

BAB II

LANDASAN TEORI

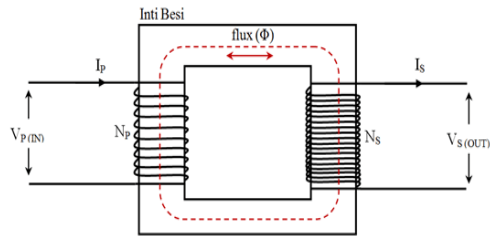
2.1 Tinjauan Pustaka

Bird, Jhon. "Electrical Circuit Theory and Technology". Taylor and Francis Group. England, 2014. Yang membahas mengenai teori sirkit listrik dan teknologi.

Nduru, Felixman Tefaoli. "Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Rugi Daya pada Transformator Daya". Universitas Indonesia. Depok, 2016. Yang membahas mengenai rugi-rugi daya pada transformator ketika terlalu besar beban yang harus ditanggung oleh trafo itu sendiri. Rugi-rugi tersebut terjadi karena suhu panas pada belitan trafo akibat beban yang melebihi kapasitas (*overload*).

2.2 TRANSFORMATOR

Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya/tenaga dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Transformator bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Ketika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer menimbulkan perubahan medan magnet. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi. Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan, sehingga fluks magnet yang ditimbulkan akan mengalir ke kumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul ggl induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (*mutual inductance*). Bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaian beban) maka akan mengalir arus pada kumparan sekunder. Jika efisiensi sempurna (100%), semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.



Gambar 2.1. Arus bolak balik mengelilingi inti besi

2.3 Jenis – Jenis Transformator

Berdasarkan Pedoman PLN Notebook, jenisnya transformator dapat dibedakan menjadi :

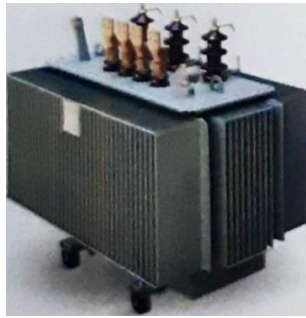
- a) Transformator pembangkit
- b) Transformator gardu induk / penyaluran
- c) Transformator distribusi

Transformator tenaga untuk fungsi penyaluran dapat dibedakan menjadi :

- a) Transformator besar
- b) Transformator sedang
- c) Transformator kecil

2.4 Transformator Distribusi

Tujuan dari penggunaan transformator distribusi adalah untuk menurunkan tegangan 20//11,6 kV ke tegangan rendah 400/230 Volt agar dapat dikonsumsi oleh pelanggan kelas rumah tangga. Karena tegangan yang masih tinggi belum dapat digunakan untuk mencatu beban secara langsung, kecuali beban yang didesain khusus. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator penurun tegangan (*step down*). Transformator distribusi yang umum digunakan masyarakat / konsumen dan mudah mengenalinya karena biasa dipasang pada tiang listrik dan menyatu dengan jaringan listrik.



Gambar 2.2 Transformator Distribusi 3 Fasa dan Radiator

Besar tegangan pada pembagian sisi tegangan tinggi dan rendah mengacu pada SPLN D3.002-I:2007

1. Tegangan Tinggi

Tegangan primer adalah tegangan nominal jaringan tegangan menengah 20KV .

- a. Transformator fasa tiga :20kV
- b. Transformator fasa tunggal
 - Untuk sistem distribusi JTM 3 kawat :20 kV
 - Untuk sistem distribusi JTM 4 kawat :20/43 kV

2. Tegangan Rendah

Tegangan sekunder pada keadaan tanpa beban adalah tegangan nominal sistem jaringan tegangan rendah :

- a. Transformator fasa tiga : 400 V
- b. Transformator fasa tunggal : 231 V*)

CATATAN

*) Transformator fasa tunggal dikonstruksi dengan dua belitan sekunder

2.5Bagian — Bagian Transformator dan Fungsinya

Berikut ini merupakan bagian-bagian transformator distribusi dan fungsinya, yaitu:

2.5.1. Inti besi

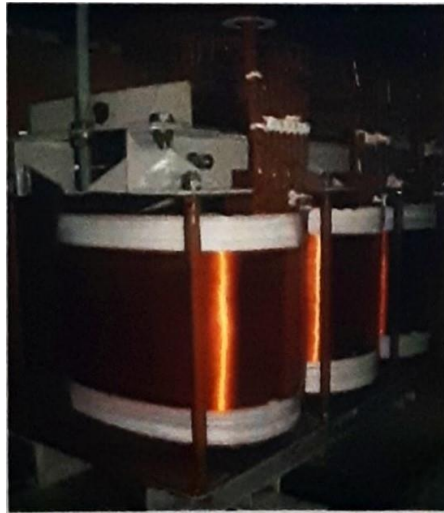
Inti besi dibentuk dari laminasi baja silikon (*cold-rolled grain oriented*) atau baja amorphous (*amorphous steel*). Inti besi digunakan sebagai media jalannya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan – lempengan tipis berisolasi yang di susun sedemikian rupa, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi) yang ditimbulkan.



Gambar 2.3 Inti Besi Transformator

2.5.2. Kumparan Transformator

Kumparan terdiri dari lilitan batang tembaga (Cu) atau alumunium (Al) berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat tegangan dan arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga atau alumunium tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnetik. Dan belitan tembaga terluar (belitan primer) diolasi menggunakan kertas khusus, yaitu DDP (*Diamond Dote Paper*) yang berfungsi melindungi belitan dari gaya dorong kearah luar (induksi inti besi) agar kerapatan dari lilitan tetap terjaga. Umumnya pada transformator terdapat belitan primer dan sekunder. Posisinya belitan sekunder terdapat di dalam belitan primer.



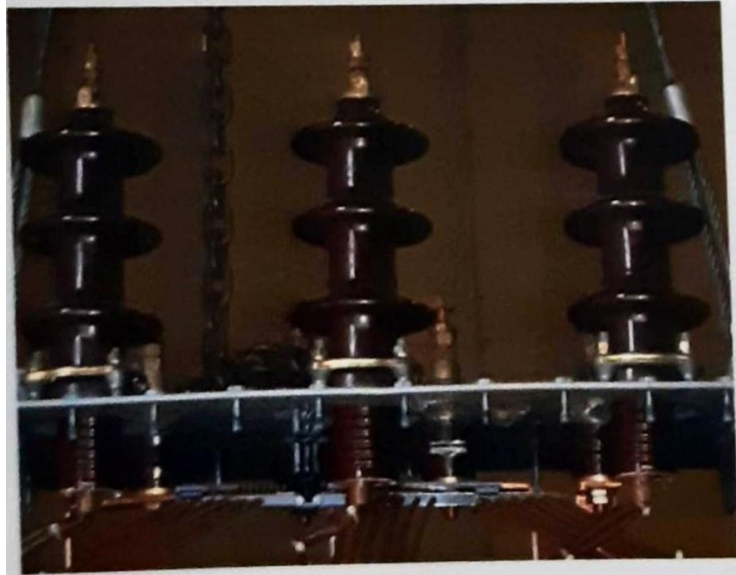
Gambar 2.4 Kumbaran Transformator

2.5.3. Bushing

Jenis bushing adalah porselin untuk transformator pasangan luar atau plugin untuk pasangan dalam. Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Konduktor berfungsi untuk menyalurkan arus dari bagian peralatan ke terminal luar dan bekerja pada tegangan tinggi. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan body main tank transformator. Dengan bantuan flans, isolator diikatkan pada badan peralatan yang dibumikan. Dan pemasangan bushing porselin pada penutup tangki harus menggunakan *fixing ring* dan *cork* yang sesuai dengan tipe bushing. Fungsi *fixing ring* dan *cork* untuk memastikan keadaan bushing rapat, sehingga beban merata dan tidak terjadi kebocoran minyak.

Tegangan maksimum bushing primer adalah 24 kV dengan arus pengenal yang sesuai dengan arus pengenal transformator. Sedangkan bushing sekunder tegangan pengenalnya 1 kV dengan arus pengenal yang sesuai dengan arus pengenal transformator, minimum 250A. Bushing porselin adalah untuk tingkat polusi

sedang sesuai IEC 60137 dengan jarak rambat nominal 480 mm. Pada transformator distribusi terdapat bushing TT (Primer) dan bushing TR (Sekunder).



Gambar 2.5 Bushing Transformator

2.5.4. Pendinginan

Suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, losses pada transformator itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan.

Minyak isolasi transformator selain merupakan media isolasi 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.

Tabel 2.1 Macam macam Pendingin Pada Transformator.

No.	Macam Sistem Pendingin)	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	-
8.	ONAN/ONAF	Kombtnas/ 3 dan 4			
9.	ONANIOFAN	Kombtnasl 3 dan S			
10.	ONANIOFAF	Kombcnast 3 dan 6			
11.	ONANIOFWF	Komblnast 3 dan 7			

Pada Pedoman PLN Notebook sistem pendinginan dibagi menjadi :

1. ONAN (*Oil Natural Air Natural*)

Sistem pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak dan sirkulasi udara secara alamiah. Sirkulasi minyak yang terjadi disebabkan oleh perbedaan berat jenis antara minyak yang dingin dengan minyak yang panas.

2. ONAF (*Oil Natural Air Force*)

Sistem pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak secara alami sedangkan sirkulasi udaranya secara buatan, yaitu dengan menggunakan hembusan kipas angin yang digerakkan oleh motor listrik. Pada umumnya operasi transformator dimulai dengan ONAN atau dengan ONAF tetapi hanya sebagian kipas angin yang berputar. Apabila suhu transformator sudah semakin meningkat, maka kipas angin yang lainnya akan berputar secara bertahap.

3. OFAF (*Oil Force Air Force*)

Pada sistem ini, sirkulasi minyak digerakkan dengan menggunakan kekuatan pompa, sedangkan sirkulasi udara menggunakan kipas angin. Pada transformator distribusi pendinginan dilakukan dengan menggunakan minyak transformator dan radiator (berbentuk sirip yang diletakkan di tangki yang juga merupakan bagian dari tangki) serta mengandalkan pada hembusan udara yang dipaksa (*forced*) sehingga disebut dengan sistem pendinginan OFAF (*oilforce air force*).

2.5.5 Minyak isolasi dan isolasi kertas transformator distribusi

Minyak isolasi pada transformator distribusi berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak Ascarel merupakan minyak isolasi yang paling baik yang digunakan pada transformator distribusi yang berjenis mineral. Persyaratan (Standar IEC 60296 dengan tegangan tembus 2 50 kV/2,5 mm dan parameter-parameter minyak isolasi lainnya dengan batasan-batasan minimum untuk minyak isolasi yang baru dimasukkan kedalam peralatan sebelum energize).

Isolasi kertas berfungsi sebagai isolasi, pemberi jarak, dan memiliki kemampuan mekanis menjaga kerapatan lilitan pada kumparan. Isolasi kertas yang digunakan pada transformator distribusi, yaitu kertas DDP (Diamond Dote Paper).

2.5.6. Tangki

Tangki dibuat dari pelat baja dengan permukaan yang halus. Tangki untuk transformator fasa tunggal dapat berbentuk silindris atau persegi empat. Untuk persyaratan ukuran tangki, mengacu pada SPLN D3.002-1 :2007. Bagian – bagian dari transformator yang terendam minyak ditempatkan di dalam tangki. Tangki berfungsi sebagai pelindung bagian dalam transformator terhadap pengaruh luar (benturan mekanis dan cuaca). Bentuk tangki yang umum digunakan ada 2 yaitu tangki dengan menggunakan konservator dan yang tidak menggunakan konservator (tangki jenis hermetikal). Transformator distribusi yang digunakan di PLN menggunakan tangki jenis hermetikal.

2.5.7 Tap Changer (pengubah sadapan)

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Transformator dituntut memiliki nilai tegangan output yang stabil sedangkan besarnya tegangan input tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan pada sisi primer diharapkan dapat merubah ratio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan output/sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input/primernya. Penyesuaian ratio belitan ini disebut Tap changer. Proses perubahan ratio belitan ini dapat dilakukan pada saat transformator sedang berbeban (*On Load Tap Changer*) atau saat transformator tidak berbeban (*Off Load Tap Changer*). Pada

transformator distribusi proses perubahan ratio belitan dilakukan saat transformator tidak berbeban (*Off Load Tap Changer*)



Gambar 2.6 Pengubah Sadapan (Tap Changer)

Tabel 2.2 Tegangan Sadapan pada Transformator berdasarkan SPLN D3.002-1:2007

No. Sadapan	Sistem JTM 3 kawat		JTM 4 kawat			
	Fase tiga dan fase tunggal		Fase tiga		Fase tunggal	
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2
1	21 kV	21 kV	21 kV	21 kV	$21/\sqrt{3}$ kv	$21/\sqrt{3}$ kV
2	20,5 kV	20,5 kV	20,5 kV	20,5 kV	$20,5/\sqrt{3}$ kv	$20,5/\sqrt{3}$ kV
3	20 kV	20 kV	20 kV	20 kV	$20/\sqrt{3}$ kv	$20/\sqrt{3}$ kV
4	19,5 kV	19,5 kV	19,5 kV	19,5 kV	$19,5/\sqrt{3}$ kv	$19,5/\sqrt{3}$ kV
5	19 kV	19 kV	19 kV	19 kV	$19/\sqrt{3}$ kv	$19/\sqrt{3}$ kV
6	-	18,5 kV		18,5 kV		$18,5/\sqrt{3}$ kV
7	-	18 kV		18 kV		$18/\sqrt{3}$ kV

2.5.8 Pressure Relief Device (pengaman tekanan lebih)

Pressure relief device (Pengaman tekanan lebih) ini didesain sebagai titik terlemah saat tekanan didalam transformator muncul akibat gangguan. Dengan menyediakan titik terlemah maka tekanan

akan tersalurkan melalui *pressure relief device* dan tidak akan merusak bagian lainnya pada *main tank*.

2.5.9 Indikator Tinggi Minyak

Indikator tinggi minyak pada transformator diperlukan untuk mengetahui ketinggian minyak di dalam transformator. Indikator tinggi minyak ditempatkan pada pipa pengisi minyak. Jenis indikator adalah visual oil level eye indicator. Pada kondisi normal minyak transformator harus merendam semua bagian transformator. Indikator tinggi minyak diletakkan di bagian atas tangki.



Gambar 2.7 Indikator Tinggi Minyak

2.5.10 Terminal Penumbumian

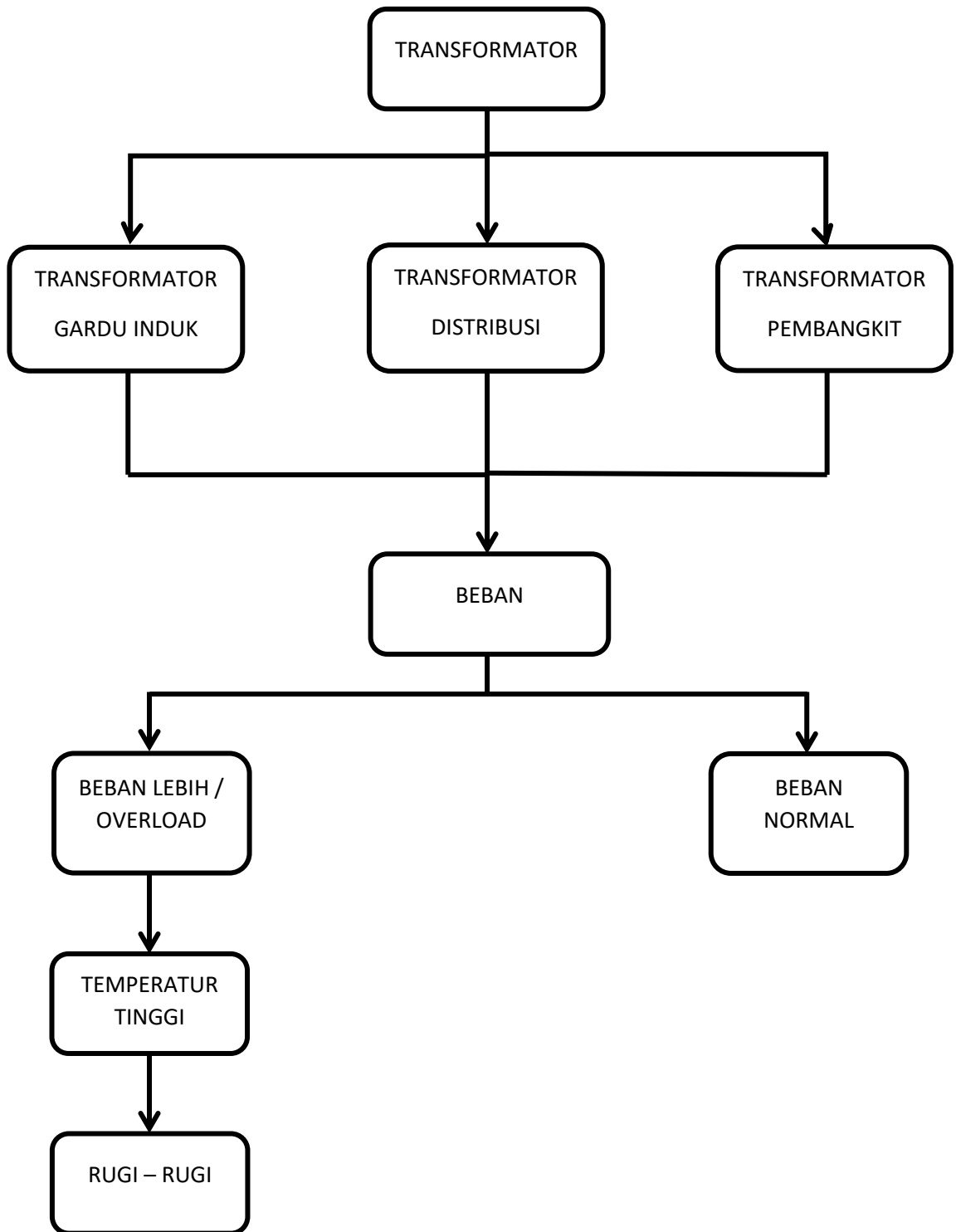
Tangki transformator dilengkapi dengan terminal penbumian yang dibuat dari kuningan, satu buah pada penutup tangki dan satu buah pada bagian bawah tangki. Pemasangan terminal penbumian ini dimaksudkan untuk pengamanan arus/tegangan bocor yang terjadi di sekitar transformator. Penandaan terminal penbumian



Gambar 2.8 Terminal Pembumian (Grounding)

2.6 Kerangka Pemikiran

Untuk mempermudah pemahaman teori yang dipergunakan, maka digunakan kerangka pemikiran seperti berikut :



Gambar 2.9 Kerangka Pemikiran