



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Distribusi Tenaga Listrik<sup>10</sup>

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh Gardu Induk (GI) dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 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 ( $I^2.R$ ). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari 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 pelanggan konsumen. Dalam hal ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Sistem distribusi meliputi semua jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi primer atau jaringan tegangan menengah (JTM) dan semua jaringan distribusi sekunder atau jaringan tegangan rendah (JTR) hingga ke meter-meter pelanggan. Sistem distribusi merupakan sub-sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan

---

<sup>10</sup> Tondok, Yaved Pasereng, dkk. *Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA*. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer. Manado: Universitas Sam Ratulangi, Vol.8, No.2 Mei-Agustus 2019



dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Berdasarkan letak jaringan terhadap posisi gardu distribusi, jaringan distribusi dibedakan menjadi 2 yaitu :

1. Jaringan tegangan menengah (JTM), merupakan jaringan yang digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk ke gardu-gardu distribusi maupun ke konsumen tegangan menengah. Penyaluran tenaga listrik ini bisa menggunakan saluran udara tegangan menengah (SUTM) atau kabel udara dan juga bisa menggunakan saluran kabel tegangan menengah (SKTM) atau kabel tanah sesuai dengan kondisi dan situasi lingkungan serta tingkat keandalan yang diinginkan
2. Jaringan tegangan rendah (JTR), merupakan yang digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke konsumen tegangan rendah. Penyaluran tenaga listrik ini biasanya menggunakan saluran udara tegangan rendah (SUTR) atau kabel udara.

## **2.2 *Distribution Supply Substantion***

*Distribution Supply Substantion* (DSS) atau gardu distribusi di LRT Sumatera Selatan adalah sebuah peralatan catu daya dan merupakan bagian dari sistem distribusi daya yang berada di *signal hut*. DSS berfungsi untuk mengubah tegangan masukan 20kVAC menjadi tegangan 380/220VAC yang digunakan untuk mensuplai tegangan kontrol pada sistem kereta serta peralatan persinyalan dan telekomunikasi.

Terdapat 14 *Distribution Supply Substantion* (DSS) di LRT Sumatera Selatan yaitu DSS BDR (Bandara), DSS ASH (Asrama Haji), DSS PUK (Puntik Kayu), DSS RSUD, DSS GAD (Garuda Dempo), DSS DMG ( Demang), DSS BUS (Bumi Sriwijaya), DSS DIS (Dishub), DSS CIN (Cinde), DSS AMP (Ampera), DSS POL (Polresta), DSS JAB (Jakabaring), DSS DJKA dan DSS OCC. DSS tersebut disuplay dari 4 gardu antara lain gardu :



1. KM2,7 dengan daerah *Supply* Bandara, KM2,7 dan Asrama Haji
2. DMG dengan daerah *Supply* Pundi Kayu, RSUD, Garuda Dempo dan Demang
3. AMP dengan daerah *Supply* Bumi Sriwijaya, Dishub, Cinde dan Ampera
4. DEPO dengan daerah *Supply* Polresta, Jakabaring, DJKA dan OCC

### 2.3 Transformator<sup>4</sup>

Transformator (trafo) merupakan suatu alat magnetoelektrik yang sederhana, handal, dan efisien untuk mengubah tegangan arus bolak-balik dari suatu tingkat ke tingkat yang lain. Pada umumnya terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu. Trafo memegang peranan yang sangat penting untuk pendistribusian tenaga listrik. Trafo menaikkan listrik yang berasal dari pembangkit listrik oleh PLN hingga ratusan kilo Volt untuk di distribusikan dan kemudian Trafo lainnya menurunkan tegangan listrik tersebut ke tegangan yang diperlukan untuk setiap rumah tangga maupun perkantoran yang pada umumnya menggunakan Tegangan AC 220Volt.

### 2.4 Prinsip Kerja Transformator<sup>2</sup>

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi dan terjadi pula induksi di

<sup>4</sup> Kadir, Abdul.2019.*Transformator*.Jakarta: Universitas Indonesia

<sup>2</sup> Firdaus, Mohd Yogi,dkk.2016. *Analisa Konfigurasi Hubungan Primer dan Sekunder Transformator 3 Fasa 380/24 V Terhadap Beban Non Linier*. Jom FTEKNIK. Riau : Universitas Riau, Volume 3 No. 1 Februari 2016



kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (mutual induction) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder di bebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan .

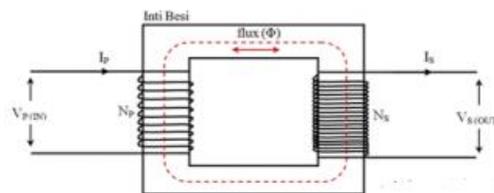
$$e = (-) N \frac{d\phi}{dt} \text{ (volt) } \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

$e$  = Gaya Gerak Listrik (ggl) [V]

$N$  = Jumlah Lilitan

$\frac{d\phi}{dt}$  = Perubahan Fluks Magnet [Weber/s]<sup>2</sup>



**Gambar 2.1 Prinsip kerja Transformator**

Pada transformator energi listrik pada kumparan primer dan sekunder sama karena tidak ada energi yang diubah menjadi bentuk energi lain.

Dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$S_p = S_s \dots\dots\dots (2.2)$$

$$V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{E_p}{E_s} \dots\dots\dots (2.6)$$



Dimana:

$S_p$  = Daya Primer (VA)

$N_s$  = Jumlah Lilitan Sekunder (lilit)

$S_s$  = Daya Sekunder (VA)

$V_p$  = Tegangan Primer (V)

$I_p$  = Kuat Arus Primer (A)

$V_s$  = Tegangan Sekunder (V)

$I_s$  = Kuat Arus Sekunder (A)

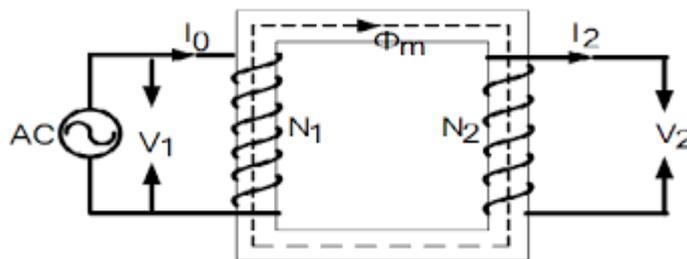
$E_s$  = GGL induksi sekunder (V)

$N_p$  = Jumlah Lilitan Primer (lilit)

$E_p$  = GGL induksi Primer (V)

### 2.4.1 Transformator Keadaan Tanpa Beban

Bila tegangan bolak-balik,  $V_1$  dihubungkan ke kumparan primer, primer akan bekerja sebagai sebuah kumparan murni. Suatu gaya gerak listrik (ggl) balik,  $E_1$  dihasilkan, yang mana tegangan ini berlawanan dan sama dengan tegangan sumber,  $V_1$ . Arus kecil mengalir di dalam primer,  $I_1$  dan cukup untuk mempertahankan fluksi di dalam inti, penurunan tegangan di dalam kumparan primer yang disebabkan tersebut sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Fluksi bolak-balik juga mencakup kumparan skunder, dengan demikian akan menyebabkan  $E_2$  terinduksi pada kumparan skunder.



Gambar 2.2 Keadaan Transformator tanpa Beban

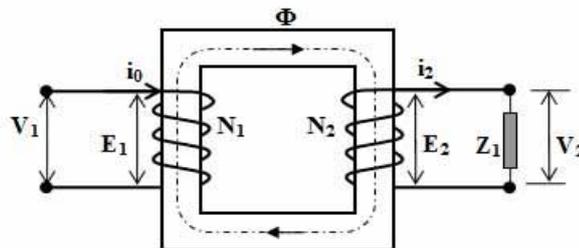
### 2.4.2 Transformator Berbeban<sup>9</sup>

Apabila kumparan skunder dihubungkan dengan beban  $Z_L$ ,  $I_2$  mengalir pada kumparan sekunder, dimana  $I_2 = \frac{V_2}{Z_L}$  dengan  $\theta_2$  = faktor kerja beban.

<sup>9</sup> Suhadi dkk, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*, Jakarta, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008, Hal 11



Efek  $I_2$  akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm)  $N_2 I_2$  yang cenderung melawan fluksi ( $\Phi$ ) bersama yang dibangkitkan oleh primer yang telah ada akibat arus pemagnetan  $I_m$ . Agar fluksi bersama tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus  $I_2$  yang dibangkitkan oleh arus beban  $I_2$ .



**Gambar 2.3 Transformator Berbeban**

## 2.5 Jenis-Jenis Transformator

Berikut ini adalah beberapa jenis Trafo berdasarkan masing-masing pengklasifikasiannya.

### 2.5.1 Transformator berdasarkan level tegangan

Pengklasifikasian ini pada dasarnya tergantung pada rasio jumlah gulungan di kumparan primer dengan jumlah kumparan sekundernya. Jenis Trafo berdasarkan level tegangan ini diantaranya adalah:

#### 1. Transformator step-up

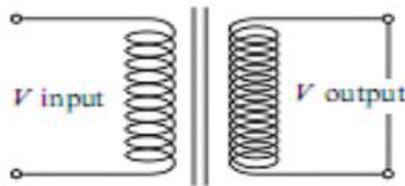
Transformator step-up adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primern, sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan. Transformator ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik sebagai penaik tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh.

Ciri-ciri transformator step-up :

- a. Jumlah lilitan pada kumparan primer selalu lebih kecil dibandingkan dengan jumlah lilitan pada kumparan sekunder ( $N_p < N_s$ ).
- b. Tegangan primer juga selalu lebih kecil daripada tegangan sekunder ( $V_p < V_s$ ).



- c. Untuk kuat arus primer selalu lebih besar dibanding dengan kuat arus sekunder ( $I_p > I_s$ ).



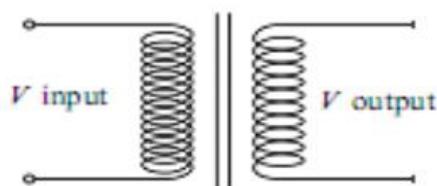
**Gambar 2.4 Transformator Step-Up**

## 2. Transformator Step Down

Transformator step-down memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan. Transformator jenis ini sangat mudah ditemui, terutama dalam adaptor AC-DC.

Ciri – ciri transformator step-down :

- Jumlah lilitan pada kumparan primer selalu lebih besar dibanding dengan jumlah lilitan pada kumparan sekunder ( $N_p > N_s$ ).
- Tegangan pada primer juga lebih besar dibanding dengan tegangan sekunder ( $V_p > V_s$ ).
- Untuk kuat arus primer selalu lebih kecil dari kuat arus sekunder ( $I_p < I_s$ )



**Gambar 2.5 Transformator Step Down**

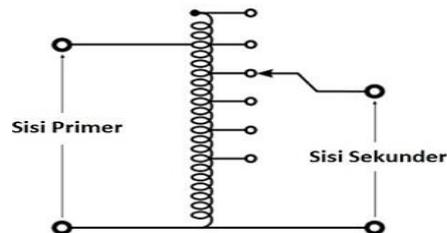
## 3. Auto Transformator

Auto transformator adalah transformator listrik dengan hanya menggunakan satu belitan atau satu kumparan. Satu kumparan ini menjadi kumparan primer sekaligus kumparan sekunder yang disatukan dalam satu rangkaian yang terhubung secara fisik dan magnetis. Selain itu trafo jenis ini tidak memiliki ujung lilitan yang tetap, auto transformator menyediakan lebih banyak pilihan karena



ujung lilitan dapat diambil (disadap) dari tengah-tengah lilitan sebagai jalan keluarnya tegangan sekunder.

Perbedaan akan posisi sadapan ini menentukan rasio pada kumparan primer dan sekunder. Sehingga transformator jenis ini memberikan berbagai macam tegangan yang dapat dipilih yaitu step up maupun step down.



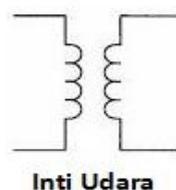
**Gambar 2.6 Auto Transformator**

### 2.5.2 Transformator berdasarkan bahan inti yang digunakan

Berdasarkan media atau bahan inti yang digunakan untuk lilitan primer dan lilitan sekunder, dapat dibedakan sebagai berikut:

#### 1. Transformator berinti udara (Air Core Transformer)

Pada transformator yang berinti udara, gulungan primer dan gulungan sekunder dililitkan pada inti berbahan non-magnetik yang biasanya berbentuk tabung yang berongga. Bahan non-magnetik yang dimaksud tersebut dapat berupa bahan kertas ataupun karton. Ini artinya, hubungan fluks antara gulungan primer dan gulungan sekunder adalah melalui udara. Tingkat kopling atau induktansi mutual diantara lilitan-lilitan tersebut lebih kecil dibandingkan dengan transformator yang berinti besi. Kerugian histerisis dan kerugian arus eddy yang biasanya terjadi pada trafo inti besi dapat dikurangi atau bahkan dapat dihilangkan pada transformator berinti udara ini. Transformator inti udara ini biasanya digunakan pada rangkaian frekuensi tinggi.

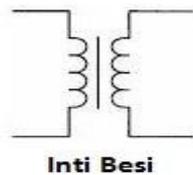


**Gambar 2.7 Air Core Transformer**



## 2. Transformator berinti besi (Iron Core Transformer)

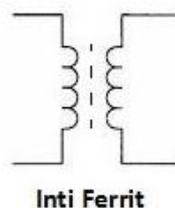
Pada transformator berinti besi, gulungan primer dan gulungan sekunder dililitkan pada inti lempengan - lempengan besi tipis yang dilaminasi. Plat - plat besi yang digunakan sebagai inti mempunyai bentuk serta ukuran yang bervariasi, diantaranya seperti E, I, U, L dan lain lain. Transformator inti besi memiliki efisiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan transformator yang berinti udara. Hal ini dikarenakan bahan besi mengandung sifat magnetik dan juga konduktif sehingga mempermudah jalannya fluks magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik kumparan serta untuk mengurangi suhu panas yang ditimbulkan. Transformator yang berinti besi biasanya digunakan pada aplikasi frekuensi rendah.



**Gambar 2.8 Iron Core Transformer**

## 3. Transformator inti ferrite

Transformator yang menggunakan bahan ferrite sebagai intinya memiliki daya tembus magnet yang terbilang tinggi. Transformator jenis ini lebih sering digunakan pada peralatan elektronik dibanding dengan elektrik. Transformator ferrite juga mempunyai bentuk dan ukuran yang bervariasi. Sementara untuk intinya secara umum berbentuk seperti huruf E. Untuk penggunaannya, lebih baik digunakan pada transformator yang menangani listrik berfrekuensi tinggi seperti pada Switch Mode Power Supply (SMPS), rectifier transformator dan sebagainya.



**Gambar 2.9 Transformator inti ferrite**



### 2.5.3 Transformator berdasarkan penggunaannya<sup>8</sup>

Transformator dapat digunakan untuk melakukan berbagai fungsi sesuai dengan kebutuhannya. Transformator jenis ini dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Transformator Daya (Power Transformer)

Transformator daya adalah jenis transformator yang berukuran besar dan digunakan untuk aplikasi transfer daya. Transformator daya ini sering digunakan di stasiun pembangkit listrik dan gardu transmisi. Transformator daya biasanya memiliki tingkat insulasi yang tinggi.



**Gambar 2.10 Transformator Daya**

2. Transformator Distribusi (Distribution Transformer)

Transformator distribusi digunakan untuk mendistribusikan energi listrik dari pembangkit listrik ke daerah perumahan ataupun lokasi industri. Pada dasarnya, transformator distribusi ini mendistribusikan energi listrik pada tegangan rendah untuk keperluan rumah tangga ataupun industri yang berada dalam kisaran tegangan 220V hingga 440V.

---

<sup>8</sup> Siburian, Jhonson. 2019. *Karakteristik Transformator*. Jurnal Teknologi Energi Uda. Medan: Universitas Darma Agung, Volume VIII, Nomor 1, Maret 2019 : 21-28



**Gambar 2.11 Transformator Distribusi**

3. Trafo Pengukuran (Measurement Transformer)

Transformator pengukuran digunakan untuk mengukur kuantitas tegangan, arus listrik dan daya yang biasanya diklasifikasikan menjadi transformator tegangan dan transformator arus listrik dan lain-lainnya. Trafo pengukuran juga sering disebut dengan trafo instrumen. Prinsip kerja trafo ini yaitu listrik yang melalui kumparan primer diinsuksikan ke kumparan sekunder untuk diubah ke tegangan dan arus yang lebih kecil agar bisa dihitung.



**Gambar 2.12 Trafo Pengukuran**

4. Trafo Pelindung (Protector Transformer)

Transformator pelindung ini digunakan untuk melindungi komponen listrik. Perbedaan utama antara transformator pelindung dan transformator pengukuran adalah pada akurasinya. Dimana transformator pelindung harus lebih akurat jika dibandingkan dengan transformator pengukuran.



**Gambar 2.13 Trafo Pelindung**

#### **2.5.4 Transformator berdasarkan tempat penggunaannya<sup>7</sup>**

Penggolongan transformator berdasarkan tempat penggunaannya ini biasanya terdiri dari transformator indoor (dalam ruangan) dan transformator outdoor (luar ruangan). Transformator indoor diletakan di dalam ruangan yang ditutupi dengan atap seperti transformator yang digunakan pada industri - industri sedangkan transformator outdoor ditempatkan diluar ruangan seperti transformator distribusi yang ditempatkan di gardu induk dan lain-lainnya.

### **2.6 Fungsi Transformator**

Dalam penggunaanya transformator memiliki beberapa fungsi sebagai berikut.

#### **2.6.1 Distribusi dan Transmisi Listrik**

Seperti yang kita ketahui bahwa jarak antara pembangkit listrik dengan beban listrik yang digunakan oleh pelanggan relatif terlalu jauh. Sehingga akan terjadinya drop tegangan. Untuk itu kita harus menaikkan tegangan sebelum distribusi dan transmisi listrik jarak jauh agar drop tegangan tidak terlalu besar serta lebih murah karena kabel yang digunakan lebih kecil (semakin besar tegangan besar maka arus semakin kecil sesuai dengan Hukum kekekalan energi). Seperti yang kita ketahui bahwa jarak antara pembangkit listrik dengan beban listrik yang digunakan oleh pelanggan relatif terlalu jauh. Sehingga akan terjadinya drop tegangan.

---

<sup>7</sup> Rijono, Drs. Yon.1997. Dasar Teknik Tenaga Listrik (Edisi Revisi).ANDI, Yogyakarta



### **2.6.2 Rangkaian Kontrol**

Pada peralatan elektronik seperti komputer, charger dan berbagai macam peralatan lainnya, transformator sering kali digunakan untuk menurunkan tegangan agar dapat digunakan pada tegangan kontrol (5 Volt, 12 Volt, dsb). Begitu juga rangkaian kontrol motor pada pabrik, Trafo dipakai untuk mengenergize dan meng dienergize kontaktor yang dipakai untuk menghidupkan dan mematikan motor induksi.

### **2.6.3 Rangkaian Pengatur Frekuensi**

Dalam dunia radio frekuensi, transformator juga sering kali digunakan untuk mengatur besaran frekuensi yang dihasilkan. Hanya saja bentuk dan dimensinya jauh lebih kecil di bandingkan trafo yang sering kali digunakan pada rangkaian kontrol apalagi transformator atau trafo transmisi listrik.

## **2.7 Komponen Transformator<sup>9</sup>**

Transformator mempunyai komponen utama dan komponen bantu, Komponen utama meliputi: inti besi, kumparan transformator, minyak transformator, bushing dan tagki konservator. Sedangkan peralatan bantu meliputi: pendingin trafo, tap changer, alat pernapasan dan indikator.

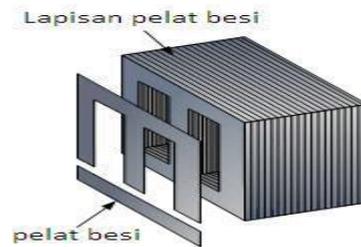
### **2.7.1 Komponen Utama Transformator**

#### **1. Inti Besi**

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempenganlempengan atau plat-plat tipis dari campuran besi khusus yang berisi sedikit silikon. Laminasi-laminasi saling terisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh “Eddy Current”, dan dijepit secara kuat agar tidak terjadi getaran-getaran.

---

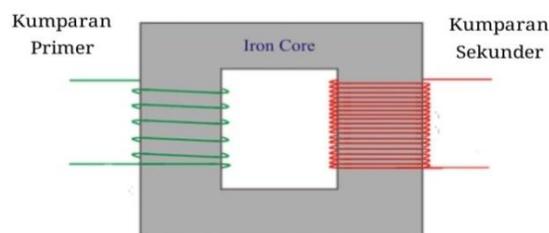
<sup>9</sup> Suhadi dkk, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*, Jakarta, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008, Hal 11



**Gambar 2.14 Inti Besi Transformator**

## 2. Kumbaran Transformator

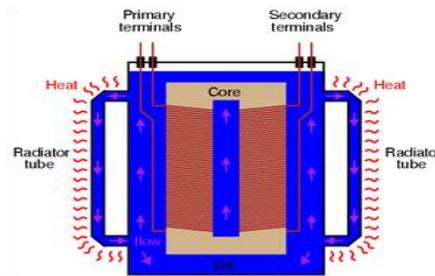
Beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumbaran. Kumbaran tersebut diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumbaran lain dengan isolasi padat, seperti karton, pertinax dan lain-lain. Umumnya pada trafo terdapat kumbaran primer dan skunder. Bila kumbaran primer dihubungkan dengan tegangan atau arus bolak-balik maka pada kumbaran tersebut timbul fluksi yang menginduksikan tegangan, bila pada rangkaian skunder diberi beban maka akan mengalir arus pada kumbaran sebagai alat transformasi tegangan dan arus.



**Gambar 2.15 Kumbaran Transformator**

## 3. Minyak Transformator

Sebagian besar trafo daya, kumbarankumbaran dan intinya direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo daya berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai media pemindah panas dan sebagai isolasi (daya tegangan tembus tinggi) sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.



**Gambar 2.16 Minyak Transformator**

#### 4. Bushing

Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah bushing, yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekali berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dengan tangki trafo. Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah bushing, yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekali berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dengan tangki trafo.



**Gambar 2.17 Bushing**

#### 5. Tangki dan Konservator

Tangki Konservator berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap/udara akibat pemanasan trafo karena arus beban. Diantara tangki dan trafo dipasangkan relai bucholz yang akan meyerap gas produksi akibat kerusakan minyak. Untuk menjaga agar minyak tidak terkontaminasi dengan air, ujung masuk saluran udara melalui saluran pelepasan/venting dilengkapi media penyerap uap air pada udara, sering disebut dengan silica gel dan dia tidak keluar mencemari udara disekitarnya



**Gambar 2.18 Tangki Konservator**

### **2.7.2 Komponen Bantu Transformator**

#### **1. Pendingin Transformator**

Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan. Minyak isolasi trafo selain merupakan media isolasi dia juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip-sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.



**Gambar 2.19 Pendingin Transformator**

**Tabel 2.1 Klasifikasi Pendinginan Transformator**

CARA PENDINGINAN	JENIS	SINGKATAN
Pendinginan Alam	Air Natural Colling (Pendinginan dengan udara biasa)	AN
	Oil-immersed Natural Colling (Pendinginan dengan direndam kedalam minyak)	ON
	Oil natural Air natural (pendinginan dengan udara dan minyak)	ONAN
	Oil-immersed forced-oil circulation (pendinginan dengan direndam kedalam minyak yang dialirkan)	OFN
Pendinginan Buatan (Udara)	Oil-immersed Forced-Oil Corculation with Air- Blast Colling (Pendinginan dengan direndam kedalam minyak yang dialirkan dengan semburan udara)	OFB
	Oil-immersed Air-blast Colling/Oil Naturan Air Force (Pendinginan dengan direndam kedalam minyak dan dihembuskan udara)	OB/ONOF
	Air-blast Colling (Pendinginan dengan udara yang dihembuskan)	AB
Pendinginan buatan (Air)	Oil-immersed Water Colling (Pendingin dengan direndam minyak dan juga dibantu dengan air)	OFW
	Oil-immersed Forced-oil Circulation with Water Colling (Pendingin dengan direndam kedalam minyak yang dialirkan dan juga dibantu dengan pendinginan air)	



## 2. Tap Changer

Tap changer berfungsi untuk menjaga tegangan keluaran yang diinginkan dengan input tegangan yang berubah-ubah. Kualitas operasi tenaga listrik jika tegangan nominalnya sesuai dengan 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.

Ditinjau dari cara pengoprasianya, tap changer terdiri dari dua tipe yaitu on-load yang bekerja saat transformator sedang berbeban secara otomatis jika merasakan tegangan kurang/lebih dan off-load yang dapat berpindah tap hanya jika trafo tidak berbeban/bertegangan.

## 2. Alat Pernapasan

Karena adanya pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyak akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki, sebaliknya bila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki. Kedua proses di atas disebut pernapasan transformator. Akibat pernapasan transformator tersebut maka permukaan minyak transformator akan selalu bersinggungan dengan udara luar. Udara luar yang lembab akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator, maka untuk mencegah hal tersebut, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi tabung berisi kristal zat *hygroscopis*.

## 4. Indikator<sup>10</sup>

Untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator pada transformator, yang antara lain sebagai berikut:

---

<sup>10</sup> Tondok, Yaved Pasereng, dkk. *Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA*. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer. Manado: Universitas Sam Ratulangi, Vol.8, No.2 Mei-Agustus 2019



- a. indikator suhu minyak
- b. indikator permukaan minyak
- c. indikator sistem pendingin
- d. indikator kedudukan tap

## 2.8 Jenis-Jenis Daya<sup>1</sup>

### 2.8.1 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang memang benar – benar digunakan dan terukur pada beban. Daya aktif dibedakan berdasarkan penggunaannya, yaitu pada satu fasa atau tiga fasa. Secara matematis dapat ditulis:

$$\text{Untuk 1 fasa: } P = V \cdot I \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{Untuk 3 fasa: } P = V \cdot I \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{3} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

P = Daya aktif (Watt)

I = Arus (Amper)

cos  $\phi$  = Faktor Daya

V = Tegangan (Volt)

### 2.8.2 Daya Semu

Daya semu adalah nilai tenaga listrik yang melalui suatu penghantar. Daya semu merupakan hasil perkalian dari tegangan dan arus yang melalui penghantar. Daya semu dibedakan berdasarkan penggunaannya, yaitu pada satu fasa dan tiga fasa. Secara matematis dapat dituliskan:

$$\text{Untuk 1 fasa: } S = V \cdot I \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\text{Untuk 3 fasa: } S = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

<sup>1</sup> Azharuddin, Fachry,dkk.2017. *Pengaruh Penambahan Kapasitor Terhadap Tegangan, Arus, Faktor Daya, dan Daya Aktif pada Beban Listrik di Minimarket*. Jurnal Teknik Elektro.Semarang: Universitas Negeri Semarang, Vol. 9 No. 2



### 2.8.3 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang dihasilkan oleh peralatan – peralatan listrik. Sebagai contoh, pada motor listrik terdapat 2 daya reaktif panas dan mekanik. Daya reaktif panas karena kumparan pada motor dan daya reaktif mekanik karena perputaran. Daya reaktif adalah hasil perkalian dari tegangan dan arus dengan vektor daya. Secara matematis dapat dituliskan:

$$\text{Untuk 1 fasa: } Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\text{Untuk 3 fasa: } Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \cdot \sqrt{3} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

Q = Daya Reaktif (VAR)

I = Arus (A)

V = Tegangan (V)

Sin  $\phi$  = Besaran Vektor Daya

## 2.9 Rugi-rugi Transformator<sup>11</sup>

Rugi – rugi transformator terbagi menjadi dua antara lain sebagai berikut:

### 2.9.1 Rugi Variabel

Rugi yang disebabkan arus beban mengalir pada kawat tembaga  $P_{CU} = I^2 R$ . Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak tetap tergantung pada beban.

$$P_{CU} = I_1^2 R_1 \dots\dots\dots (2.12)$$

$$P_{CU} = I_2^2 R_2 \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan demikian rugi tembaga total:

$$\begin{aligned} P_{CU} &= P_{CU1} + P_{CU2} \\ &= I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 \dots\dots\dots (2.14) \end{aligned}$$

Jumlah total rugi-rugi pada transformator adalah:

$$P_{\text{rugi total}} = \text{Rugi-rugi } C_U + \text{Rugi inti} \dots\dots\dots (2.15)$$

Besarnya rugi-rugi tembaga pada setiap perubahan beban dapat ditentukan dengan persamaan:

$$P_{t2} = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \times P_{t1} \dots\dots\dots (2.16)$$

<sup>11</sup> Zuhail,.1995. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama,



Keterangan:

$P_{t2}$  = Rugi-rugi tembaga pada saat pembebanan

$P_{t1}$  = Rugi-rugi tembaga beban penuh.

$S_2$  = Beban yang dioperasikan

$S_1$  = Nilai pengena

### 2.9.2 Rugi Tetap<sup>10</sup>

Rugi tetap merupakan rugi-rugi transformator yang tidak dipengaruhi oleh keadaan beban, hal ini dipengaruhi oleh rugi histerisis (rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti besi) dan rugi arus Eddy (rugi yang disebabkan oleh arus pusar pada inti besi).

### 2.10 Efisiensi Transformator<sup>11</sup>

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara keluaran daya yang berguna dan masuk daya total. Karena masukan ke transformator sama dengan keluaran daya yang berguna ditambah kerugiannya, maka persamaan efisiensi dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut:

**Daya input** = daya output + kerugian ..... (2.17)

**Persen Efisiensi** =  $\frac{\text{Daya keluaran}}{\text{Daya masukan}} \times 100\%$   
 =  $\frac{\text{Daya keluaran}}{\text{Daya keluaran} + \text{Kerugian}} \times 100\%$  ..... (2.18)

Dari persamaan di atas, jelaslah bahwa efisiensi transformator dapat ditentukan untuk setiap beban dengan pengukuran langsung daya masukan dan daya keluarannya.

<sup>10</sup> Tondok, Yaved Pasereng, dkk. *Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA*. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer. Manado: Universitas Sam Ratulangi, Vol.8, No.2 Mei-Agustus 2019

<sup>11</sup> Zuhaili, 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama,



Untuk beban tertentu, efisiensi maksimum terjadi ketika rugi tembaga = rugi inti. Dalam menentukan besarnya beban yang dioperasikan pada saat efisiensi maksimum, berlaku:

$$W_{ef \text{ maks}} = \sqrt{\frac{\text{Rugi-rugi besi}}{\text{Rugi-rugi tembaga beban penuh}}} \times \text{Beban penuh} \dots\dots\dots (2.19)$$