



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Gardu Distribusi<sup>1</sup>

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V).

Konstruksi Gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya. Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

1. Jenis pemasangannya :
  - a. Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol
  - b. Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios
2. Jenis Konstruksinya :
  - a. Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton)
  - b. Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol
  - c. Gardu Kios
3. Jenis Penggunaannya :
  - a. Gardu Pelanggan Umum
  - b. Gardu Pelanggan Khusus

Khusus pengertian Gardu Hubung adalah gardu yang ditujukan untuk memudahkan manuver pembebanan dari satu penyulang ke penyulang lain yang dapat dilengkapi/tidak dilengkapi RTU (*Remote Terminal Unit*). Untuk fasilitas ini

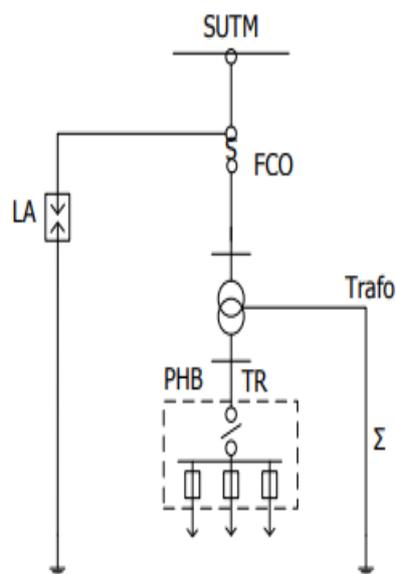
---

<sup>1</sup> PT. PLN (Persero). (2010). *Buku 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta.

lazimnya dilengkapi fasilitas *DC Supply* dari Trafo Distribusi pemakaian sendiri atau Trafo distribusi untuk umum yang diletakkan dalam satu kesatuan.

### 2.1.1 Gardu Portal

Gardu Tiang, yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya/ penyangganya terbuat dari tiang. Dalam hal ini trafo distribusi terletak di bagian atas tiang. Karena trafo distribusi terletak pada bagian atas tiang, maka gardu tiang hanya dapat melayani daya listrik terbatas, mengingat berat trafo yang relatif tinggi, sehingga tidak mungkin menempatkan trafo berkapasitas besar di bagian atas tiang ( $\pm 5$  meter di atas tanah). Untuk gardu tiang dengan trafo satu fasa kapasitas yang ada maksimum 50 KVA, sedang gardu tiang dengan trafo tiga fasa kapasitas maksimum 160 KVA (200 kVA). Trafo tiga fasa untuk gardu tiang ada dua macam, yaitu trafo 1x3 fasa dan trafo 3x1 fasa. Gambar 3-39 memperlihatkan sebuah gardu distribusi tiang tipe portal lengkap dengan perlengkapan proteksinya dan panel distribusi tegangan rendah yang terletak di bagian bawah tiang (tengah).



Gambar 2. 1 Gardu Portal dan Diagram satu garis Gardu Distribusi Portal

### 2.1.2 Gardu Cantol

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya  $\leq 100$  kVA Fase 3 atau Fase 1. Transformator terpasang adalah jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan adalah lightning arrester. Pada transformator tipe CSP fasa 1, penghantar pembumian arrester dihubungkan langsung dengan badan transformator. Konstruksi pembumian sama dengan gardu portal. Perlengkapan hubung bagi Tegangan Rendah maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua bagian konduktif terbuka dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah. Nilai pengenalan LA 5 kA untuk posisi di tangan jaringan dan 10 kA untuk posisi pada akhir jaringan. Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 Ohm.



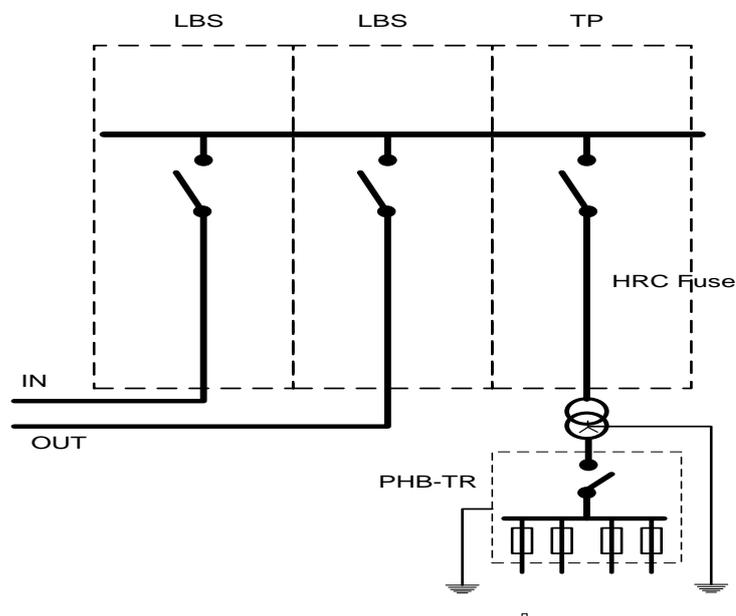
Gambar 2. 2 Gardu Cantol

### 2.1.3 Gardu Beton

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (*masonry wall building*). Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.



Gambar 2. 3Gardu Beton



Gambar 2. 4 Diagram Garis Gardu Beton

### 2.1.4 Gardu Kios

Gardu tipe ini adalah bangunan *prefabricated* terbuat dari konstruksi baja, fiberglass atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat.



Gambar 2. 5 Gardu Kios

Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun Gardu Beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan 4 jurusan tegangan rendah. Khusus untuk kios kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnyanya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.

### 2.2 Panel Hubung Bagi sisi Tegangan Rendah (PHB-TR)<sup>6</sup>

PHB sisi Tegangan Rendah (PHB-TR) adalah suatu kombinasi dari satu atau lebih Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah dengan peralatan kontrol, peralatan ukur, pengaman dan kendali yang saling berhubungan. Keseluruhannya dirakit lengkap dengan sistem pengawatan dan mekanis pada bagian-bagian penyangganya.



Gambar 2. 6 Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB - TR)

Secara umum PHB TR sesuai SPLN 118-3-1-1996, untuk pasangan dalam adalah jenis terbuka. Rak TR pasangan dalam untuk gardu distribusi beton. PHB jenis terbuka adalah suatu rakitan PHB yang terdiri dari susunan penyangga peralatan proteksi dan peralatan Hubung Bagi dengan seluruh bagian-bagian yang bertegangan, terpasang tanpa isolasi. Jumlah jurusan per transformator atau gardu distribusi sebanyak-banyaknya 8 jurusan, disesuaikan dengan besar daya transformator dan Kemampuan Hantar Arus ( KHA ) Penghantar JTR yang digunakan. Pada PHB-TR harus dicantumkan diagram satu garis, arus pengenalan gawai proteksi dan kendali serta nama jurusan JTR.

### 2.3 Pengertian Transformator<sup>9</sup>

Transformator pada umumnya banyak digunakan dalam sistem tenaga listrik maupun dalam rangkaian elektronika. Dalam system tenaga listrik transformator banyak dipergunakan untuk memindahkan energi listrik dari suatu rangkaian listrik kerangkaian listrik yang lainnya. Transformator memiliki 2 (dua) buah rangkaian yaitu ,rangkaiannya pada sisi primer dan rangkaian pada sisi sekunder. Kontruksi transformator terdiri dari sebuah inti atau teras besi yang terdiri dari keping-keping besi tipis yang disekat satu dengan yang lainnya.

Transformator pada dasarnya merupakan suatu peralatan listrik yang menerapkan prinsip induksi elektro magnetic yang menghendaki adanya gandingan magnet antara rangkaian primer dan sekundernya (Purnomo Herry,1987). Transformator memiliki 2 (dua) buah rangkaian yaitu ,rangkaiannya pada sisi primer dan rangkaian pada sisi sekunder.

Apabila transformator diasumsi sebagai transformator ideal dimana tidak terjadi rugi-rugi daya pada trafo, maka daya pada kumparan primer ( $P_1$ ) sama dengan daya pada kumparan sekunder ( $P_2$ ). Besar tegangan dan arus pada kumparan sekunder diatur menggunakan perbandingan banyaknya lilitan antara kumparan primer dan kumparan sekunder berdasarkan rumus

### 2.4 Konstruksi Transformator

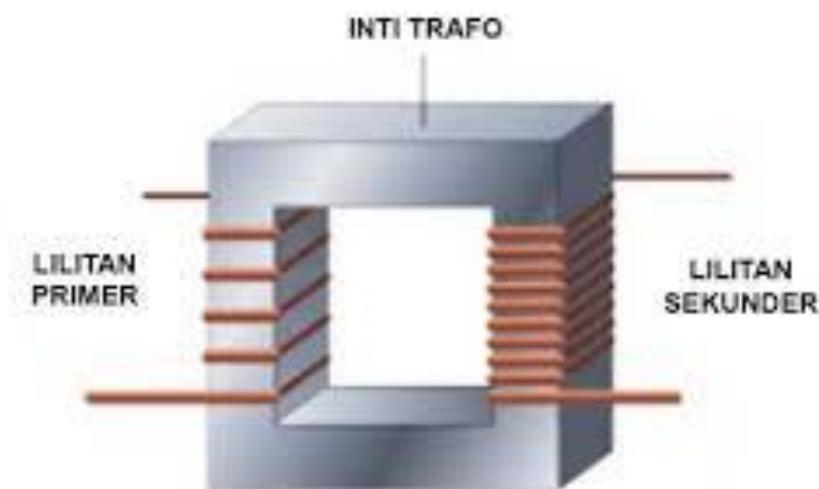
Secara umum sebuah transformator tiga fasa mempunyai konstruksi hampir sama, yang membedakannya adalah alat bantu dan sistem pengamanannya, tergantung pada letak pemasangan, sistem pendinginan, pengoperasian, fungsi dan pemakaiannya. Berikut merupakan konstruksi transformator distribusi

---

<sup>9</sup> Widharma dan Sajayasa. (2014). *Penjadwalan Waktu Beban Kerja dengan Metode Algoritma Active Schedule dan Heuristic Schedule untuk Efisiensi Daya Listrik*. Bali

### a. Inti Besi Transformator

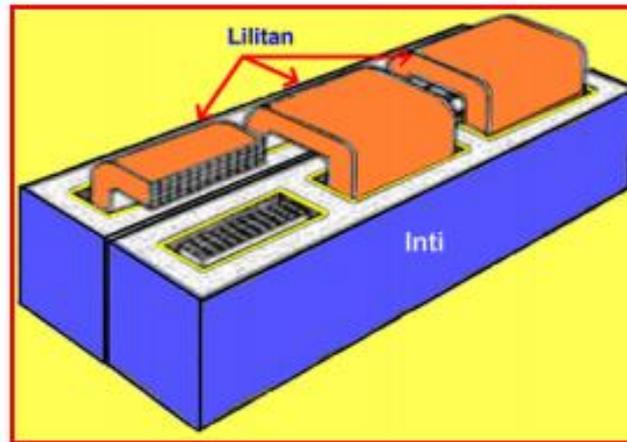
Inti besi berfungsi sebagai tempat mengalirnya fluks dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Sama seperti transformator satu fasa, berdasarkan cara melilit kumparanya ada dua jenis, yaitu tipe inti dan tipe cangkang.



*Gambar 2. 7 Inti Besi*

### b. Kumparan Transformator

Kumparan transformator terdiri dari lilitan kawat berisolasi dan membentuk kumparan. Kawat yang dipakai adalah kawat tembaga berisolasi yang berbentuk bulat atau plat. Kumparan-kumparan transformator diberi isolasi baik terhadap kumparan lain maupun inti besinya. Bahan isolasi berbentuk padat seperti kertas prespan, pertinak, dan lain-nya.



Gambar 2. 8 Inti dan Kumbaran pada Transformator tipe cangkang

### c. Minyak Transformator

Untuk mendinginkan transformator saat beroperasi maka kumbaran dan inti transformator direndam di dalam minyak transformator, minyak juga berfungsi sebagai isolasi. Oleh karena itu minyak transformator harus memenuhi persyaratan, sebagai berikut :

- a. Mempunyai kekuatan isolasi (*Dielectric Strength*).
- b. Penyalur panas yang baik dengan berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel kecil dapat mengendap dengan cepat.
- c. Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersikulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik.
- d. Tidak nyala yang tinggi, tidak mudah menguap.
- e. Sifat kimia yang stabil.



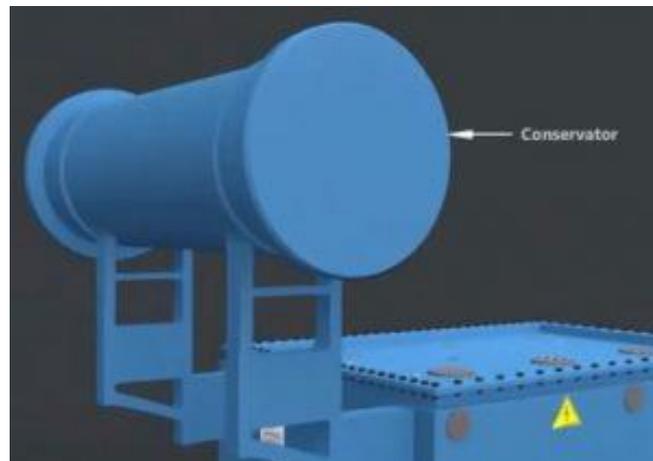
*Gambar 2. 9 Minyak Transformator*

#### **d. Tangki Transformator**

Tangki transformator berfungsi untuk menyimpan minyak transformator dan sebagai pelindung bagian-bagian transformator yang direndam dalam minyak. Ukuran tangki disesuaikan dengan ukuran inti dan kumparan.

#### **e. Konservator Transformator**

Konservator Transformator Konservator merupakan tabung berisi minyak transformator yang diletakkan pada bagian atas tangki. Ini adalah bagian penting transformator yang tidak dapat dilewatkan. Konservator biasanya terbuat dari material logam dengan bentuk seperti drum dan diletakkan di atas transformator. Konservator terisi minyak setengah bagian untuk perluasan dan kontraksi ketika terjadi perubahan temperatur. Fungsi dari konservator transformator adalah untuk menjaga ekspansi atau meluapnya minyak akibat pemanasan dan sebagai saluran pengisian minyak



Gambar 2. 10 Konservator Transformator

#### **f. Sistem Pendinginan Transformator**

Sistem pendinginan pada transformator dibutuhkan supaya panas yang timbul pada inti besi dan kumparan dapat disalurkan keluar sehingga tidak merusak isolasi didalam transformator. Media yang digunakan pada sistem pendinginan dapat berupa : udara / gas, minyak dan air. Sirkulasinya dilakukan secara : alamiah (natural) dan atau paksaan (*forced*).

##### **1. ONAN (*Oil Natural Air Natural*)**

ONAN (*Oil Natural Air Natural*) adalah sebuah sistem pendinginan pada transformator tipe basah yang pendinginannya sendiri menggunakan sirkulasi alami dari oli. Melalui konveksi arus yang telah diatur pada oli yang disirkulasikan pada tangki dan sirip pendingin maka kelebihan suhu panas pada transformator dapat dihilangkan .

##### **2. ONAF (*Oil Natural Air Forced*)**

ONAF (*Oil Natural Air Forced*) adalah sebuah sistem pendinginan pada transformator tipe basah yang pendinginannya sendiri yang menggunakan oli yang akan bersirkulasi dengan alami namun saat oli melalui radiator oli akan didinginkan dibantu dengan kipas/*fan*.



### 3. OFAF (*Oil Forced Air Forced*)

OFAF (*Oil Forced Air Forced*) adalah sebuah sistem pendinginan pada transformator tipe basah yang pendinginannya sendiri yang menggunakan oli yang telah didinginkan dengan pompa supaya sirkulasinya menjadi semakin cepat dan dengan bantuan kipas/*fan* pada radiatornya.

### 4. Pendinginan air

Pendinginan air adalah sebuah sistem pendinginan pada transformator tipe basah yang pendinginannya sendiri menggunakan air untuk menghasilkan suhu dingin. Sistem pendinginan ini merupakan proses penukaran panas dari air yang kemudian dipompa melewati pipa yang dipasang di dalam atau di luar tangki transformator.

Khusus pada jenis transformator tipe basah ini, kumparan dan inti transformator akan direndam kedalam minyak transformator, umumnya transformator-transformator yang mempunyai kapasitas yang cukup besar. Alasan direndam karena minyak transformator ini berfungsi sebagai media pendingin dan juga memiliki sifat sebagai bahan isolasi atau mempunyai nilai tegangan tembus yang tinggi.

### **g. Bushing Transformator**

Bushing transformator adalah sebuah konduktor yang berfungsi untuk menghubungkan kumparan transformator dengan rangkaian luar yang diberi selubung isolator. Isolator juga berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dengan tangki transformator. Bahan bushing adalah terbuat dari porselin yang tengahnya berlubang.



*Gambar 2. 11 Bushing Transformator*

**h. Alat Pernafasan**

Naik turunnya beban transformator dan suhu udara sekeliling transformator, mengakibatkan suhu minyak berubah-ubah mengikuti perubahan tersebut. Bila suhu minyak naik, minyak memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari tangki dan bila suhu turun sebaliknya udara akan masuk. Keadaan ini merupakan proses pernafasan transformator. Tetapi udara luar yang lembab akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak. Untuk mencegah hal itu transformator dilengkapi dengan alat pernafasan yang berupa tabung berisi zat higroskopis, seperti kristal silikagel.

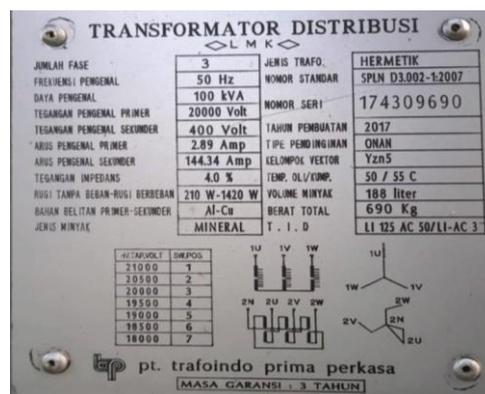
**i. Tap Changer**

*Tap changer* adalah alat yang berfungsi untuk mengubah perbandingan lilitan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi pada sisi sekunder sesuai yang dibutuhkan oleh tegangan jaringan (beban) atau karena tegangan sisi primer yang berubah-ubah. *Tap changer* (perubahan tap) dapat dilakukan dalam keadaan berbeban (*on load*) atau keadaan tidak ber-beban (*off load*). Untuk tranformator distribusi perubahan tap changer dilakukan dalam keadaan tanpa beban.



Gambar 2. 12 Tap Changer

**j. Plat Pengenal Transformator**



Gambar 2. 13 Plat Pengenal

Menurut Puil (2000): 192 Tiap transformator harus diberi pelat nama di mana tercantum nama pembuat, kilovolt-ampere pengenal, frekuensi tegangan primer dan sekunder, jumlah serta jenis cairan isolasi bila digunakan; dan bila daya transformator melebihi 25 kVA harus dicantumkan pula nilai impedansinya, dan jenis hubung belitan (untuk fase tiga). Untuk transformator kering 100 kVA ke atas dicantumkan juga kelas isolasinya. Plat nama yang terdapat pada bagian luar transformator sebagai pedoman saat pemasangan maupun perbaikan. Data-data yang dicantumkan seperti: Phasa dan frekuensi, daya nominal, tegangan primer/sekunder, kelompok hubungan, arus nominal, persentase arus hubung singkat, sistem pendinginan, volume minyak, dan lain-lain.

## 2.5 Prinsip Kerja Transformator <sup>7</sup>

Prinsip kerja dari trafo melibatkan bagian-bagian utama pada trafo, yaitu: kumparan primer, kumparan sekunder dan inti trafo. Kumparan tersebut mengelilingi inti besi dalam bentuk lilitan. Apabila kumparan pada sisi primer trafo dihubungkan dengan suatu sumber tegangan bolak-balik ( $V_p$ ), maka akan mengalir arus bolak-balik ( $I_p$ ) pada kumparan tersebut. Arus bolak-balik ini akan menimbulkan fluks magnetik ( $\Phi$ ) yang sefasa dan di sekeliling kumparan. Akibat adanya inti trafo yang menghubungkan kumparan pada sisi primer dan kumparan pada sisi sekunder, maka fluks magnetik akan mengalir bersama pada inti trafo dari kumparan primer menuju kumparan sekunder sehingga akan membangkitkan tegangan induksi pada sisi sekunder trafo.

## 2.6 Pembebanan transformator<sup>5</sup>

Menurut Edaran direksi PT.PLN (Persero) Nomor 0017.E/DIR/2014, transformator distribusi diusahakan agar tidak dibebani lebih dari 80 %.

Charac. Group	Characteristic	Health Index			
		Baik	Cukup	Kurang	Buruk
Visual Inspection	Kebocoran Minyak Trafo	Bersih	Packing retak	Packing retak /berminyak	Rembes/ Teles
	Kondisi Fisik Trafo	Mulus	Cacat sirip minor	Cacat sirip major	Bengkok
	Pembumian Trafo	< 1,7 $\Omega$	1,7 $\Omega$ - < 5 $\Omega$	5 $\Omega$ - < 10 $\Omega$	$\geq$ 10 $\Omega$
	Kesesuaian Ampere Fuse TR	Sesuai standar	Deviasi 1 tingkat di atas standar	Deviasi 2 tingkat di atas standar	Fuse TR tidak ada (by pass)
	Kondisi Low Voltage Switch Board (LVSB)	Boks bersih, instalasi rapi	Boks kotor, instalasi rapi	Boks karatan, instalasi rapi	Boks bocor, instalasi buruk
Load Reading and Profiling	Pembebanan Arus TR (% thp KHA Outlet)	< 60 %	60 % - < 80%	80 % - <100%	$\geq$ 100%
	Ketidakeimbangan Arus antar Fasa	< 10 %	10 % - < 20%	20 % - <25 %	$\geq$ 25%
	Besar arus netral TR (% terhadap arus beban trafo)	< 10 %	10 % - < 15%	15 % - <20%	$\geq$ 20%
	Pembebanan Trafo (% terhadap kapasitas)	< 60 %	60 % - < 80%	80 % - <100%	$\geq$ 100%

Gambar 3. 1 Pembebanan Maksimum Transformator (%)

<sup>7</sup> Purnomo Herry. *Transformator*, Buku Universitas Brawijaya, Malang. 1987

<sup>5</sup> Gassing, & Jaya, I. (2013). *Optimalisasi Pembebanan Transformator Distribusi dengan Penyeimbangan Beban*. Makassar.



Pembebanan trafo tertinggi yaitu waktu beban puncak pukul 18.00 - 22.00. Pada waktu beban puncak inilah puncak pemakaian listrik tertinggi oleh konsumen. *Overload* terjadi karena beban yang terpasang pada trafo melebihi kapasitas maksimum yang dapat dipikul trafo dimana arus beban melebihi arus beban penuh (*full load*) dari trafo. Beban *overload* akan menyebabkan trafo menjadi panas dan kawat tidak sanggup lagi menahan beban, sehingga timbul panas yang menyebabkan naiknya suhu lilitan tersebut. Kenaikan ini menyebabkan rusaknya isolasi lilitan pada kumparan trafo.

Diusahakan agar trafo tidak dibebani keluar dari range tersebut. Bila beban trafo terlalu besar maka dilakukan penggantian trafo atau penyisipan trafo atau mutasi trafo. Rumus berikut dapat digunakan untuk melihat besar kapasitas trafo yang ada.

- $VA \text{ beban terukur} = \sqrt{3} \times \frac{(I_p)}{3} \times 380 \dots \dots \dots (2.1)$

- $\text{Persentase beban Transformator (\%)} = \frac{\text{kVA beban terukur}}{\text{kVA Trafo}} \times 100 \% \dots (2.2)$

Pembebanan pada transformator akan menyebabkan terjadinya panas atau kenaikan suhu pada transformator, hal ini harus dibatasi karena akan merusak lapisan isolasi transformator. Menurut Sulasno, (1991) menyatakan bahwa kemampuan pembebanan transformator dapat dibagi menjadi tiga yaitu :

1. Kontinyu (Continuous Rating) Suatu pembebanan tetap pada transformator yang menyebabkan kenaikan temperaturnya masih dalam batas yang diijinkan
2. Nominal (Nominal Rating) Transformator yang mampu menahan kelebihan beban 25% - 50% dari nominalnya selama 2 jam, 75% selama 45 menit, 100% selama 10 menit, 200% selama 1,5 menit, tanpa menyebabkan panas lebih.
3. Waktu pendek (Short Time Rating) Suatu beban transformator untuk suatu waktu yang pendek atas waktu tertentu pada keadaan temperatur kamar.

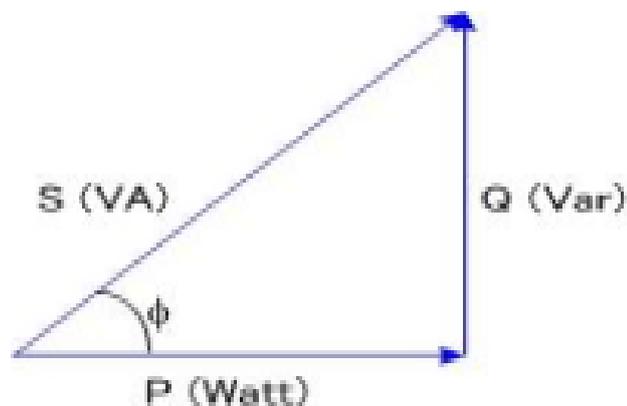
## 2.7 Faktor Daya

Faktor daya ( $\cos \phi$ ) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya semu (VA) yang digunakan dalam listrik arus bolak-

balik (AC) atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam  $\cos \varphi$ . Berdasarkan pengertian tersebut, faktor daya ( $\cos \varphi$ ) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(2.3)$$

Untuk penjelasan tentang daya-daya dapat dilihat pada segitiga daya berikut :



Gambar 2. 14 Segitiga daya

Daya aktif (Active Power) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Adapun persamaan untuk mencari daya aktif sebagai berikut :

$$P = V.I.\cos \varphi \dots\dots\dots(2.4)$$

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah Var.

$$Q = V.I.\sin \varphi \dots\dots\dots(2.5)$$

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar. Adapun persamaan untuk mencari daya semu sebagai berikut:



S = V.I .....(2.6)

2.8 Resistansi Penghantar<sup>4</sup>

Resistansi adalah tahanan suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang menyebabkan kerugian daya. Maka besarnya resistansi pada jaringan listrik dapat dicari dengan menggunakan rumus persamaan berikut:

R = ρ l / A .....(2.7)

Dimana :

R = Resistansi (Ω)

l = Panjang kawat penghantar (m)

A = Luas penampang kawat (m<sup>2</sup>)

ρ = Tahanan jenis (Ωm)

2.9 Rugi-Rugi Pada Transformator

a. Rugi – rugi Inti

Rugi inti atau rugi tetap dapat dicari dengan memperhitungkan operasi transformator dalam keadaan tanpa beban. Dalam keadaan normal rugi inti adalah konstan tidak tergantung pada besarnya beban. Berdasarkan SPLN D3.002-1: 2007 rugi-rugi inti transformator tiga fasa dengan daya 100 kVA adalah 210 Watt. Dibawah ini tabel rugi-rugi inti transformator tiga fasa sebagai berikut:

4 Hutaaruk, T. S. (1996). Transmisi Daya Listrik. Jakarta: Erlangga.

Tabel 2. 1 Rugi-rugi inti transformator tiga fasa sesuai

SPLN D3.002-1: 2007

<b>Daya (KVA)</b>	<b>Pinti (Watt)</b>
25	75
50	125
100	210
160	300
200	355
250	420
315	500
400	595
500	700
630	835
800	1000
1000	1100
1250	1400
1600	1680
2000	1990
2500	2350

**b. Rugi Tembaga**

Rugi-rugi tembaga terjadi di kedua kumparan. Kumparan primer atau sekunder dibuat dari gulungan kawat tembaga yang dilapisi oleh isolator tipis yang disebut enamel. Umumnya kumparan dibuat dari gulungan kawat yang cukup panjang. Gulungan kawat yang panjang ini akan meningkatkan hambatan dalam kumparan. Rugi-rugi tembaga adalah rugi – rugi yang disebabkan oleh arus mengalir pada kawat tembaga. Rugi-rugi tembaga akan berbanding lurus dengan besarnya beban sehingga meningkatnya arus beban akan meningkatkan rugi-rugi tembaga juga. Semakin besar harga R maka semakin besar pula energi panas yang



timbul di dalam kumparan. Mutu kawat yang bagus dengan nilai hambatan jenis yang kecil dapat mengurangi rugi-rugi tembaga. rugi tembaga merupakan rugi yang bergantung pada perubahan beban. Beban yang berubah-ubah menyebabkan terjadinya perubahan arus pada kumparan transformator, Perubahan arus menyebabkan besar kecilnya rugi-rugi saat terjadi dikumparan transformator tersebut.

Sebagai dasar dari perhitungan penentuan besar rugi-rugi tembaga saat terjadi perubahan beban adalah rugi-rugi tembaga beban penuh. Dari data transformator yang diperoleh dari nameplate bahwa transformator 100 KVA memiliki rugi-rugi tembaga beban penuh ( $P_{t1}$ ) sebesar 1420 Watt.

$$P_{cu} = I^2 \cdot R \dots\dots\dots (2.8)$$

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

$$P_{t2} = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \times P_{t1} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

$P_{t2}$  = Rugi-rugi tembaga pada saat pembebanan tertentu (Watt)

$P_{t1}$  = Rugi-rugi tembaga beban penuh (Watt)

$S_2$  = Beban yang Dioperasikan (VA)

$S_1$  = Daya Trafo (VA)

Jumlah total rugi-rugi pada transformator adalah:

$$P_{rugi\ total} = \text{Rugi-rugi Cu} + \text{Rugi inti} \dots\dots\dots (2.10)$$



### 2.10 Efisiensi Transformator <sup>8</sup>

Efisiensi transformer adalah perbandingan antara daya output yang dihasilkan dibanding dengan daya input masukannya.

$$S = \text{Prating trafo} \times \sqrt{\frac{\text{Pinti}}{\text{Pcu full load}}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

S = Beban Terukur (VA)

Prating trafo = Daya Trafo (VA)

Pinti = Rugi Inti Trafo (Watt)

Pcu full load = Rugi Tembaga Beban Penuh (Watt)

Efisiensi transformator dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.12)$$

$$P_{out} = V \times I \times \text{Cos } \varphi \dots\dots\dots (2.13)$$

$$n = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{rugi-rugi}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi Transformator

$P_{out}$  = Daya keluaran (kumparan sekunder)

$P_{in}$  = Daya masukan (kumparan primer)

<sup>8</sup> Prayoga, aditya dkk. (2010). Transformers. Depok: Departemen Teknik Elektro.