegangan yang diterima oleh konsumen hendaknya stabil untuk menyalakan peralatan-peralatan yang bekerja oleh energy listrik, hal ini agaknya berbanding terbalik dengan tegangan di sistem yang tidak stabil atau bersifat fluktuatif hal ini selain disebabkan oleh perubahan beban juga dipengaruhi oleh banyaknya daya yang dibangkitkan oleh pembangkit-pembangkit, oleh karena itu

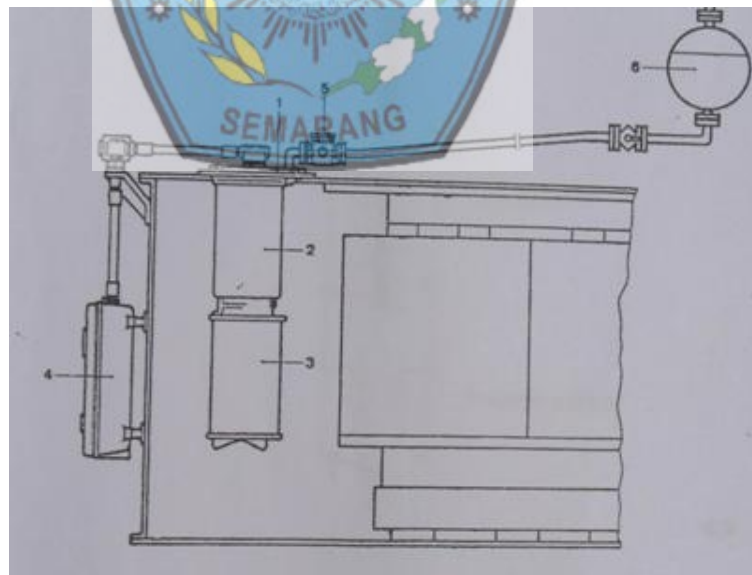
diperlukanlah sebuah alat yang dapat mengatasi masalah tersebut, sehingga munculah yang disebut OLTC yang berfungsi untuk memperbaiki tegangan yang disalurkan ke konsumen sehingga tegangan yang sampai ke konsumen stabil, tentunya stabil pada tegangan sistem konsumen.

2.4.3 Prinsip Dasar OLTC

Secara umum Prinsip dasar dari OLTC ini yaitu melakukan pengaturan tegangan baik sisi sekunder maupun primer yang dilakukan dengan cara memilih rasio tegangan, dimana untuk memilih rasio yang dikehendakidilakukan dengan cara menambahkan atau mengurangi jumlah kumparan yang dimana proses tersebut dilakukan oleh tap selector dan diverter switch.

2.4.4 Bagian-bagian Tap changer

Secara umum bagian-bagian dari tap changer dapat dibedakan menjadi sebagai berikut :



Gambar 22. Bagian-bagian Tap changer

Keterangan :

1. Tap changer Head and Cover
2. Tap changer Oil compartment
3. Tap selector,diverter switch dan tahanan transmisi
4. Motor drive unit
5. Tap changer protective rele
6. Tap changer oil conservator

2.4.4.1 Tap changer Head And Cover

Bagian ini merupakan tutup pelindung atas dari tap changer. Di sini terdapat beberapa saluran yang terhubung ke bagian luar antara lain:

1. Tap changer cover,yaitu bagian ini merupakan penutup dan pelindung tangki conservator dari bagian luar.
2. Saluran yang terhubung ke tangki minyak luar. Saluran ini digunakan untuk mengalirkan minyak dari tangki konservator ke oil compeartment.
3. Gear unit dan drive shaft, bagian ini merupakan penghubung bantu dari motor 3fasa(sebagai penggerak) ke bagian diverter switch dan tap selector dari tap changer.
4. Bladeer valve,bagian yang berfungsi untuk mengeluarkan minyak berlebih pada oil compartment saat terjadi gangguan pada tap changer.

2.4.4.2 Tap changer Oil Compartment

Tap changer oil compartment merupakan tangki yang berisi diverter switch.Compartment ini terisi oleh minyak isolasi sebagai isolator dan bahan pendingin.

2.4.4.3 Tap Selector, Diverter Switch dan tahanan transisi

Tap selector yaitu bagian tap changer yang berfungsi untuk mengatur nilai dan posisi tap belitan. Dalam hal ini, posisi tap akan mempengaruhi banyak sedikitnya jumlah belitan yang dipakai, sehingga secara langsung akan mengatur nilai tegangan yang dihasilkan. Diverter switch, adalah rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan tinggi. Tahanan transmisi, merupakan dua buah tahanan dengan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan tap. Pada umumnya resistor yang digunakan adalah nikelin dengan nilai resistensi $4,8\Omega$ dan kemampuan arus 200 amper.

2.4.4.4 Panel control dan Motor Drive unit

Panel control dan Motor Drive unit ialah sebuah tempat yang berisikan peralatan untuk mengoperasikan tap changer. Adapun bagian-bagian dari panel control dan motor drive ini adalah:

1. Motor ac tiga fasa yang berfungsi sebagai penggerak mekanik untuk mengganti nilai tap yang digunakan.
2. Kontaktor, Ada tiga buah kontaktor motor yang digunakan pada panel control ini. Masing-masing kontaktor ini mempunyai fungsi yang berbeda antara lain : a). Kontaktor utama, berfungsi sebagai supply tegangan ke motor tiga fasa dan sebagai limit switch saat tap telah berada pada posisi yang tepat. Tegangan yang digunakan adalah tegangan AC 380V. b). Kontaktor kedua dan ketiga berfungsi sebagai pembalik fasa motor sehingga motor dapat bekerja dengan dua arah putaran (ke kiri atau ke kanan). Pada bagian ini memanfaatkan peranan kapasitor pada motor listrik yang digunakan.
3. MCB (Miniatur Circuit Breaker), berfungsi untuk pengaman perangkat control tap changer.
4. Display Mekanik counter dan posisi tap, berfungsi sebagai penampil untuk menunjukkan berapa kali tap changer sudah bekerja dan posisi atau kedudukan tap nya.

5. Selector Switch pada bagian ini ada dua pilihan pengontrolan ,yaitu pengontrolan remote atau local. Pengontrolan remote adalah pengontrolan tap changer yang dilakukan dari panel control di gardu induk. Sedangkan local adalah pengontrolan yang dilakukan secara manual di trafo atau langung pada panel control dilapangan.
6. Engkol manual ,berfngsi untuk memindah tap secara manual. Cara yang dilakukan adalah dengan memutar seccara manual engkol ini.

2.4.4.5 Tap Changer Protective Rele

Rele ini berfungsi untuk mengamankan tekanan minyak berlebih pada minyak yang ada pada diverter switch compartment saat terjadi gangguan.

2.4.4.6 Tap Changer Oil Conservator

Tangki ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan suplai minyak untuk tap changer. Biasanya tangki ini juga digabung dengan tangki konservator transformator. Agar kedua minyaknya tidak tercampur, maka di dalam tangki konservator ini terdapat sekat pemisah.

2.4.5 Pembagian Proses Kerja Tap Changer

2.4.5.1 Berdasarkan Cara Pengoperasiannya:

Secara otomatis pada proses ini, kerja tap changer tergantung dari kerja sebuah sensor rele. Dalam hal ini di gunakan rele AVR (automatic voltage rele). Rele AVR yang terletak di gardu induk ini yang akan memberikan trigger/rangsangan untuk mengganti nilai tap yang digunakan. Berbeda dengan rele proteksi transmisi, rele ini hanya mendeteksi nilai sinkronisasinya pada satu fasa saja, sehingga nilai perubahan tap pada masing-masing fase akan selalu bersamaan. secara manual, maka analisa kerjanya dapat kembali dibedakan lagi menjadi dua jenis, yaitu secara remote (pengoperasian dari panel gardu induk) atau local (langsung pada panel kontrolnya).

2.4.5.2 Berdasarkan Adatidaknya Pembebanan:

1. Off Load Tap Changer, pada analisa ini tap changer dapat bekerja ketika bagian sekitarnya dalam kondisi tidak ada pembebanan, sehingga di sekitar trafo tidak ada arus dan tegangan yang bekerja. Pengoperasian ini biasanya dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan pemadaman untuk daerah kerja di sekitar transformator, sehingga tap changer hanya mampu bekerja ketika kondisi transformator dalam keadaan padam.
2. On Load tap Changer (OLTC), pada analisa ini tap changer dapat bekerja ketika bagian sekitarnya dalam kondisi pembebanan, sehingga disekitar trafo ini ada arus dan tegangan yang bekerja, sehingga pengoperasian jenis tap changer ini dapat dilakukan tanpa melakukan pemadaman untuk daerah kerja sekitar transformator.

2.4.6 Peralatan Proteksi Tap Changer

Beberapa peralatan tersebut antara lain, adalah:

1. Protective rele RS2001

Rele ini berfungsi untuk mengamankan tekanan minyak berlebih pada minyak yang ada pada diverter switch compartment saat terjadi gangguan.

2. Oil Conservator

Bagian ini merupakan tempat penampungan cadangan minyak untuk main tank dan diverter compartment dimana ada pemisah antara bagian minyak main tank dan diverter switch compartment. Selain itu, pada bagian ini juga merupakan tempat keluaran kadar air yang menguap, sehingga kandungan air tidak akan tercampur di tangki compartment diverter switch.

3. Silica Gel

Silica gel ini merupakan alat pernafasan bagi minyak yang ada di dalam oil conservator, maksudnya adalah untuk mengurangi bahkan menghilangkan produksi uap air pada minyak yang ada di dalam oil conservator akibat dari adanya perbedaan suhu di

luar dan di dalam oil conservator. Pada tabung tempat pengisian silica gel juga diberi minyak yang berfungsi untuk menyaring kotoran dari uap air yang dihasilkan.

4. Integrated pressure relief diaphragm of the tap changer head cover

Rele ini mempunyai peranan yang penting ketika terjadi gangguan panas pada tangki diverter switch. Rele ini akan bekerja mengeluarkan minyak dari tangki karena pengaruh tekanan yang besar dari dalam tangki.

2.4.7 Macam-Macam Tap changer

Dilihat dari media isolatornya, maka tap changer tipe ini dapat dibedakan dalam dua jenis, yaitu:

1. Oil Tap changer

Tap changer jenis ini menggunakan media minyak sebagai isolatornya. Tipe tap changer yang satu ini merupakan media yang sering dipakai pada peralatan proteksi. Biasanya sudah digunakan di beberapa transformator saat ini.

2. Vacum tap changer

Tap changer jenis ini merupakan tipe tap changer modern. Merupakan modifikasi baru dari tap changer karena tipe ini menggunakan media hampa udara di dalam tangki compartment. Media hampa ini merupakan pengganti minyak sebagai bahan isolatornya.

2.4.8 Kerusakan dan Pemeliharaan

Jenis kerusakan pada tap changer adalah sebagai berikut:

1. Resistor Putus

Beberapa penyebab putusnya kabel jumper resistor lainnya adalah karena kabel jumper/terminal kontak tidak bagus, usia yang sudah tua dan kerjanya yang bersifat up normal.

2. Flash Over Kontak

Kerusakan ini ditandai dengan munculnya busur api pada kontak-kontak hubung tap selector dan diverter switch. Hal ini disebabkan adanya urat kabel yang lepas dan tidak teramankan menyentuh kontak diverter switch / screen contact.

3. Hardness Surface

Permasalahan ini disebabkan karena bahan pelapis roller tidak bagus, sehingga tidak tahan dialiri arus saat terjadi pemindahan kontak.

4. Kontak menipis

Permasalahan ini biasanya ditunjukkan dengan semakin menipisnya kontak hubung yang tersambung dengan tap selector.

Pemeliharaan jenis ini dapat dibagi dalam beberapa jenis, antara lain:

1. Pemeliharaan Predektif

Contoh pemeliharaan tipe ini adalah pengujian sample minyak, dan juga pengujian abnormal noise.

2. Pemeliharaan Preventif

Inspeksi tahunan dan Penggantian minyak Contohnya adalah mengganti minyak pelumasan fungsi counter, visual check.

Overhaul / Pemeriksaan diverter switch contohnya adalah memeriksa ketebalan kontak, nilai tahanan resistor, kekencangan baut-baut, kekuatan pegas. Penggantian kontak Contohnya adalah penggantian stationary dan moving kontak, penggantian transision resistor.

2.4.9 Kelebihan dan Kekurangan

Kelebihan

Sedangkan untuk kelebihan dari tap changer adalah :

1. Sebagai media untuk mengatur nilai tegangan pada sisi keluaran sekunder.
2. Tap changer terdiri dari beberapa tipe yang dapat dipilih sesuai dengan penggunaannya.
3. Penerapan pemilihan tap changer biasanya telah disesuaikan dengan winding transformator.

Kekurangan

Dari beberapa fenomena-fenomena ini, maka dapat diambil beberapa kekurangan dari tap changer, antara lain :

1. Sering terjadi kerusakan pada beberapa bagian mekanik tap changer. Hal ini disebabkan karena pengaruh tap changer yang senantiasa selalu bergerak.
2. Fenomena-fenomena yang terjadi sering menyebabkan kerentanan tap changer terhadap beberapa permasalahan, sehingga tap changer memerlukan sistem pengamanan yang lebih.
3. Jika terjadi kerusakan parah seperti retakkan atau patahan pada tap changer, maka perbaikan terhadap tap changer akan cenderung susah untuk dilakukan bahkan mungkin tap changer harus diganti dengan yang baru. Harga tap changer cenderung lebih mahal.

2.4.10 Beberapa Fenomena ini,antara lain:

1. Fenomena Electric

Fenomena ini adalah fenomena yang disebabkan oleh pengaruh adanya nilai arus, tegangan, dan tahanan pada beberapa bagian tap changer.

2. Fenomena Mekanik

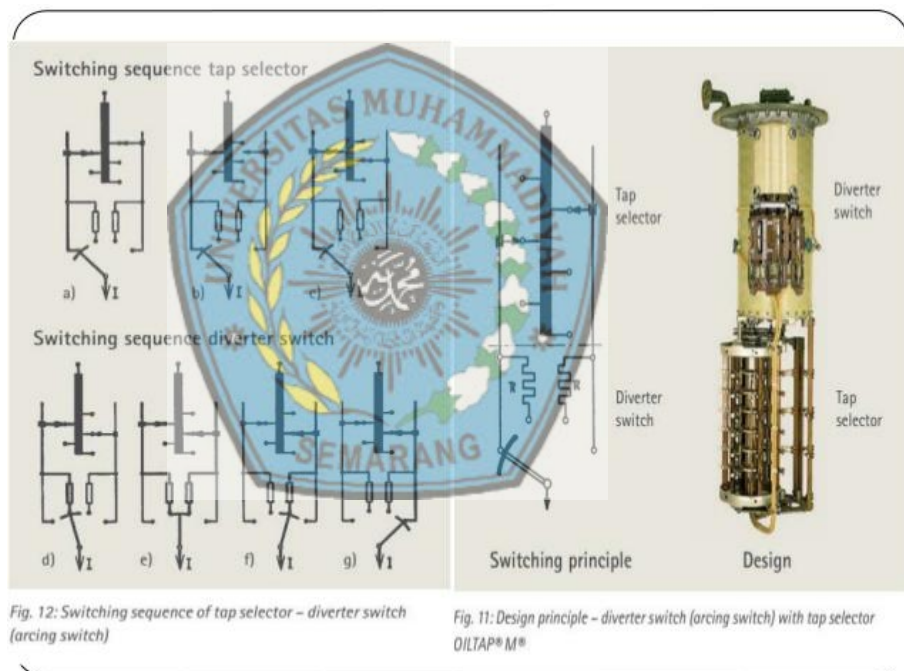
Fenomena ini disebabkan oleh adanya pergerakan pegas dan bagian mekanik tap changer secara terus-menerus.

3. Fenomena Thermal

Fenomena ini disebut juga thermal effect. Adanya fenomena electric yang terjadi, secara langsung akan menyebabkan terbentuknya panas.

4. Fenomena Chemical

Proses penguraian ini dapat terjadi dalam beberapa analisa seperti, karbonisasi, kondensasi, dan juga combustible gas. Secara umum, beberapa kandungan gas yang teruraikan dari minyak isolasi, antara lain adalah: H_2 , C_2H_4 , C_2H_2 . Gas-gas itulah merupakan contoh dari gas yang mudah terbakar (combustible gas).



Gambar 23. OLTC

2.5 Daya

Daya listrik adalah besarnya energy listrik yang dapat dipindahkan dalam satu satuan waktu. Daya listrik dalam sistem arus bolak-balik sinusoidal dapat dirumuskan sebagai berikut :

Tegangan sesaat = $v(t)=V_m \cdot \cos(\omega t + \theta_v)$ (11)

Arus sesaat = $i(t)=I_m \cdot \sin(\omega t + \theta_i)$ (12)

Daya sesaat,

$P(t)=v(t) \times i(t) = V_m \cdot \cos(\omega t + \theta_v) \times I_m \cdot \sin(\omega t + \theta_i)$ (13)

Sesuai rumus dalam trigonometri

$\cos A \cdot \cos B = \frac{1}{2} \cdot \cos(A-B) + \frac{1}{2} \cdot \cos(A+B)$ (14)

Maka didapatkan :

$p(t) = 1/2 \cdot V_m \cdot I_m \{ \cos(\theta_v + \theta_i) + \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i) \}$ (15)

$p(t) = 1/2 \cdot V_m \cdot I_m \{ \cos(\theta_v + \theta_i) + \cos[(2(\omega t + \theta_v) - (\theta_v - \theta_i))] \}$ (16)

Tegangan rata-rata untuk arus bolak-balik sinusoidal=

$[V]=V_m / \sqrt{2}$ (17)

Arus rata-rata untuk arus bolak-balik sinusoidal=

$[I] = I_m / \sqrt{2}$ (18)

Bila $\theta_v - \theta_i = \theta$ maka,

$P(t) = [V] \cdot [I] \cdot \cos\theta [1 + \cos 2(\omega t + \theta_v)] + [V] \cdot [I] \cdot \sin\theta \cdot \sin 2(\omega t + \theta_v)$ (19)

2.5.1 Daya semu

Perkalian tegangan V dengan arus I dalam kedua besaran ini dalam bentuk bilangan kompleks adalah VT yang dinamakan daya kompleks dengan symbol S, dalam satuan *Volt Ampere (VA)*, *Mega Volt Ampere (MVA)*. Arus I adalah konjugate dari I. jadi,

$S = V \cdot I$ (20)

2.5.2 Daya Aktif atau Nyata(P)

Daya aktif atau nyata dirumuskan dengan $S \cos \theta$ atau $VT \cos \theta$ dengan symbol P, dalam satuan *Watt (W)*, *kilo Watt (kW)*, *Mega Watt (MW)*. Jadi,

$P = S \cos \theta = VT \cos \theta$ (21)

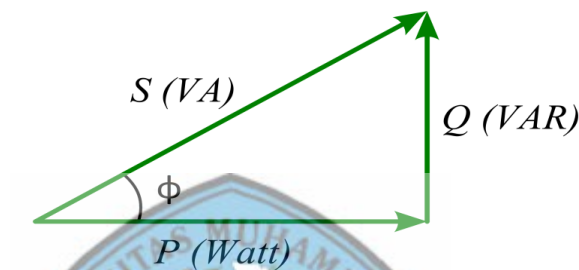
2.5.3 Daya reaktif (Q)

Daya reaktif atau daya khayal dirumuskan dengan $S \sin \theta$ atau $VT \sin \theta$ dengan symbol Q dalam satuan *Volt Ampere Reaktif (VAR)*, *kilo Volt Ampere Reaktif (kVAR)*, *Mega Volt Ampere Reaktif (MVAR)*. Jadi,

$$Q = S \sin\theta = VT \sin\theta \dots\dots\dots (22)$$

Daya reaktif ini ada yang bersifat induktif dan ada yang bersifat kapasitif.

Dari penjelasan ketiga macam daya diatas, dikenal juga sebagai segitiga daya. Dimana definisi umum dari segitiga daya adalah suatu hubungan antara daya nyata, daya semu, dan daya reaktif, yang dapat dilihat hubungannya pada bentuk segitiga berikut ini :



Gambar 24. Segitiga Daya

Keterangan :

$$P = S \times \cos\theta \text{ (Watt)}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ (VA)}$$

$$Q = S \times \sin\theta \text{ (VAR)}$$

2.6 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam % atau dalam besaran volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasistansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti.

Jatuh tegangan pada saluran transmisi adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (*sending end*) dan tegangan pada ujung penerimaan (*receiving end*) tenaga listrik. Saluran bolak balik besarnya tergantung dari impedansi dan admitansi saluran serta pada beban dan faktor daya. Jatuh tegangan relatif dinamakan (*voltage regulation*), dan dinyatakan dengan rumus :

$$Vd = \frac{Vs - Vr}{Vr} \times 100\% \dots \dots \dots (23)$$

Dimana :

Vd = Rugi tegangan (V)

Vs = Tegangan pada pangkal pengiriman (V)

Vr = Tegangan pada ujung penerimaan (V)

Jarak dekat regulasi tegangan tidak berarti (hanya beberapa % saja), tetapi untuk jarak sedang dan jarak jauh dapat mencapai 5-15 %.

Bila beban pada saluran tidak berat, sistem tenaga dioperasikan pada regulasi yang konstan, karena pengaruh arus penguat (*charging current*) besar, untuk memungkinkan regulasi yang kecil, saluran transmisi dioperasikan pada tegangan yang konstan pada ujung penerima dan pangkal pengiriman tanpa dipengaruhi oleh beban. Bila tegangan pada titik penerima turun karena naiknya beban, maka dipakai pengatur tegangan dengan beban (*on-load voltage-regulator*) guna memungkinkan tegangan sekunder yang konstan, meskipun tegangan primernya berubah.

Rugi tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $Vd = |Vs| - |Vr|$, sebelum menghitung rugi tegangan harus menemukan hasil persamaan dari beberapa hal yang mempengaruhi dari drop tegangan itu sendiri. Hal yang mempengaruhi dari drop tegangan sebagai berikut :

a) Tahanan (R)

Nilai resistansi saluran distribusi dipengaruhi oleh *resistivitas* konduktor dan temperatur. Resistansi (R) dari sebuah penghantar sebanding dengan panjang (l) dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya (A).

$$R_{total} = R \times l \dots\dots\dots(24)$$

Keterangan :

R : Resistansi kabel (Ohm / km)

l : Panjang saluran (m)

b) Impedansi (Z)

Didalam suatu rangkaian linear terdiri atas tahanan (R), Reaktansi (X) , Rumus impedansinya adalah sebagai berikut :

$$Z = R + jX \dots\dots\dots(25)$$

Keterangan : Z: Impedansi

R : Tahanan (Ohm)

jX : Reaktansi

c) Tegangan sisi terima (V_R)

$$V_R = \frac{V_{R(line)}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(27)$$

Dengan :

V_{R(LN)} : Tegangan sisi terima (volt)

V_{R (Line)} : Tegangan kerja (volt)

d) Tegangan sisi kirim (V_s) :

$$V_{s(LN)} = V_{R(LN)} + I \cdot Z \dots\dots\dots(28)$$

Dengan :

V_s : Tegangan sisi kirim (Volt)

I : Arus (Ampere)

Z : Impedansi

e) Drop tegangan :

$$V_d(LN) = \frac{|V_{s(LN)}| - |V_{R(LN)}|}{|V_{R(LN)}|} \times 100\% \dots\dots\dots(29)$$

Dengan :

V_d : Drop tegangan (volt)

V_s : Tegangan sisi kirim (Volt)

V_R : Tegangan sisi terima (Volt)

f) Pengaturan tegangan dan turun tegangan menurut SPLN 72 tahun 1987:

1. Turun tegangan pada JTM dibolehkan:



- a. 2% dari tegangan kerja sebagaimana tercantum pada ayat 22 bagi sistem yang tidak memanfaatkan STB *) yaitu sistem spindle dan gugus.
 - b. 5 % dari tegangan kerja bagi sistem yang memanfaatkan STB yaitu sistem radial diatas tanah dan sistem simpul.
2. Turun tegangan pada transformator distribusi dibolehkan 3% dari tegangan kerja.
 3. Turun tegangan pada STR dibolehkan sampai 4% dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban.
 4. Turun tegangan pada SR dibolehkan 1% dari tegangan nominal.

g) Tegangan kerja di gardu induk distribusi

1. Pada sistem yang tidak memanfaatkan STB (pada transformator distribusi), tegangan kerja di GI distribusi diatur sebagai berikut:
 - a. Dipertahankan konstan 20.5 – 21 kV
 - b. Dipertahankan konstan 21.5 – 22 kV
 - c. Dipertahankan konstan 22.5 – 23 kV
2. Pada sistem yang memanfaatkan STB (pada transformator distribusi), tegangan kerja di GI distribusi diatur sebagai berikut:
 - a. Pada saat beban penuh tegangan antara 22.5-23 kV pada saat beban nol tegangan 20 kV
 - b. Pada saat beban penuh tegangan antara 21.5-22 kV pada saat beban nol tegangan 19 kV
 - c. Pada saat beban penuh tegangan antara 20.5-21 kV pada saat beban nol tegangan 18 kV

