

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sistem tenaga listrik memiliki empat unsur utama yaitu : pembangkit tenaga listrik, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban atau disebut juga sebagai pengguna tenaga listrik. Perkembangan sistem kelistrikan saat ini telah mengarah pada peningkatan efisiensi dan mutu tegangan dalam penyaluran energi listrik. Peningkatan efisiensi dan mutu tersebut dapat dimulai dari pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Pada sisi distribusi, peningkatan efisiensi dapat dilakukan dengan cara mengurangi terjadinya jatuh tegangan pada saluran dan memberikan tingkat tegangan yang aman bagi peralatan pelanggan.

Besarnya tegangan yang diterima oleh konsumen listrik tidaklah sama, hal ini terjadi karena adanya impedansi dari jaringan. Oleh karena itu, jatuh tegangan selalu ada pada setiap bagian dari sistem tenaga, mulai dari sumber sampai ke pelanggan. Jatuh tegangan berbanding lurus dengan besarnya arus dan sudut fasanya, yaitu arus yang mengalir di seluruh sistem tenaga.

Salah satu perlengkapan untuk mengusahakan agar tegangan pelayanan masih dalam batas – batas yang diperbolehkan, maka *transformator* distribusinya dilengkapi dengan sadapan tanpa beban pada sisi tegangan tingginya. Pengaturan sadapan tanpa beban pada *transformator* distribusi ini, harus dikaitkan dengan pengaturan tegangan sadapan berbeban pada *transformator* utama di Gardu Induk yang bersangkutan.

Pada skripsi ini akan di bahas mengenai penentuan posisi *Tap* pada *Off Load Tap Changer Transformator* Distribusi berdasarkan Jatuh Tegangan.

### **1.2 Permasalahan Penelitian**

Adanya jarak antara Gardu Induk ke beban ( konsumen ) mengakibatkan jatuh tegangan . Nilai jatuh tegangan bervariasi tergantung panjang penyulang dan luas penampang.

### **1.3 Identifikasi Masalah**

Hal yang akan diidentifikasi pada skripsi ini yaitu mengenai penentuan posisi *Tap* pada *Off Load Tap Changer Transformator* Distribusi berdasarkan Jatuh Tegangan pada saluran distribusi 20 kV

### **1.4 Ruang Lingkup Masalah**

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini antara lain.

1. Hanya menghitung jatuh tegangan pada penyulang Rasamala Gardu Induk Kebon Jeruk.
2. Menentukan posisi *tap* berdasarkan jatuh tegangan pada penyulang Rasamala Gardu Induk Kebon Jeruk

### **1.5 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada skripsi ini yaitu:

1. Berapa nilai total jatuh tegangan.
2. Pada *tap* berapa posisi masing-masing *transformator* distribusi

### **1.6 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

#### **1.6.1 Tujuan Penelitian**

Tujuan penulisan Skripsi ini adalah :

1. Memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan kurikulum pendidikan Sarjana Strata Satu (S1).
2. Menghitung besar Jatuh Tegangan pada Penyulang Rasamala Gardu Induk Kebon Jeruk.
3. Mengetahui Posisi *Tap* pada *Transformator* Distribusi yang terpasang pada Penyulang Rasamala Gardu Induk Kebon Jeruk.

#### **1.6.2 Manfaat penelitian**

Manfaat penulisan yang hendak dicapai dari penulisan skripsi ini adalah

1. Secara teoritis penulisan ini bermanfaat agar para pembaca bisa mengetahui tentang Jatuh Tegangan dan cara mengatasinya.

2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan tentang kajian dalam menentukan posisi *Tap* pada *Transformator* distribusi.
3. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi sehingga membantu pembaca menghitung jatuh tegangan.

### **1.7 Sistematika penulisan**

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari lima bab yaitu Bab I Pendahuluan membahas tentang latar belakang, permasalahan penelitian, identifikasi masalah, ruang lingkup masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Bab II Landasan Teori dengan Tinjauan pustaka, landasan teori dan kerangka pemikiran. Bab III metodologi penelitian membahas tentang analisa kebutuhan, perancangan penelitian, serta teknik analisis. Bab IV hasil dan pembahasan akan membahas hasil yang akan menjadi bahan kesimpulan. Dan Bab V membahas kesimpulan dan saran yang didapat dari perhitungan pada bab sebelumnya.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Muhamad Yanuardi Putra & Chairul Gagarin Irianto, (Februari 2015) “ Analisis Terjadinya Tekanan Mendadak Pada *On Load Tap Changer* Unit 1 PLTU Suralaya ” *Transformator* tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah. *Transformator* digunakan pada peralatan listrik yang memerlukan perubahan tegangan. Salah satu komponen pada *transformator* yaitu *On Load Tap Changer (OLTC)*. *Transformator* yang terpasang di gardu induk pada umumnya menggunakan *tap changer* yang dapat di operasikan dalam keadaan *transformator* berbeban (*OLTC*) yang di pasang di sisi primer. Pada suatu sistem interkoneksi jika tegangan keluaran generator tidak stabil maka tegangan pada sisi tegangan tinggi Unit Service *Transformator (UST)* juga tidak stabil. Untuk mengatasi kondisi tersebut maka pengaturan tegangan dilaksanakan dengan menggunakan *OLTC* sehingga dapat mengurangi jatuh tegangan (*drop voltage*) dan dapat mempertahankan tegangan di sisi keluaran agar tetap stabil. *OLTC* berfungsi untuk mengatur/menjaga agar tegangan keluaran yang dikendalikan tetap stabil walaupun tegangan inputnya bervariasi atau naik turun, kondisi ini sangat diperlukan untuk memasok daya/tegangan disisi keluaran yang menggunakan peralatan kontrol yang akurat.

Riska Ayu Andriyani (2012) “ Optimasi Pengaturan *Tap On Load Tap Changer* Pada *Transformator* 150/20 kV Di Gardu Induk Jember Menggunakan Metode *Fuzzy Logic Controller* “ Faktor yang dapat mempengaruhi ketidakstabilan tegangan adalah dinamika *OLTC (On Load Tap Changer)* pada *transformator*. Pengendalian kestabilan tegangan menggunakan *OLTC* bertujuan agar penggunaan daya dan tegangan menjadi lebih ekonomis dan efisien, karena tegangan yang digunakan dalam keadaan sesuai (stabil) dengan tegangan yang didesain dari peralatan yang dipakai sampai pada suatu batas tertentu. *OLTC* adalah sebuah komponen

listrik yang sering digunakan pada *transformator* daya di gardu induk transmisi. OLTC berfungsi sebagai pengubah *tap* dalam keadaan berbeban yang dapat melakukan perubahan *tap* untuk menambah atau mengurangi jumlah kumparan pada *transformator* tanpa harus melakukan pemadaman terlebih dahulu. *Tap* OLTC ini dapat diubah sesuai *voltage drop* pada *transformator* di sisi primer. Metode yang akan digunakan adalah *fuzzylogic controller* dimana terdapat dua masukan yaitu, *voltage drop* (selisih tegangan) dan *current tap position* (posisi *tap* sekarang) sedangkan satu keluarannya berupa *direction of tap change* (arah perubahan *tap*).

## **2.2 Landasan Teori**

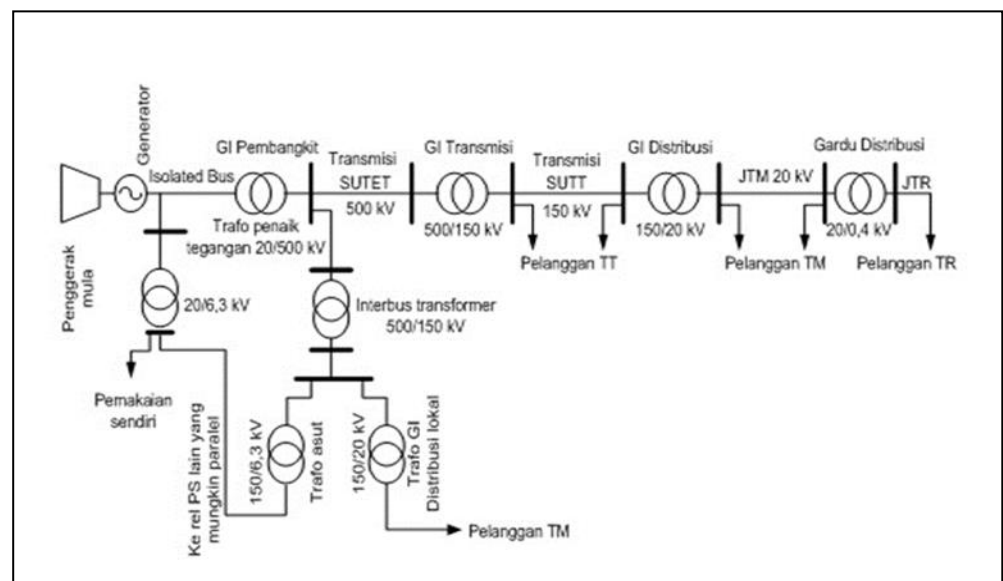
### **2.2.1 Sistem Tenaga Listrik**

Sistem tenaga listrik pada umumnya terdiri dari empat unsur utama . Pertama, unsur pembangkit tenaga listrik. Kedua, suatu sistem transmisi lengkap dengan gardu induk. Ketiga, adanya saluran distribusi yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan Tegangan Menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dengan Tegangan Rendah (TR). Keempat, adanya unsur pemakaian tenaga listrik mulai dari konsumen pelanggan besar yang menggunakan tegangan tinggi dan tegangan menengah sampai dengan konsumen rumah tangga yang biasanya menggunakan tegangan rendah.

Energi listrik ini berawal dari Pusat Tenaga Listrik (PTL) melalui saluran-saluran transmisi, Gardu Induk, distribusi, dan akhirnya sampai pada konsumen pengguna tenaga listrik tersebut.

Energi listrik dibangkitkan pada Pembangkit Tenaga Listrik (PTL) yang dapat merupakan suatu Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA), Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), ataupun Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Jenis Pembangkit Tenaga Listrik (PTL) ini tergantung pada bahan bakar atau energi primer yang digunakan. Tegangan yang dibangkitkan oleh generator ini biasanya berkisar antara 6 kV sampai 20 kV tergantung dari pabrik pembuat.

Pada sistem tenaga listrik yang besar, atau bilamana Pembangkit Tenaga Listrik terletak jauh dari konsumen, maka energi listrik tersebut dikirim melalui saluran transmisi dengan menggunakan Tegangan Tinggi (TT) atau Tegangan Ekstra Tinggi (TET). Tegangan ini dinaikkan di gardu induk dengan menggunakan *transformator* penaik tegangan (*step up transformator*). Tegangan yang transmisi yang digunakan adalah 500 kV untuk Tegangan Ekstra Tinggi (TET) dan 150 kV untuk Tegangan Tinggi (TT)



Gambar 2.1. Diagram satu garis sistem tenaga listrik

Mendekati pusat pemakaian tenaga listrik yang dapat berupa suatu industri atau suatu kota, Tegangan Tinggi (TT) diturunkan menjadi Tegangan Menengah (TM). Hal ini juga dilakukan pada Gardu Induk (GI) dengan menggunakan *transformator* penurun tegangan (*step down transformator*). Mulai dari sisi sekunder *transformator* penurun tegangan ini disebut sistem distribusi yang merupakan sistem distribusi primer. Di Indonesia pada sistem distribusi primer tegangan menengah yang digunakan adalah 20 kV. Jaringan distribusi primer ini menghubungkan gardu induk dengan gardu-gardu distribusi. Di gardu distribusi selanjutnya tegangan diturunkan lagi dengan *transformator* penurun tegangan menjadi tegangan rendah yang disebut distribusi sekunder.

Tegangan rendah ini kemudian di distribusikan ke konsumen-konsumen tegangan rendah.

### **2.2.2 Sistem Arus Searah**

Sistem arus searah banyak digunakan pada awal sejarah kelistrikan. Kini tidak lagi digunakan kecuali untuk keperluan khusus. Di Indonesia misalnya Perusahaan Umum Kereta Api (Perumka) menggunakan arus searah untuk kereta rel listrik (KRL) dengan tegangan 1500 volt, dua kawat. Juga pelabuhan laut sering menggunakan sistem arus searah guna mengoperasikan keran-keran pengangkat barang yang menggunakan motor arus searah.

### **2.2.3 Sistem Arus Bolak Balik**

Sistem arus bolak balik (ABB) banyak digunakan dan terdiri dari sistem fasa satu, sistem fasa dua, sistem fasa tiga dan sistem fasa enam. Namun yang akan kita uraikan dan paling banyak digunakan adalah sistem arus bolak balik fasa satu dan fasa tiga.

### **2.2.4 Sistem Jaringan Distribusi**

Untuk mendistribusikan tenaga listrik dari sumber daya (Gardu Induk) hingga sampai kepada pemakai listrik (konsumen) dibutuhkan suatu sistem distribusi. Sistem distribusi ini dibagi menjadi dua bagian yaitu Sistem Distribusi Primer dan Sistem Distribusi Skunder.

### **2.2.5 Sistem Distribusi Primer**

Sistem distribusi primer yang biasa disebut Jaringan Tegangan Menengah (JTM) merupakan saluran tegangan menengah yang dimulai dari sisi sekunder *transformator* tenaga di pusat listrik atau sisi sekunder *transformator step down* di gardu induk sampai pada sisi primer *transformator* distribusi. Umumnya di PLN tegangan nominalnya adalah 7 kV, 12 kV, 20 kV, 30 kV, namun saat ini hampir semua wilayah kerja PLN telah menggunakan tegangan 20 kV.

Penghantar yang dipergunakan pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) yakni suatu penghantar yang menggunakan kawat penghantar dan dilewatkan pada udara (*over head*).
2. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) yakni suatu penghantar yang menggunakan kabel dan dilewatkan di bawah tanah (*under ground*).

#### **2.2.6 Sistem Distribusi Sekunder**

Sistem distribusi sekunder yang biasa disebut Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dimulai dari sisi sekunder *transformator* distribusi sampai dengan Sambungan Rumah (SR) pada pelanggan yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu distribusi ke pelanggan dengan tegangan operasi yakni tegangan rendah (400/231 Volt, 380/220 Volt). Pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR) jenis saluran yang digunakan ada dua yakni:

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) dengan penghantar dari kawat *Bare Copper*, *All Aluminium Conductor* (AAC) maupun *All Aluminium Alloy Conductor* (AAAC) serta saluran kabel udara yang dipilin.
2. Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR) dengan menggunakan penghantar berupa kabel dengan inti penghantar dari tembaga maupun *aluminium* dengan bahan isolasi dari *Polivinyll Chloride* (PVC) atau *Cross-linked Polyethylene* (XLPE).

#### **2.2.7 Transformator**

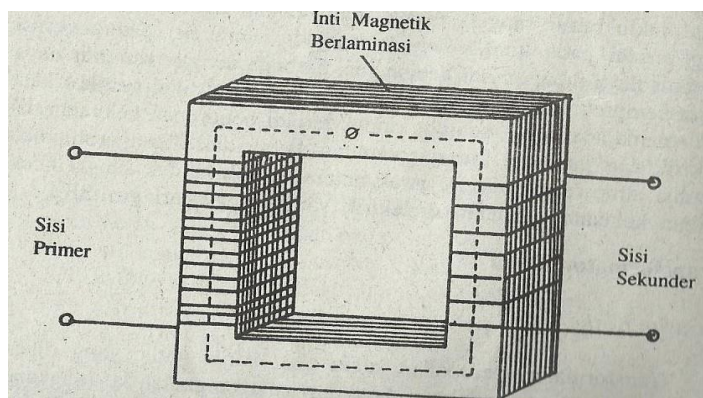
*Transformator* adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektro magnetik.

Landasan fisik *transformator* adalah induktansi mutual (timbang balik) antara kedua rangkaian yang dihubungkan oleh suatu fluksi magnetik bersama yang melewati suatu jalur dengan reluktansi rendah. Kedua kumparan memiliki



induktansi mutual yang tinggi. Jika satu kumparan disambung pada suatu sumber tegangan bolak-balik, suatu fluksi bolak-balik terjadi di dalam inti berlaminasi, yang sebagian besar akan mengait pada kumparan lainnya dan di dalamnya akan terinduksi suatu gaya gerak-gesak listrik sesuai dengan hukum induksi elektromagnetik Faraday.

Bilamana rangkaian sekunder ditutup, suatu arus akan mengalir, dengan demikian energi listrik dipindah (sepenuhnya secara magnetik) dari kumparan primer ke kumparan sekunder



Gambar 2.2 Skema Prinsip Kerja *transformator* dengan Kumparan Primer dan Sekunder

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian *transformator* dikelompokkan menjadi :

1. *Transformator* daya
2. *Transformator* distribusi
3. *Transformator* pengukuran (*transformator* arus dan *transformator* tegangan).

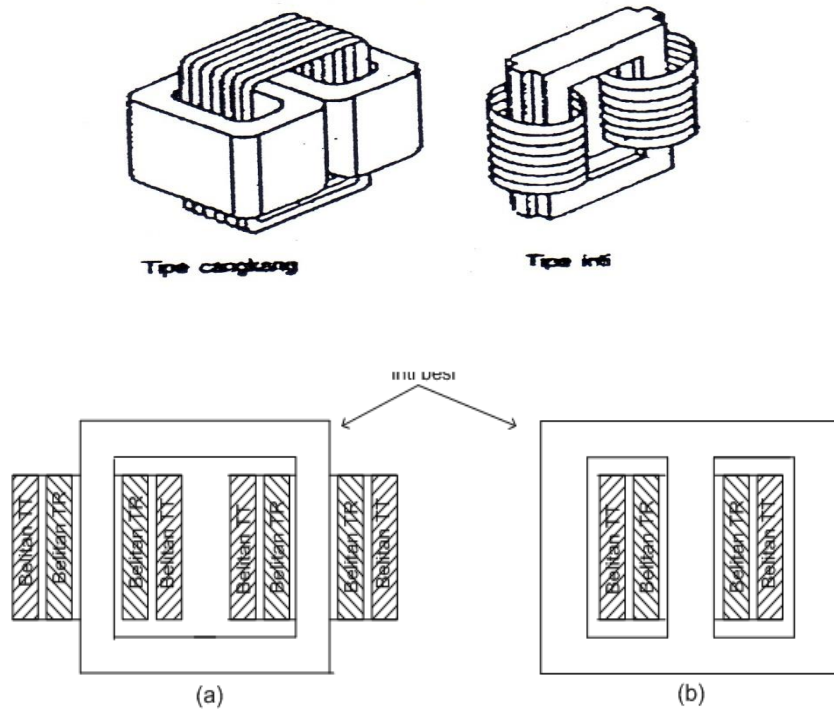
### 2.2.8 Konstruksi *Transformator*

Umumnya konstruksi *transformator* terdiri dari :

1. Inti besi

Inti besi yang terbuat dari lembaran-lembaran plat besi lunak atau baja silikon yang diklem menjadi satu. Inti tersebut berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang timbul karena arus listrik dalam belitan atau kumparan *transformator*. Berdasarkan cara melilitkan kumparan

pada inti, ada dua tipe inti besi *transformator* yaitu tipe cangkang (*Shell Type*) dan tipe inti (*Core Type*).

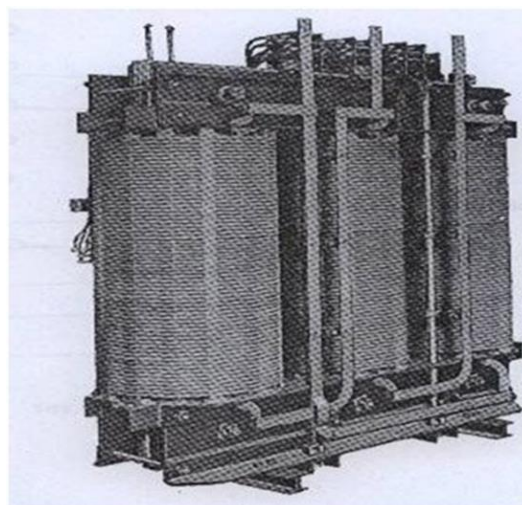


Gambar 2.3 Belitan Inti Besi *Transformator*

(a) Tipe Inti (*Core Type*)

(b) Tipe Cangkang (*Shell Type*)

## 2. Kumparan atau Belitan



Gambar 2.4 Kumparan Fasa RST.

Kumparan atau belitan terbuat dari tembaga yang cara melilitkannya pada inti dapat konsentris atau spiral. Kumparan atau belitan terdiri dari belitan sekunder dan belitan primer. Kumparan primer adalah yang menerima daya dan kumparan sekunder yang tersambung pada beban.

3. Minyak *Transformer*

Minyak *transformator* merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada *transformator*.

4. Bushing

Bushing untuk menghubungkan rangkaian dalam *transformator* dengan rangkaian luar.



Gambar 2.5 *Bushing*

5. Tangki Konservator

Tangki konservator berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap/udara akibat pemanasan *transformator* karena arus beban.



Gambar 2.6 Konservator *Transformator*

6. Peralatan Bantu Pendingin *Transformator*

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 yang menyalurkan panas keluar.

#### 7. *Tap Changer*

Kualitas operasi tenaga listrik jika tegangan nominalnya sesuai ketentuan, tapi pada saat operasi dapat saja terjadi penurunan tegangan sehingga kualitasnya menurun, untuk itu perlu alat pengatur tegangan agar tegangan selalu pada kondisi terbaik, konstan dan berkelanjutan.

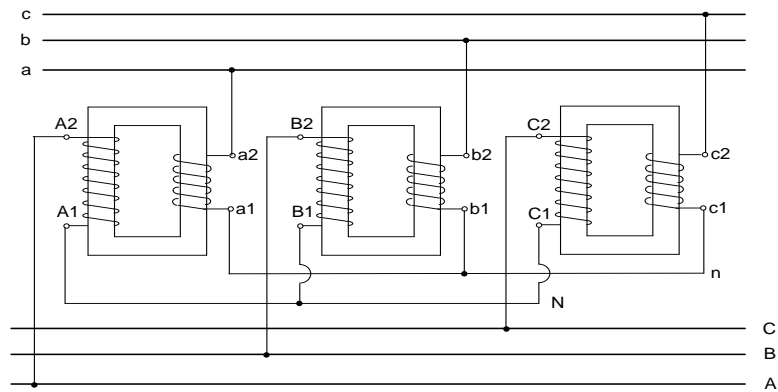
#### 8. *Alat Pernapasan (Dehydrating Breather)*

Sebagai tempat penampungan pemuatan 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 proses pengkontaminasinya berlangsung cukup lama. Untuk mengatasi hal tersebut, udara yang masuk kedalam tangki konservator pada saat minyak menjadi dingin memerlukan suatu media penghisap kelembaban, yang digunakan biasanya adalah silica gel. Kebalikan jika *transformator* panas maka pada saat menyusut 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 silica gel, yang secara khusus dirancang untuk maksud tersebut diatas

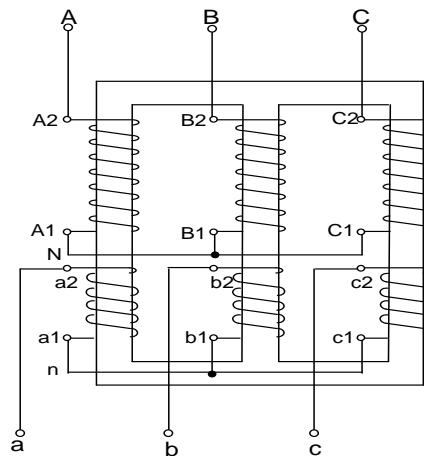
*Transformator* yang umum digunakan untuk sistem distribusi adalah *transformator* fasa tiga dan fasa satu, sedangkan *transformator* fasa tiga merupakan *transformator* yang paling banyak dipakai.

#### 2.2.9 *Transfomer Fasa Tiga*

*Transformator* fasa tiga dapat berupa : 1 unit *transformator* fasa tiga atau 3 unit dari *transformator* fasa tunggal.



Gambar 2.7 *Transformator* fasa tiga yang terdiri dari 3 buah *transformator* fasa tunggal



Gambar 2.8 Satu Unit *Transformator* Fasa Tiga

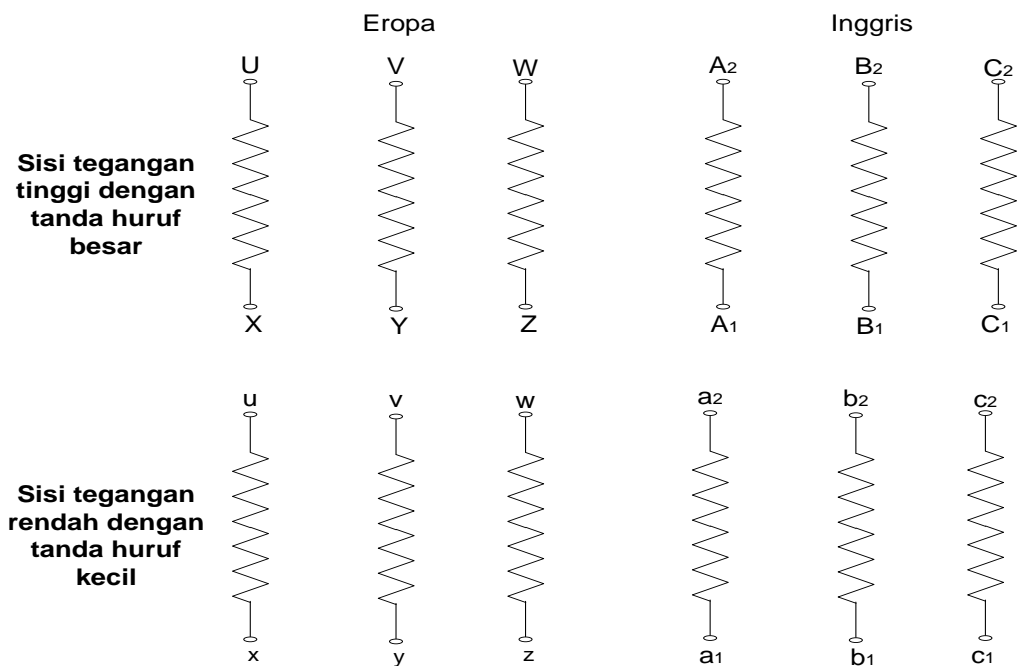
#### 2.2.10 Polaritas *Transformator* Disisi Sumber dan Beban

Sisi tegangan tinggi pada *transformator* sebagai sisi primer dan sisi tegangan rendah pada *transformator* sebagai sisi sekunder. Tetapi dari arah aliran daya sisi primer adalah beban dan sisi sekunder adalah sumber.

Untuk penandaan ujung-ujung belitan pada *transformator* dilakukan sesuai dengan standar yang dipakai oleh pabrikan dari beberapa negara yaitu :

Tabel 2.1 Tanda Ujung belitan pada *transformator*

| Negara  | Tanda Ujung Belitan  |                |                |                      |                |                |
|---------|----------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|
|         | Sisi Tegangan Tinggi |                |                | Sisi Tegangan Rendah |                |                |
| Eropa   | U                    | V              | W              | u                    | v              | w              |
| Inggris | A                    | B              | C              | a                    | b              | c              |
| Amerika | H <sub>1</sub>       | H <sub>2</sub> | H <sub>3</sub> | X <sub>1</sub>       | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> |
| IEC     | I                    | II             | III            | i                    | ii             | iii            |



Gambar 2.9 Penandaan ujung-ujung belitan pada *Transformator*

### 2.2.11 Vektor Grup *Transformator*

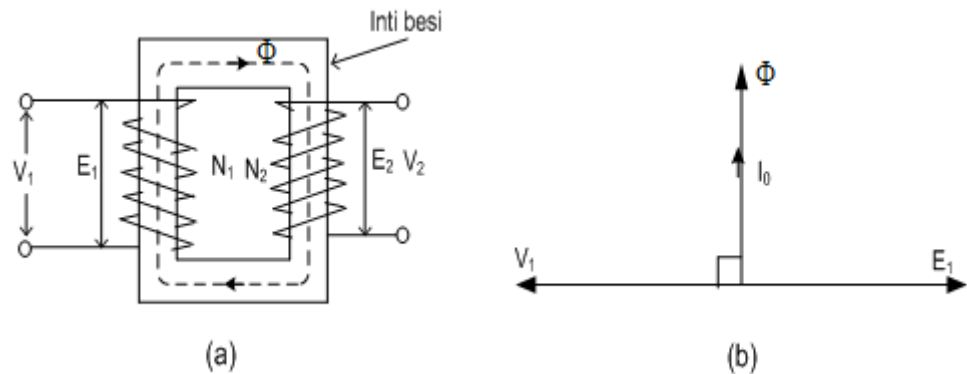
Jika terminal-terminal primer dan sekunder *transformator* tiga fasa dihubungkan dengan hubungan Y atau D, maka antara urutan fasa yang sama di primer dan sekunder bisa terjadi perbedaan sudut. Artinya fasa R di primer dan fasa R di sekunder tidak lagi sefasa. Untuk menyatakan pergeseran sudut ini biasanya dilakukan patokan (referensi) penunjukan arah jarum jam. Pergeseran sudut sebesar 1 jam sama dengan 30° listrik.

Tabel 2.2. Vektor group *transformator* tiga fasa

| 1                                     | 2                 | 3              |    | 4                |    | 5                          |
|---------------------------------------|-------------------|----------------|----|------------------|----|----------------------------|
| Tanda                                 |                   | Diagram vektor |    | Hubungan lilitan |    | Perbandingan Lilitan N     |
| Angka jam                             | Golongan hubungan | TT             | TR | TT               | TR |                            |
| Transformator-transformator fasa-tiga |                   |                |    |                  |    |                            |
| 0                                     | Dd0               |                |    |                  |    | $\frac{N_1}{N_2}$          |
|                                       | Yy0               |                |    |                  |    | $\frac{N_1}{N_2}$          |
|                                       | Dz0               |                |    |                  |    | $\frac{2N_1}{3N_2}$        |
| 5                                     | Dy5               |                |    |                  |    | $\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$  |
|                                       | Yd5               |                |    |                  |    | $\frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$  |
|                                       | Yz5               |                |    |                  |    | $\frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2}$ |
| 6                                     | Dd6               |                |    |                  |    | $\frac{N_1}{N_2}$          |
|                                       | Yy6               |                |    |                  |    | $\frac{N_1}{N_2}$          |
|                                       | Dz6               |                |    |                  |    | $\frac{2N_1}{3N_2}$        |
| 11                                    | Dy11              |                |    |                  |    | $\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$  |
|                                       | Yd11              |                |    |                  |    | $\frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$  |
|                                       | Yz11              |                |    |                  |    | $\frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2}$ |

### 2.2.12 Prinsip Kerja *Transformator* Tanpa Beban

Bila kumparan primer suatu *transformator* dihubungkan dengan sumber tegangan  $V$ , yang sinusoidal, akan mengalir arus primer  $I_0$  yang juga sinusoidal dan dengan memisalkan belitan  $N$ , reaktif murni,  $I_0$  akan tertinggal  $90^\circ$  dari  $V$



Gambar 2.10. *Transformator* Ideal Tanpa Beban

(a) Rangkaian

(b) Vektor Diagram

Arus primer  $I_0$  yang mengalir pada saat kumparan sekunder tidak dibebani, disebut arus-penguat atau arus pemagnet. Arus primer  $I_0$  ini menimbulkan fluks  $\Phi$  yang sefasa dengan  $I_0$ , lihat gambar 2.10.(b) dan fluks ini juga berbentuk sinusoidal dan dinyatakan dalam bentuk:

$$\Phi = \Phi_{\text{maks.}} \sin \omega t \dots\dots\dots 2.1$$

Fluks yang sinusoidal ini akan menimbulkan tegangan induksi  $E$ , (Hukum Faraday).

Bila fluks bersama ini dinyatakan dalam bentuk:  $\Phi = \Phi_{\text{maks.}} \sin \omega t$ , maka :

$$E_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots 2.2$$

$$E_1 = -N_1 \frac{d(\Phi_{\text{maks.}} \sin \omega t)}{dt} = -N_1 \omega \Phi_{\text{maks.}} \cos \omega t \text{ (tertinggal } 90^\circ \text{ dari } \Phi)$$

$$\text{Harga efektifnya } E_1 = \frac{N_1 \times 2\pi \times f \times \Phi_{\text{maks.}}}{\sqrt{2}} = 4,44 N_1 f \Phi_{\text{maks.}}$$

atau

$$E_1 = 4,44 f N_1 \Phi_{\text{maks.}} = 4,44 f N_1 B_m A \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana :

$N_1$  = jumlah belitan primer

$\Phi_{\text{maks.}}$  = fluks maksimum pada inti (weber)

$$= B_m \times A$$



$B_m$  = rapat fluks (Weber/m<sup>2</sup>)  
 $A$  = luas penampang inti-besi (m<sup>2</sup>)  
 $f$  = frekuensi sumber

Pada rangkaian sekunder, fluks  $\Phi$  bersama tadi menimbulkan :

$$E_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots 2.4$$

$$E_2 = -N_2 \omega \Phi_{maks.} \cos \omega t \dots\dots\dots 2.5$$

$$\text{Harga efektifnya } E_2 = \frac{N_2 \times 2\pi \times f \times \Phi_{maks.}}{\sqrt{2}} = 4,44 N_2 f \Phi_{maks.}$$

atau

$$E_2 = 4,44 f N_2 \Phi_{maks.} = 4,44 f N_2 B_m A \dots\dots\dots 2.6$$

Bila pers 2.3. dibagi dengan pers 2.6. maka didapat :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots 2.7$$

Pada *transformator* ideal tanpa beban pers 2.3 dan pers 2.6. ;

$V_1 = E_1$  dan  $E_2 = V_2$  (rugi-rugi diabaikan) maka didapat:

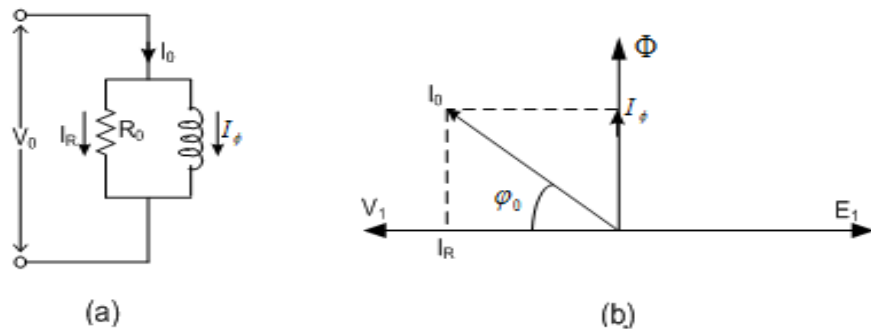
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana :

$a$  = perbandingan transformasi

### 2.2.13 *Transformator* Tanpa Beban dengan Memperhitungkan Rugi-Rugi

Bila kumparan primer dihubungkan ke sumber, dan kumparan sekunder tidak dibebani, maka akan mengalir arus primer  $I_0$  , yang disebut arus penguat. Dalam kenyataannya arus primer  $I_0$  bukanlah merupakan arus induktif murni, jadi arus penguat ini terdiri dari dua komponen, yaitu  $I_R$  (rugi besi) dan  $I_\Phi$  yang membangkitkan fluks  $\Phi$  lihat gambar 2.11 :



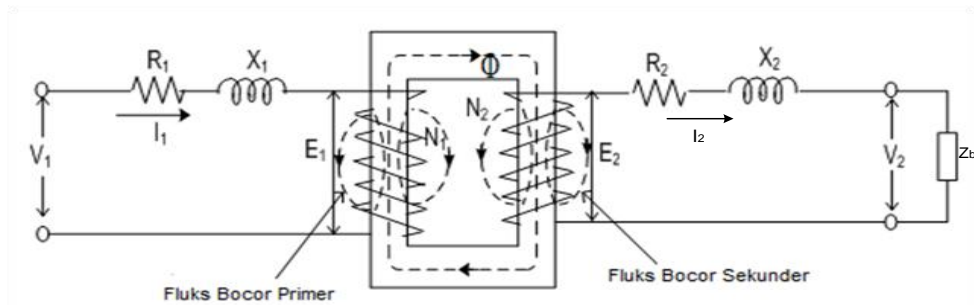
Gambar 2.11. *Transformer* Tanpa Beban (Rugi-rugi diperhitungkan)

(a) Rangkaian ;

(b) Vektor Diagram

#### 2.2.14 *Transformer* Berbeban Dengan Memperhitungkan Rugi-Rugi

*Transformer* yang sekundernya dibebani dan diperhitungkan rugi tembaga dan fluks bocor pada belitannya, baik untuk sisi primer maupun sisi sekunder, lihat gambar 2.12.



Gambar 2.12 *Transformer* berbeban (rugi-rugi diperhitungkan)

Rugi-rugi yang diperhitungkan itu adalah:

a. Sisi Primer

Tahanan dari kumparan primer =  $R_1$

Fluks bocor pada kumparan primer menghasilkan reaktansi =  $X_1$

Impedansi dari kumparan primer  $Z_1 = R_1 + jX_1$

b. Sisi Sekunder

Tahanan dari kumparan sekunder =  $R_2$

Fluks bocor pada kumparan sekunder menghasilkan reaktansi =  $X_2$

Impedansi dari kumparan sekunder  $Z_2 = R_2 + jX_2$

Semua besaran tersebut tercantum pada gambar 2.12

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban  $Z_b$ ,  $I_2$  mengalir pada kumparan sekunder  $I_2 = \frac{V_2}{Z_b}$  dengan  $\cos \varphi =$  faktor daya beban.

Arus beban  $I_2$  ini akan menimbulkan gaya-gerak magnet (ggm)  $N_2 I_2$  dan fluks  $\Phi_2$  yang cenderung menentang fluks bersama  $\Phi$  yang telah ada akibat arus pemagnet  $I_0$ .

Akibatnya fluks bersama ini akan berkurang. Agar fluks bersama  $\Phi$  tidak berubah nilainya, maka pada sisi primer perlu ditambah arus sebesar  $I_2$  sehingga:

$$N_1 I_2' = N_2 I_2 \dots\dots\dots 2.9$$

Ini dapat terjadi bila  $V$ , dianggap konstan.

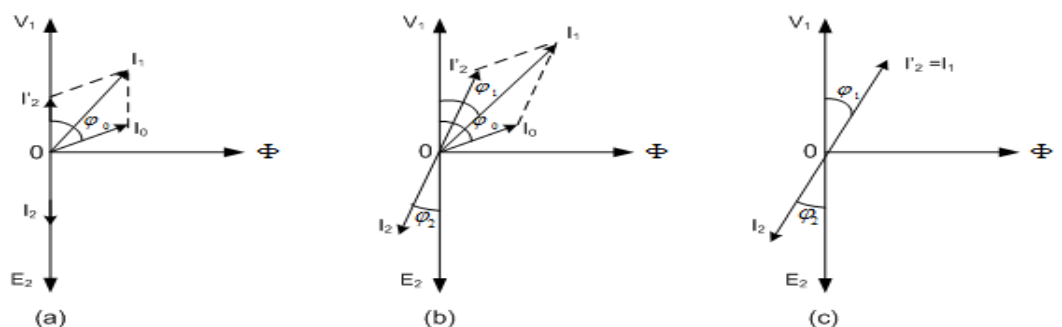
$N_1 I_2'$ , menimbulkan fluks  $\Phi_1$

$N_2 I_2$ , menimbulkan fluks  $\Phi_2$

Arus  $I_2'$  berlawanan arah dengan  $I_2$  dan  $\Phi_1 = \Phi_2$  yang nilainya sama dan berlawanan arah. Jadi bila *transformator* dibebani arus primer mempunyai dua komponen. Arus total primer adalah penjumlahan vektoris dari  $I_0$  dan  $I_2'$ .

Jadi:

$$I_1 = I_0 + I_2' \dots\dots\dots 2.10$$



Gambar 2.13 Diagram Vektor *Transformator*

- (a) Faktor daya sama dengan satu
- (b) Faktor daya tertinggal (lagging)
- (c) Arus Penguat diabaikan

Pada gambar 2.13 terlihat diagram vektor *transformator* berbeban dimana  $a=1$ , sehingga  $I'_2 = I_2$  dimana  $I'_2$  berlawanan arah dengan  $I_2$ . Pada gambar 2.13 (a), beban sekunder berupa tahanan murni (faktor-daya=1), arus sekunder sefasa dengan  $E_2$  (dapat juga dikatakan sefasa dengan  $V_2$ ). Pada gambar 2.13 (b), beban sekunder adalah induktif, dimana  $I_2$  mengikut terhadap  $E_2$  dengan sudut  $\varphi_2$ .

Arus penguat (pemagnet)  $I_0$  amat kecil dibandingkan dengan  $I'_2$ , sehingga  $I_0$  dapat diabaikan, sehingga diagram vektornya seperti yang terlihat pada gambar 2.13 (c).

Bila  $I_0$  diabaikan, maka pers 2.10. menjadi:

$$I_1 = I'_2, \text{ sehingga pers 2.11 } N_1 I'_2 = N_2 I_2,$$

menjadi:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

Atau

$$\frac{I'_2}{I_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{a} \dots\dots\dots 2.11$$

### 2.2.15 Sistem Pengaturan Tegangan

Tegangan sistem untuk setiap pelanggan besarnya tidak sama, hal ini disebabkan karena adanya impedansi dari jaringan pemasoknya, maka jatuh tegangan selalu ada pada setiap bagian dari sistem tenaga mulai dari sumber sampai ke pelanggan. Sesuai dengan definisi, jatuh tegangan adalah perbedaan antara tegangan pengirim dengan tegangan penerima.

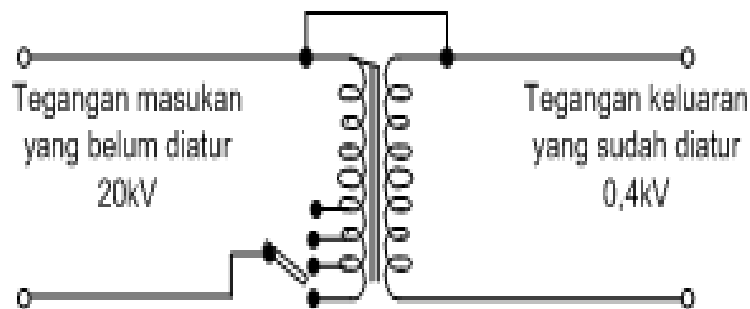
Supaya tegangannya tetap konstan sistem pengaturan tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan pengaturan tegangan pada saluran dan pada *transformator*.

### 2.2.16 Pengaturan Tegangan Pada Saluran

Pengaturan tegangan pada saluran tegangan pada saluran banyak digunakan untuk mengatur tegangan setiap penyulang secara terpisah, untuk

menjaga agar tegangan yang sampai pada pelanggan masih berada dalam batas-batas yang diijinkan. Ada dua tipe cara pengaturan tegangan ini: (1) tipe induksi dan (2) tipe sadapan.

Pengaturan tipe sadapan ini lebih banyak digunakan. Pengaturan tipe sadapan dapat berupa: (1) tipe gardu induk fasa tunggal atau fasa tiga dan dipakai di gardu induk untuk mengatur tegangan pada rel atau tegangan masing-masing dari penyulang Tegangan Menengahnya (TM) dan (2) tipe distribusi yang berupa fasa tunggal dan di pasang di tiang Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Pengaturan tegangan tipe sadapan pada dasarnya merupakan sebuah *auto-transformator* dengan sadapan pada belitan serinya.



Gambar 2.14. Konstruksi sebuah *Auto transformator* dengan Sadapan pada belitan Serinya.

### 2.2.17 Pengaturan Tegangan Pada *Transformer*

Hampir semua *transformator* menyediakan sadapan-sadapan pada kumparan untuk menyetel perbandingan transformasi dengan mengubah sadapan-sadapan pada saat *transformator* tidak bertenaga.

Pengaturan tegangan suatu *transformator* ialah perubahan tegangan sekunder antara beban nol dengan beban penuh pada suatu faktor kerja tertentu, dengan tegangan primer konstan.

$$\text{Pengaturan} = \frac{V_{2.\text{tanpa.beban}} - V_{2.\text{beban.penuh}}}{V_{2.\text{beban.penuh}}}$$

### 2.2.18 Penggunaan Pengubah Sadapan Pada *Transformer*

Suatu *transformator* distribusi yang dipergunakan pada sistem tenaga listrik dilengkapi dengan alat yang disebut dengan pengubah sadapan (*Tap Changer*). Pengubah sadapan adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik dari tegangan jaringan primer yang berubah-ubah.

Pengubah sadapan dapat beroperasi atau bekerja untuk memindahkan sadapan *transformator* baik dalam keadaan tanpa beban (*Off Load Tap Changer*) dan dalam keadaan *transformator* berbeban (*On Load Tap Changer*). Hampir semua *transformator* menyediakan sadapan-sadapan pada kumparan untuk menyetel perbandingan transformasi dengan mengubah sadapan pada saat *transformator* tidak bertenaga.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = a \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana :

$V_p$  = tegangan di sisi primer

$V_s$  = tegangan di sisi sekunder

$N_p$  = jumlah lilitan primer

$N_s$  = jumlah lilitan sekunder

$a$  = rasio lilitan

### 2.2.19 Pengubah Sadapan Tanpa Beban Pada *Transformer* Distribusi

Kegunaan pengubah sadapan ini adalah untuk mengatur atau menyesuaikan besaran tegangan di sisi sekunder supaya sesuai dengan yang diinginkan, karena pada umumnya letak dari beban jauh dari sumber, oleh karena itu sangat penting untuk mengatasi terjadinya rugi-rugi tegangan.

Spesifikasi umum penyadapan tanpa beban pada *transformator* distribusi ada 3 macam antara lain :

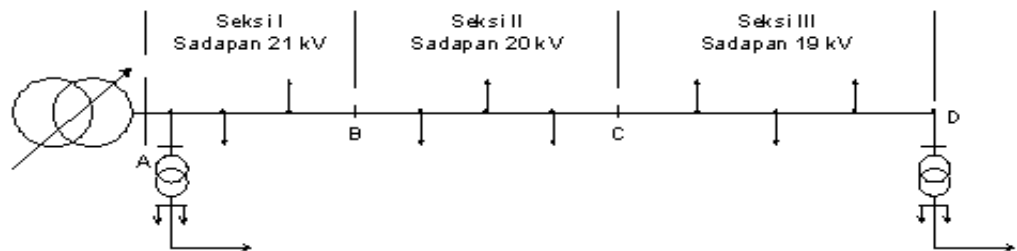
1. Sadapan tanpa beban tiga langkah : 21kV; 20kV; 19kV
2. Sadapan tanpa beban lima langkah : 22kV; 21kV; 20kV; 19kV; 18kV
3. Sadapan tanpa beban lima langkah : 21kV; 20,5kV; 20kV; 19,5kV; 19kV

### 2.2.20 Pengetrapan Tiga Sadapan Tanpa Beban Disisi Tegangan

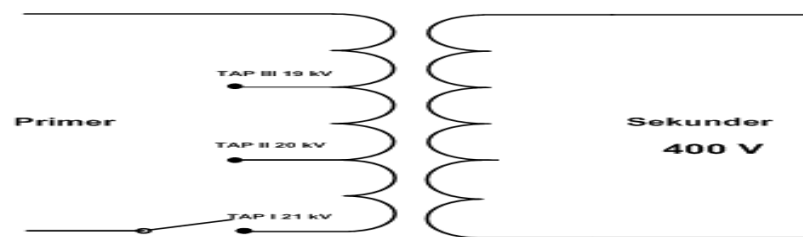
#### Menengah *Transformator* Distribusi

Pada daerah yang kepadatan bebannya masih rendah dan SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) atau SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah) cukup panjang, maka pengetrapan sadapan dan *transformator* distribusi yang mempunyai tiga sadapan dilakukan dengan membagi panjang saluran Tegangan Menengah tersebut dalam tiga seksi.

Pada seksi I, *transformator* distribusi dioperasikan pada sadapan 21 kV, pada seksi II dioperasikan pada sadapan 20 kV dan pada seksi III, *transformator* distribusi dioperasikan pada sadapan 19 kV.



Gambar 2.15. Posisi Sadapan *Transformator* Distribusi dengan 3 Sadapan



Gambar 2.16 Posisi *Tap* 1 tegangan primer maksimum dan posisi *tap* 3 tegangan primer minimum

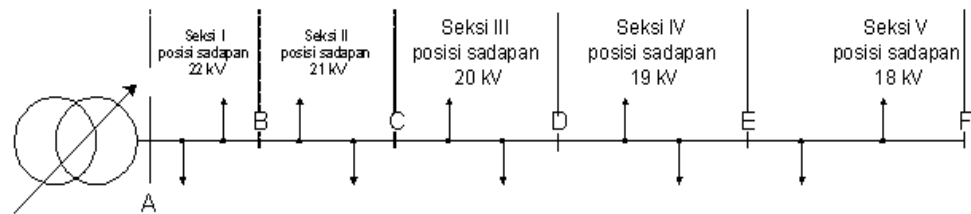
### 2.2.21 Pengetrapan Lima Sadapan Tanpa Beban Disisi Tegangan

#### Menengah *Transformator* Distribusi

Pada daerah yang kepadatan bebannya masih rendah dan SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) atau SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah) cukup panjang, maka pengetrapan sadapan dan *transformator*

distribusi yang mempunyai lima sadapan dilakukan dengan membagi panjang saluran Tegangan Menengah (TM) tersebut dalam lima seksi.

Pada seksi I, *transformator* distribusi dioperasikan pada sadapan 22 kV; pada seksi II dioperasikan pada sadapan 21 kV; pada seksi III, dioperasikan pada sadapan 20 kV; pada seksi IV, dioperasikan pada sadapan 19 kV; dan pada seksi V, *transformator* distribusi dioperasikan pada sadapan 18 kV.



Gambar 2.17 Posisi Sadapan *Transformator* Distribusi dengan 5 Sadapan

#### 2.2.22 Spesifikasi Umum Daya Pengenal *Transformator* Distribusi

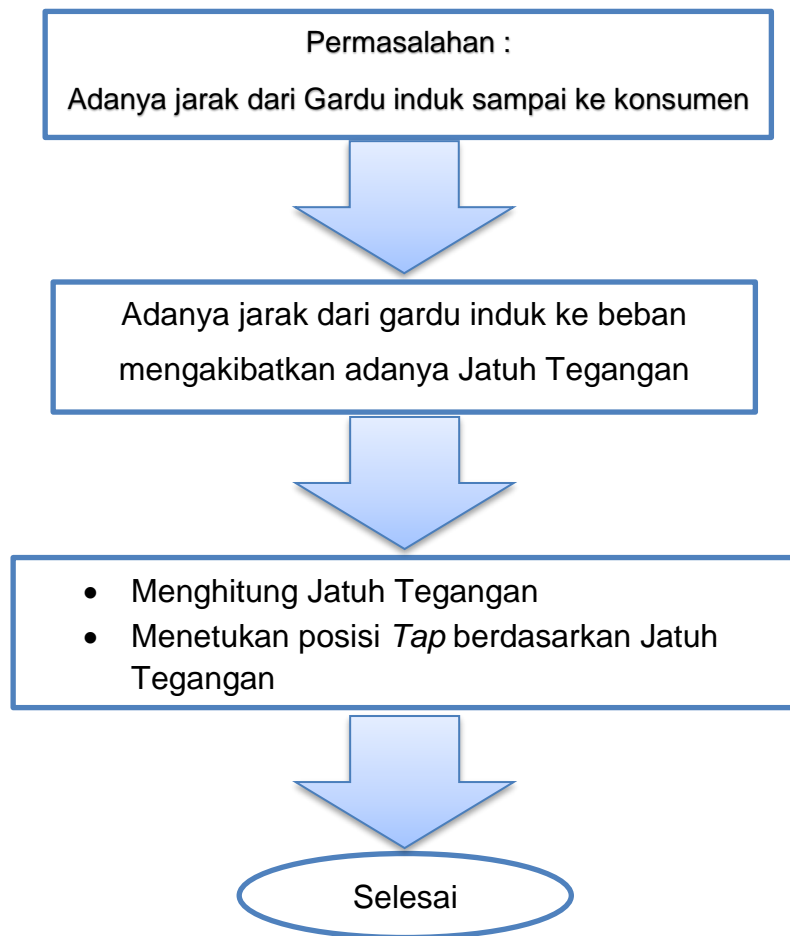
Nilai-nilai daya pengenal *transformator* distribusi sesuai SPLN 50 tahun 1997 sebagai berikut :

Tabel 2.3. Nilai Daya Pengenal *Transformator* Distribusi

| kVA  |
|------|
| 25   |
| 50   |
| 100  |
| 160  |
| 200  |
| 250  |
| 315  |
| 400  |
| 500  |
| 630  |
| 800  |
| 1000 |
| 1250 |
| 1600 |
| 2000 |
| 2500 |



### 2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.18 Diagram alir kerangka pemikiran

Adanya jarak dari gardu induk ke beban mengakibatkan adanya jatuh tegangan. Bilamana jatuh tegangan sesuai dengan SPLN NO 1 : 1995, maka posisi *tap* berdasarkan jatuh tegangan tidak perlu dilakukan perbaikan atau dianggap baik.