



BAB II TINJAUAN UMUM

2.1 Transformator Daya



Gambar 2.1 Transformator Daya

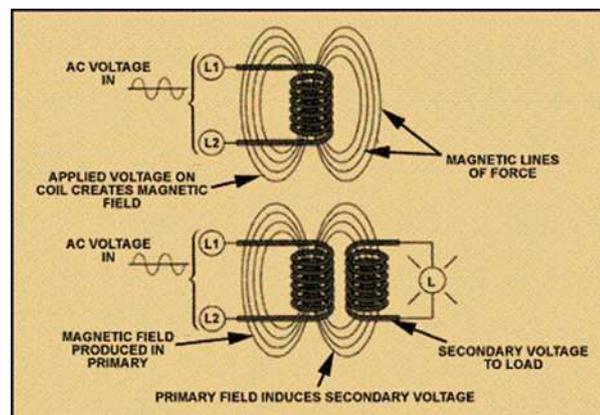
Transformator Daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.

Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bisa secara terus menerus tanpa berhenti). Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu, maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin. Oleh karena itu transformator harus dipelihara dengan menggunakan system dan peralatan yang benar, baik dan tepat. Untuk itu pula regu pemeliharaan harus mengetahui bagian-bagian transformator dan bagian-bagian mana yang perlu diawasi melebihi bagian lainnya.

Berdasarkan tegangan operasinya dapat dibedakan menjadi transformator 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut Interbus Transformator (IBT). Transformator 150/20 kV dan 70/20 kV disebut juga trafo distribusi. Titik

netral transformator ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk system pengamanan / proteksi, sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan rendah atau tahanan tinggi atau langsung disisi netral 20 kV nya.¹

Transformator Tenaga merupakan peralatan statis dimana terdapat rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari dua atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama². Trafo menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet atau fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi.

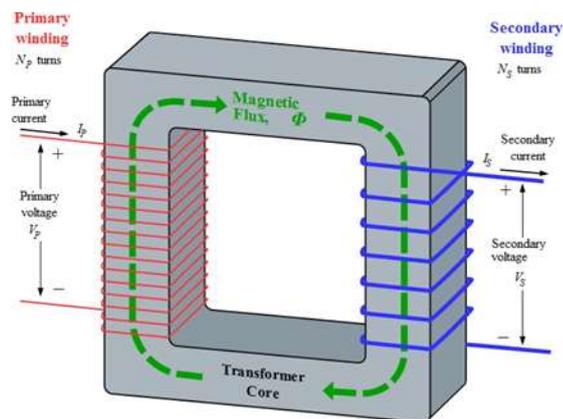


Gambar 2.2 Prinsip Hukum Elektromagnetik

Arus AC yang mengalir pada belitan primer membangkitkan flux magnet yang mengalir melalui inti besi yang terdapat diantara dua belitan tersebut, flux magnet tersebut menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial atau yang disebut dengan tegangan induksi (Gambar 2.1).

¹ Endi Sopyandi, *Power Transformator (Trafo Daya)*.www.electridot.wordpress.com (diakses 30 Maret 2020 pukul 21:32)

² IEC 60076 – 1, *TC 14 - Power transformers* (tahun 2011) hlm. 8.



Gambar 2.3 Elektromagnetik pada Transformator

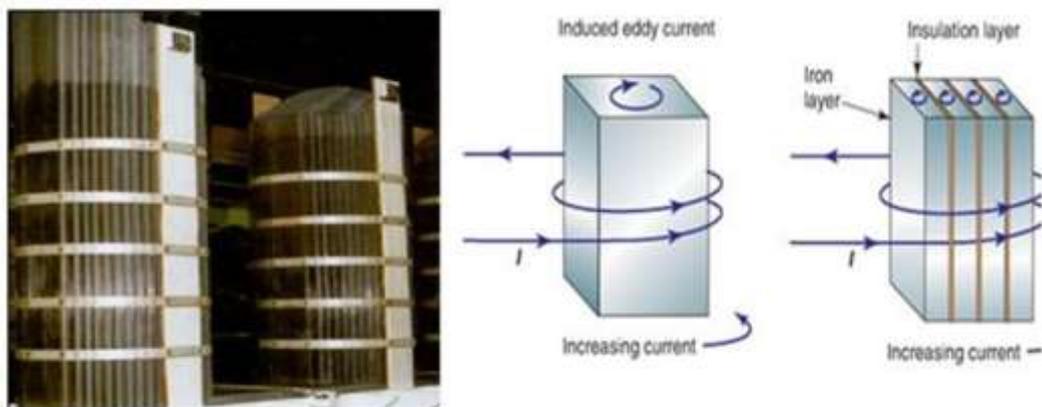
2.2 Jenis Transformator

Transformator dapat dibagi menurut fungsi / pemakaian seperti :

- Transformator Mesin (Pembangkit).
- Transformator Gardu Induk.
- Transformator Distribusi.

2.3 Bagian – Bagian Transformator dan Fungsinya³

2.3.1 Electromagnetic Circuit (Inti Besi)

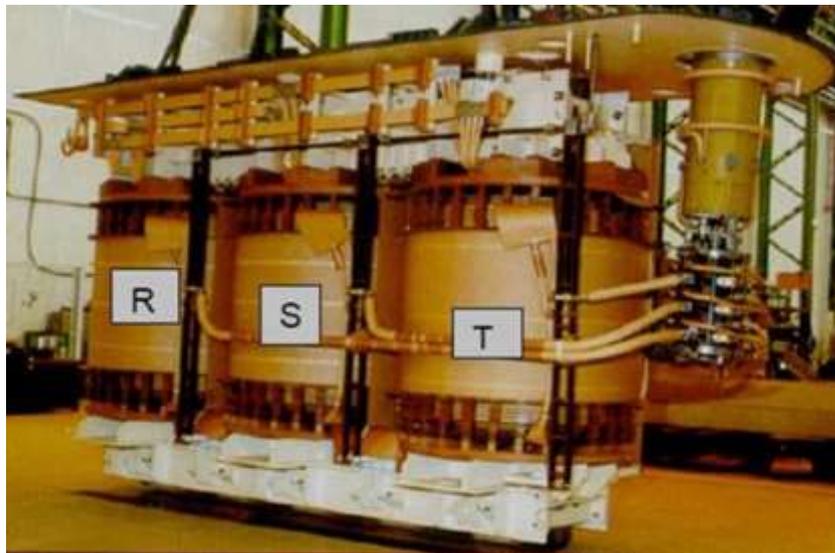


Gambar 2.4 Inti Besi

³ PT. PLN (Persero), *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga* (Indonesia, 2014) hlm. 2

Inti besi digunakan sebagai media mengalirnya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi tersebut, sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. *Electrimagnetic Circuit* atau Inti Besi ini dibentuk dari lempengan – lempengan besi tipis yang berisolasi dengan maksud untuk mengurangi *eddy current* (loop dari arus listrik yang diinduksi di dalam konduktor oleh medan magnet yang berubah dalam konduktor menurut hukum induksi Faraday) yang merupakan arus sirkulasi pada inti besi hasil induksi medan magnet, dimana arus tersebut akan mengakibatkan rugi – rugi (losses).

2.3.2 Current Carrying Circuit (Winding)



Gambar 2.5 Belitan Transformator

Current Carrying Circuit atau *Winding* atau yang lebih dikenal dengan sebutan Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi transformator, dimana saat arus bolak balik atau arus AC mengalir pada belitan tembaga tersebut, yang mengakibatkan inti besi akan terinduksi sehingga pada inti besi tersebut akan menimbulkan flux magnetik.

2.3.3 Bushing⁴

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh piringan isolator. Piringan isolator inilah yang berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan badan *main tank* pada transformator.



Gambar 2.6 Bushing

Secara garis besar bushing dapat dibagi menjadi empat bagian utama yaitu:

1. Isolasi⁵

Berdasarkan media isolasi pada bushing, bushing transformator terbagi menjadi dua yaitu:

a. *Bushing Kondenser*

Bushing kondenser pada umumnya dipakai pada tegangan rating bushing mulai dari tegangan 72,5 kV ke

⁴ PT. PLN (Persero), *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga* (Indonesia, 2014) hlm. 3

⁵ IEC 60137, *TC 36/SC 36A - Insulated bushings* (tahun 2008) hlm 10.



atas. Bushing condenser ini sendiri terdapat tiga jenis media isolasi yaitu:

- *Resin Bonded Paper* (RBP)

Bushing tipe *Resin Bonded Paper* atau RBP adalah teknologi bushing kondenser yang pertama dan sudah mulai ditinggalkan. Pada masa sekarang *Resin Bonded Paper* atau RBP sudah tidak dipakai lagi oleh pabrikan dan juga perusahaan penggunaannya.

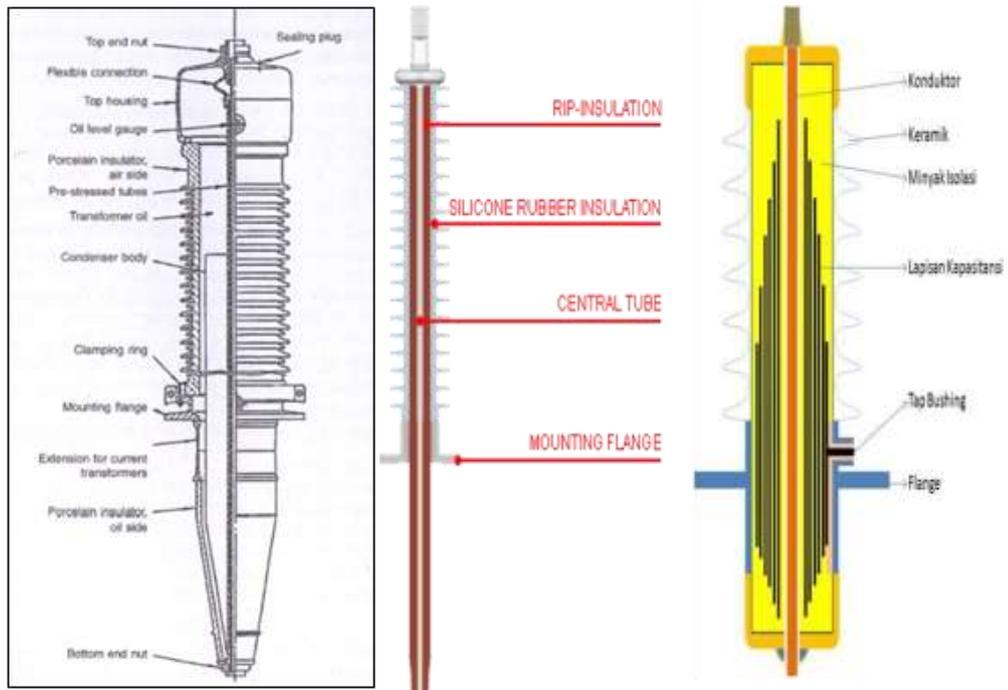
- *Oil Impregnated Paper* (OIP)

Pada tipe *Oil Impregnated Paper* atau OIP media isolasi yang digunakan adalah kertas dan minyak, dimana minyak disini berfungsi untuk merendam kertas isolasi.

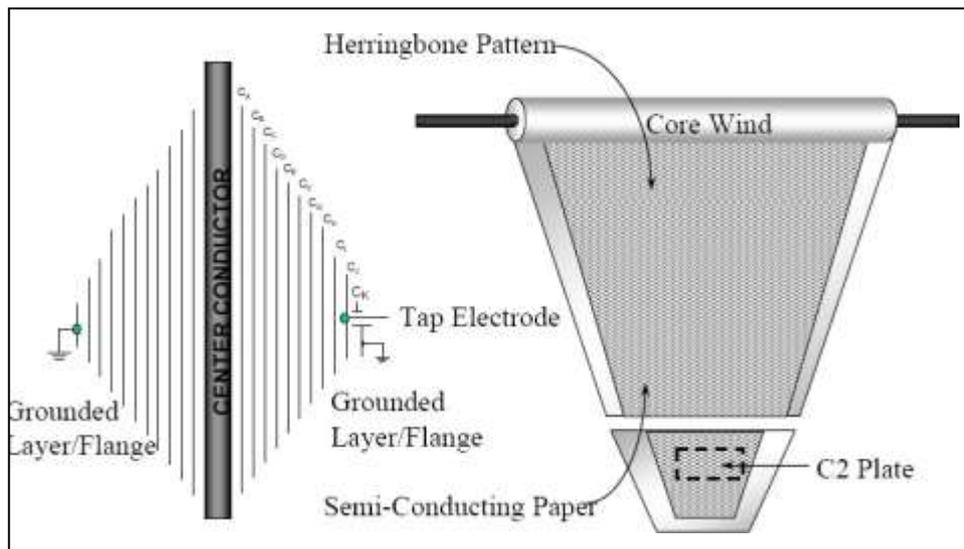
- *Resin Impregnated Paper* (RIP)

Pada tipe *Resin Impregnated Paper* atau RIP ini, media isolasi yang digunakan pada tipe ini adalah kertas isolasi dan resin.

Di dalam *bushing kondenser* terdapat banyak lapisan kapasitansi yang disusun secara seri sebagai pembagi tegangan. Pada bushing terdapat dua kapasitansi utama yang biasa disebut C1 dan C2. C1 adalah kapasitansi antara konduktor dengan tap bushing, dan C2 adalah kapasitansi dari tap bushing ke ground (flange bushing). Dalam kondisi operasi tap bushing dihubungkan ke ground, sehingga C2 tidak ada nilainya ketika bushing operasi.



Gambar 2.7 Bagian – Bagian pada Bushing



Gambar 2.8 Kertas Isolasi pada Bushing (Oil Impregnated Bushing)



Gambar 2.9 Konduktor Bushing dilapisi Kertas Isolasi

b. Bushing non-Kondenser

Bushing non kondenser umumnya digunakan pada tegangan rating 72,5 kV ke bawah. Media isolasi utama bushing non-kondenser adalah isolasi padat seperti porcelain atau keramik.

2. Konduktor

Terdapat beberapa jenis – jenis konduktor yang digunakan pada bushing transformator yaitu disebut hollow conductor dimana terdapat besi pengikat atau penegang di tengah lubang konduktor utama, konduktor pejal dan flexible lead.

3. Klem Koneksi

Klem koneksi merupakan sarana pengikat antara stud bushing dengan konduktor penghantar di luar bushing.

4. Asesoris

Asesoris bushing terdiri dari indikasi minyak, seal atau gasket dan tap pengujian. Seal atau gasket pada bushing terletak di bagian bawah mounting flange.

2.3.4 Pendingin



Gambar 2.10 Radiator (Pendingin)

Suhu pada transformator 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 transformator tersebut. Oleh karena itu pendinginan yang efektif pada transformator sangat diperlukan.

Minyak isolasi trafo 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.

Sistem pendinginan trafo dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Transformers tipe pendingin kering.

- AN – *Air Natural* (Udara biasa)

Hanya dapat dipakai untuk tipe transformator kering (yaitu dengan balutan resin dan resin resapan).

- AF – *Air Forced* (Udara Paksa)



Selalu untuk tipe transformator *Air Forced* tekanan udara kering di dalam permukaan tangki dibuat secara paksa menggunakan kipas yang diatur alat pengatur panas pada tangki.

2. Pendinginan dengan minyak celup transformator

- *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.

- *ONAF - Oil Natural Air Forced*

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

- *OFAN – Oil Forces Air Natural*

Pada sistem Oil Force Air Natural ini, sirkulasi minyak pada transformator digerakkan secara paksa dengan menggunakan kekuatan pompa, sedangkan sirkulasi udara dilakukan secara alami atau natural.

- *OFAF - Oil Forced Air Forced*

Untuk transformator di atas 100 MVA sistem pendingin ONAF tidak mencukupi, oleh karena itu aliran tekanan minyak juga dipakai untuk pendinginan yang lebih baik disamping aliran tekanan udara. Pompa digunakan untuk mendorong minyak dari atas transformator (outlet) ke dalam radiator bank yang



ditempatkan berjarak dari tangki dan dihubungkan dengan pipa keluar dan pipa ke dalam.

- ONWF - *Oil Natural Water Forced*

Tipe ini adalah pendingin yang dipakai di tempat di mana ada ruang pembatas untuk dan air yang ada secara leluasa, dengan memakai pompa air diedarkan disekitar tabung radiator untuk mendinginkan minyak transformator yang beredar oleh konveksi alami. Tetapi dewasa ini sistem sejenis ini dihentikan karena kini transformator dirancang mempunyai radiator dan sistem pendingin yang didesain lebih baik.

- OFWF - *Oil Forced Water Forced*

Metode ini mirip dengan metode OFAF, tetapi di sini aliran air paksa digunakan untuk menghilangkan pendengaran dari penukar panas. Minyak dipaksa mengalir melalui penukar panas dengan bantuan pompa, di mana panas dibuang ke dalam air yang juga dipaksa mengalir. Air panas diambil untuk mendinginkan dalam pendingin terpisah. Jenis pendinginan ini digunakan pada transformator sangat besar yang memiliki peringkat beberapa ratus MVA.

No	Macam Sistem Pendingin *)	Media			
		Dalam Trafo		Diluar Trafo	
		Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa
1.	AN			Udara	
2.	AF				Udara
3.	ONAN	Minyak		Udara	
4.	ONAF	Minyak			Udara
5.	OFAN		Minyak	Udara	
6.	OFAF		Minyak		Udara

7.	ONWF	Minyak			Air
8.	OFWF		Minyak		Air
9.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
10.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
No	Macam Sistem Pendingin *)	Media			
		Dalam Trafo		Diluar Trafo	
		Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa
11.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
12.	ONAN/ONWF	Kombinasi 3 dan 7			
13.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 8			

Tabel 2.1 Macam – Macam Pendingin pada Transformator

2.3.5 Oil Preservation & Expansion (Konservator)

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada trafo, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. *Konservator* digunakan untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu.



Gambar 2.11 Konservator

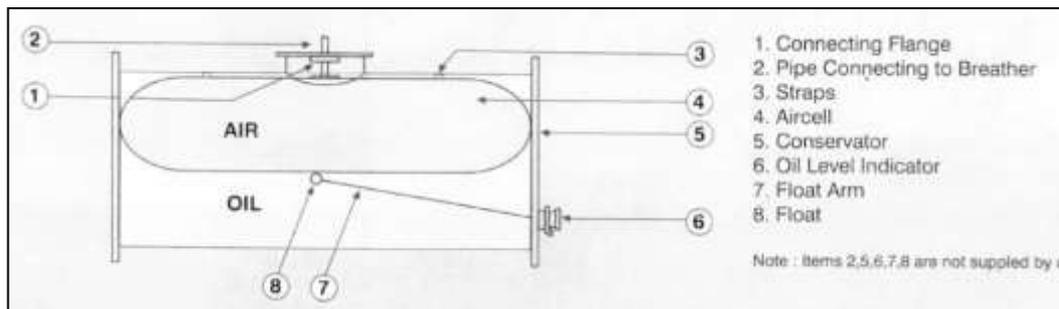
Seiring dengan naik turunnya volume minyak di *konservator* akibat pemuaian dan penyusutan minyak yang disebabkan oleh turun naiknya suhu pada trafo, volume udara di dalam konservator pun akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan langsung dengan udara luar.

Agar minyak isolasi trafo tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar khususnya untuk tipe *konservator* tanpa *rubber bag*, maka udara yang akan masuk ke dalam *konservator* akan difilter terlebih dahulu melalui silicagel sehingga kandungan uap air dapat diminimalkan.



Gambar 2.12 Silica Gel

Guna untuk menghindari agar minyak pada trafo tidak berhubungan langsung dengan udara disekitar atau udara luar, maka saat ini konservator telah dirancang dengan menggunakan *breather bag* atau *rubber bag*, yaitu sejenis balon karet yang dipasang di dalam tangki *konservator*.



Gambar 2.13 Konstruksi Konservator dengan Rubber Bag

Silica gel sendiri memiliki batasan kemampuan untuk menyerap kandungan uap air sehingga pada periode tertentu *silica gel* tersebut harus dipanaskan bahkan bila perlu dilakukan penggantian sehingga pada trafo terdapat teknologi yang disebut dengan dehydrating breather. *Dehydrating Breather* itu sendiri merupakan teknologi yang berfungsi untuk mempermudah pemeliharaan *silica gel* pada transformator, dimana pada *dehydrating breather* terdapat pemanasan otomatis yang akan bekerja apabila *silica gel* telah mencapai titik kejenuhan tertentu.



Gambar 2.14 Dehydrating Breather

2.3.6 Dielectric (Minyak Isolasi Trafo & Isolasi Kertas)

1. Minyak Isolasi Trafo

Minyak isolasi pada trafo berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi trafo merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis, yaitu *parafinik*, *naphthanik* dan *aromatik*. Antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda.



Gambar 2.15 Minyak Isolasi Trafo

2. Kertas Isolasi Trafo

Isolasi kertas berfungsi sebagai isolasi, pemberi jarak, dan memiliki kemampuan mekanis.



Gambar 2.16 Kertas Isolasi Trafo

2.3.7 Tap Changer

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Trafo dituntut untuk memiliki nilai tegangan output atau tegangan keluaran yang stabil sedangkan besarnya tegangan input atau tegangan masukan tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan sehingga dapat merubah ratio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan output atau sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input atau primernya. Penyesuaian ratio belitan ini disebut *Tap changer*.

Proses perubahan ratio pada belitan ini dapat dilakukan pada saat trafo sedang berbeban atau sering disebut dengan *On load tap changer* atau maupun pada saat trafo tidak berbeban (*Off Circuit tap changer/ De Energize Tap Charger*).

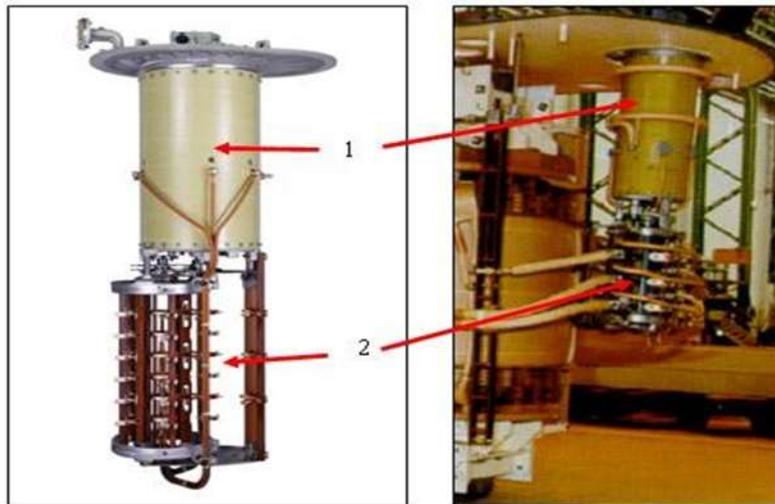
Tap changer terdiri dari:

- *Selector Switch*.
- *Diverter Switch*.
- Tahanan transisi.

Dikarenakan aktifitas tap changer lebih dinamis dibanding dengan belitan utama dan inti besi, maka kompartemen antara belitan utama dengan tap changer dipisah. *Selector switch* merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal terminal untuk menentukan posisi tap atau ratio belitan primer.

Diverter switch merupakan rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi.

Tahanan transisi merupakan tahanan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan tap.



Keterangan:

- 1 - Kompartemen Diverter Switch
- 2 – Selektor Switch

Gambar 2.17

OLTC pada Transformator

Media pendingin atau pemadam proses *switching* pada *diverter switch* yang dikenal sampai saat ini terdiri dari dua jenis, yaitu media minyak dan media *vaccum*. Jenis pemadaman dengan media minyak akan menghasilkan energi arcing yang membuat minyak terurai menjadi gas C_2H_2 dan karbon sehingga perlu dilakukan penggantian minyak pada periode tertentu. Sedangkan dengan metoda pemadam *vaccum* proses pemadaman arcing pada waktu *switching* akan dilokalisir dan tidak merusak minyak.



a

b

(a. Media Pemadam Arcing menggunakan Minyak, b. Media Pemadam Arcing menggunakan kondisi *vaccum*)

Gambar 2.18 Kontak *Switching* pada Diverter Switch

2.3.8 NGR (*Neutral Grounding Resistor*)

Salah satu metoda pentanahan yang digunakan pada transformator adalah dengan menggunakan NGR atau *Neutral Grounding Resistor*. NGR adalah sebuah tahanan atau resistansi yang dipasang serial dengan neutral sekunder pada transformator sebelum neutral tersebut terhubung ke ground/tanah. Tujuan dipasangnya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi neutral ke tanah.

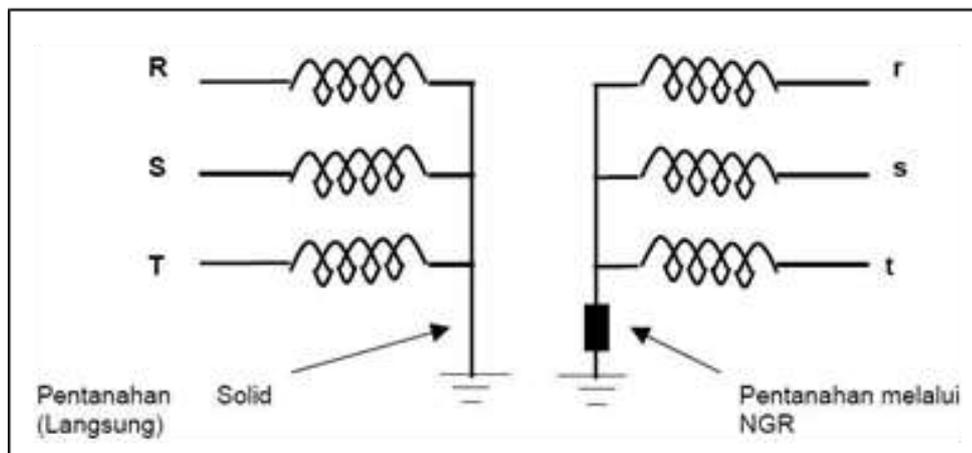
Ada dua jenis NGR yaitu:

1. Liquid

Berarti resistornya menggunakan larutan air murni yang ditampung di dalam bejana dan ditambahkan garam (NaCl) untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan.

2. Solid

Sedangkan NGR jenis padat terbuat dari *Stainless Steel*, *FeCrAl*, *Cast Iron*, *Copper Nickel* atau *Nichrome* yang diatur sesuai nilai tahanannya.



Gambar 2.19 Pentanahan Langsung dan Pentanahan melalui NGR

2.3.9 Proteksi Transformator

1. Rele Bucholz

Pada saat transformator mengalami gangguan pada internal yang berdampak kepada kenaikan suhu yang sangat tinggi dan pergerakan mekanis di dalam trafo, maka akan timbul tekanan aliran minyak yang besar dan menimbulkan pembentukan gelembung gas yang mudah terbakar. Tekanan atau gelembung gas tersebut akan naik ke konservator melalui pipa penghubung dan rele bucholz.

Tekanan minyak maupun gelembung gas ini akan dideteksi oleh rele bucholz sebagai indikasi telah terjadinya gangguan pada internal trafo.

Rele Bucholz adalah perangkat keamanan utama transformator yang terletak dibagian atas antara main tank dan konservator. Rele Bucholz menggunakan alarm atau pemutus sirkuit dengan mendeteksi gas yang dihasilkan atau tekanan internal peledak. Relay ini bekerja pada gas dan minyak yang dioperasikan transformator (rating > 500 kVA).⁶



Gambar 2.20 Rele Bucholz

2. Rele Jansen

⁶ Nurul Azizah, *Analisis Kegagalan Relay Buchholz (96-2) Pada Main Transformers 11/150 KV 39 MVA Di PLTA Sutami Unit 3* (Universitas Gadjah Mada, 2016)

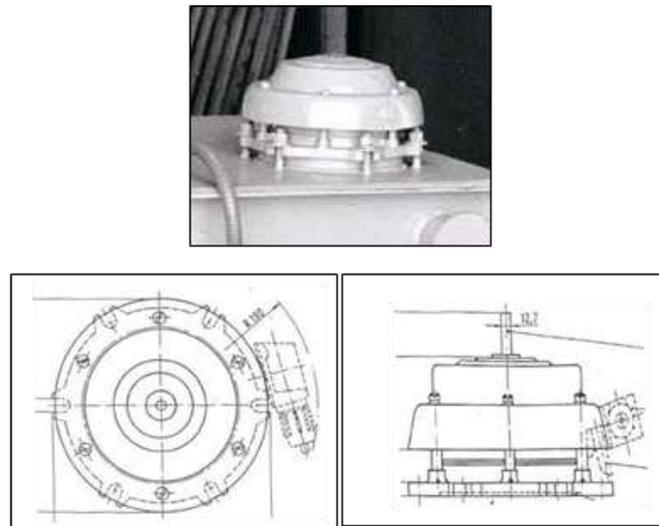
Sama halnya seperti rele Bucholz yang memanfaatkan tekanan minyak dan gas yang terbentuk sebagai indikasi adanya ketidaknormalan / gangguan, hanya saja rele ini digunakan untuk memproteksi kompartemen OLTC. Rele ini juga dipasang pada pipa saluran yang menghubungkan kompartemen OLTC dengan *konservator*.



Gambar 2.21 Rele Jansen

3. Rele Sudden Pressure

Rele sudden pressure ini didesain sebagai titik terlemah saat tekanan didalam trafo muncul akibat gangguan. Dengan menyediakan titik terlemah maka tekanan akan tersalurkan melalui sudden pressure dan tidak akan merusak bagian lainnya pada main tank.

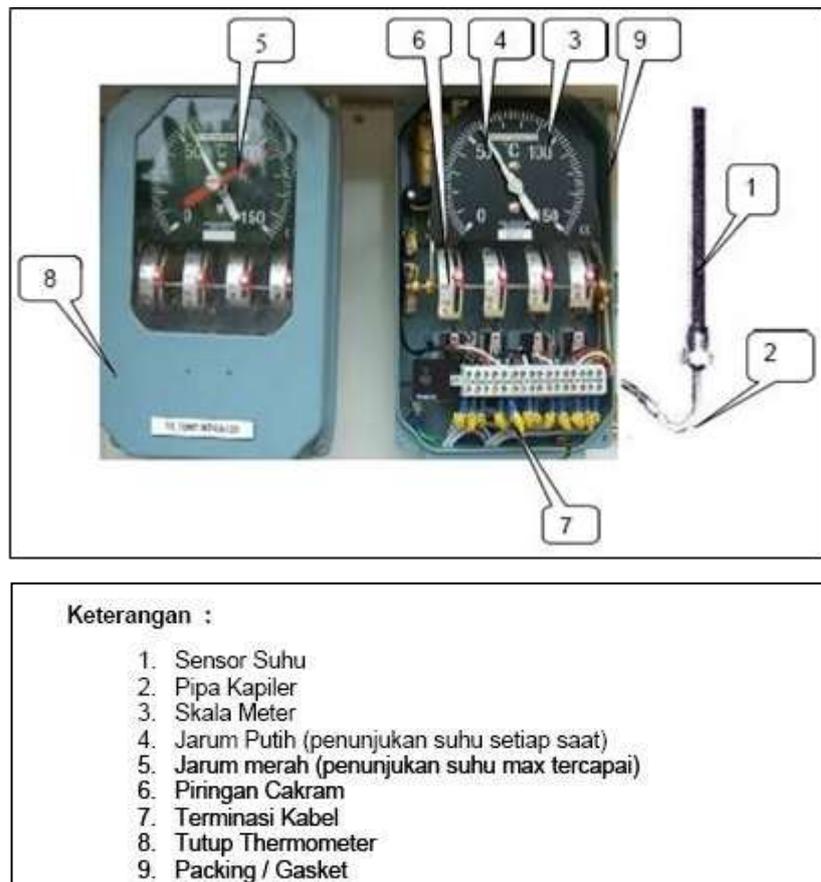


Gambar 2.22 Rele Sudden Pressure

4. Rele Thermal

Besaran nilai suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri serta suhu lingkungan di sekitar transformator. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator.

Untuk mengetahui suhu operasi dan indikasi ketidaknormalan atau anomali suhu operasi pada transformator maka digunakan pengaman suhu yang disebut dengan rele thermal. Rele thermal ini terdiri dari sensor suhu berupa thermocouple, pipa kapiler dan meter penunjukan.



Gambar 2.23 Bagian – Bagian dari Rele Thermal

2.4 Pengujian Tangen Delta

Isolasi yang baik akan bersifat kapasitif sempurna seperti halnya sebuah isolator yang berada diantara dua elektroda pada sebuah kapasitor. Pada kapasitor sempurna, tegangan dan arus fasa bergeser 90° dan arus yang melewati isolasi merupakan kapasitif. Jika ada defect atau kontaminasi pada isolasi transformator, maka nilai tahanan atau resistansi dari isolasi berkurang dan hal ini berdampak kepada tingginya arus resistif yang melewati isolasi tersebut. Isolasi tersebut tidak lagi merupakan kapasitor sempurna. Tegangan dan arus tidak lagi bergeser 90° tapi akan bergeser kurang dari 90° . Besarnya selisih pergeseran dari 90° merepresentasikan tingkat kontaminasi pada isolasi.



2.4.1 Mengapa Pengujian Tangen Delta Diperlukan

Transformator tenaga merupakan peralatan utama dalam sistem penyaluran tenaga listrik, salah satu bagian paling kritis dari transformator tenaga adalah isolasi transformator. Isolasi transformator berupa isolasi kertas, minyak, dan keramik. Seiring dengan usia operasi transformator maka kondisi isolasi dapat mengalami pemburukan, hal ini dapat disebabkan karena tegangan lebih, suhu operasi yang tinggi, hotspot, korona, kontaminasi, kerusakan mekanis maupun kelembaban. Pemburukan atau kegagalan isolasi dapat menyebabkan kegagalan operasi pada transformator atau bahkan kerusakan transformator itu sendiri, oleh karena itu sangat diperlukan untuk mengetahui proses pemburukan pada isolasi sehingga kegagalan trafo dalam beroperasi dapat dihindarkan. Salah satu metode untuk mengetahui proses pemburukan isolasi adalah dengan pengujian tangen delta.

2.4.2 Mode yang Sering Digunakan pada Pengujian Tangen Delta

Pada pengujian tangen delta beberapa mode yang sering digunakan yaitu:

1. Mode GST (*Grounded Speciment Test*).

Mode GST yakni mode pengujian tangen delta yang mana kapasitansi uji yang digunakan sebagai referensi pengukuran nilai tangen delta adalah kapasitansi antara obyek yang diuji terhadap ground.

2. Mode GSTg (*Grounded Speciment Test Guard*).

Mode GSTg yakni mode pengujian tangen delta yang mana kapasitansi pengujian yang digunakan sebagai referensi pengukuran adalah kapasitansi antara obyek yang diuji terhadap ground dan memblok atau membatasi kapasitansi obyek lain (guard) yang dapat mempengaruhi kapasitansi obyek yang akan

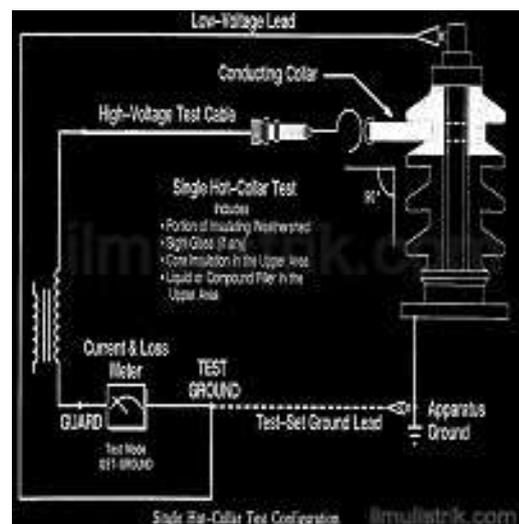
diuji. Mode GSTg ini biasa digunakan untuk pengujian pada peralatan di *switchgear* selain dari transformator, contohnya seperti *lightning arrester*, trafo arus, trafo tegangan, dan pemutus tenaga.

3. Mode UST (*Ungrounded Speciment Test*).

Mode UST yakni mode pengujian tangen delta yang mana kapasitansi uji yang digunakan sebagai referensi pengukuran adalah kapasitansi antara dua obyek yang sama sekali tidak terhubung dengan ground. Mode UST ini adalah mode pengujian yang digunakan untuk pengujian pada transformator.

4. *Hot Collar*.

Mode pengukuran ini sangat efektif untuk mengetahui lokasi keretakan pada porcelain, pemburukan atau kontaminasi pada permukaan bushing seperti lapisan tipis compound, cairan atau sisa compound yang menempel pada bushing. Berikut ini rangkain pengujian dengan metode hot collar :



Gambar 2.25 Skema Pengujian Hot Collar

Rekomendasi dari Doble untuk pengujian *Hot Collar* adalah power dissipasi kurang dari 0.1 watt dengan tegangan uji 10 kV, untuk pengujian beberapa bushing yang setipe arus pengujian



diberikan sama. Apabila diperoleh disipasi daya naik maka mungkin terjadi kontaminasi pada bushing. Sedangkan bila arus mengalami penurunan maka kemungkinan penyebabnya adanya *void* pada bushing atau tingkat minyak bushing terlalu rendah.

2.4.3 Pengujian Tangen Delta pada Isolasi Trafo

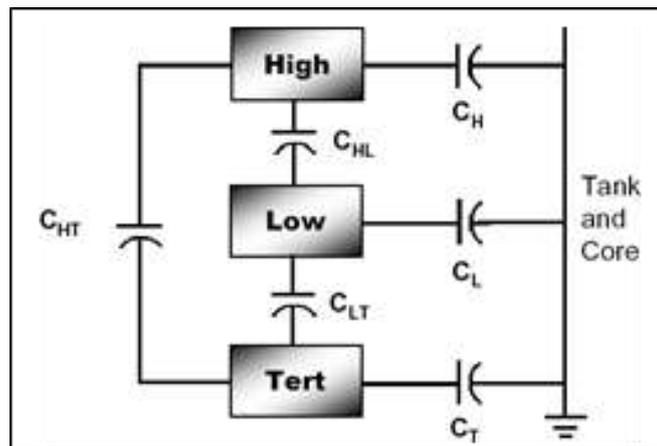
Sistem isolasi trafo secara garis besar terdiri dari isolasi antara belitan dengan ground dan isolasi antara dua belitan. Terdapat tiga metode pengujian untuk trafo di lingkungan PT PLN, yaitu metode trafo dua belitan, metode trafo tiga belitan dan metode autotrafo.

Titik pengujian trafo dua belitan yaitu:

- Primer – Ground (CH).
- Sekunder – Ground (CL).
- Primer – Sekunder (CHL).

Untuk pengujian pada transformator tiga belitan titik pengujiannya adalah:

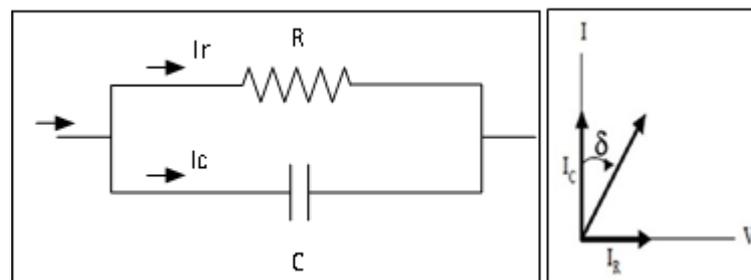
- Primer – Ground.
- Sekunder – Ground.
- Tertier – Ground.
- Primer – Sekunder.
- Sekunder – Tertier.
- Primer – Tertier



Gambar 2.26 Rangkaian Ekivalen Isolasi Trafo

2.4.4 Perhitungan Tangen Delta

Dibawah merupakan gambar rangkaian ekivalen dari sebuah isolasi dan diagram phasor arus kapasitansi dan arus resistansi dari sebuah isolasi. Dengan mengukur nilai I_r/I_c dapat diperkirakan kualitas dari isolasi.



Gambar 2.6 Rangkaian ekivalen isolasi dan diagram phasor arus pengujian tangen delta

Perhitungan tangen delta dapat dilakukan secara manual menggunakan rumus berikut ini :

$$S = \frac{V^2}{Z} \quad (1)$$

$$Z = \frac{V^2}{S} \quad (2)$$

$$X_c = \frac{V^2}{Q} \quad (3)$$



Dimana untuk mencari X_c :

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \quad (4)$$

Untuk daya aktif :

$$P = I_R \times V = \frac{V}{R} \times V = \frac{V^2}{R} \quad (5)$$

Untuk daya reaktif :

$$Q = I_C \times V = \frac{V}{X_c} \times V = \frac{V^2}{X_c} \quad (6)$$

Sehingga,

$$\tan \delta = \frac{P}{\frac{V^2}{X_c}} = \frac{P \times X_c}{V^2} \quad (7)$$

Maka dapat dirumuskan :

$$\tan \delta = \frac{P \times \frac{1}{\omega C}}{V^2} = \frac{P}{V^2 \omega C} \times 100 \quad (8)$$

Keterangan :

δ = Delta

P = *Losses* Daya (Watt)

V = Tegangan Uji (Volt)

C = *Capacitance* (F)

X_c = Reaktansi Kapasitansi

ω = $2\pi f$

Dimana P merupakan *losses* daya yang disebabkan oleh arus resistif (I_r) yang timbul akibat pemburukan nilai tahanan isolasi karena *corona* dan karbon, juga kontaminasi dalam media isolasi transformator pada transformator daya yang akan diuji tersebut. Jadi semakin besar nilai R dalam media isolasi peralatan maka akan semakin besar *losses* daya yang akan timbul, semakin besar *losses* daya yang timbul itu mengindikasikan bahwa semakin menurunnya nilai isolasi peralatan tersebut.



2.4.5 Analisa Hasil Pengujian Tangen Delta

Nilai maksimum dari hasil pengujian tangen delta yang diijinkan untuk belitan trafo dan bushing berturut-turut diperlihatkan pada tabel di bawah. Di atas nilai tersebut maka trafo dinyatakan bermasalah, untuk selanjutnya disarankan perbaikan atau bila tidak memungkinkan adanya perbaikan maka trafo wajib untuk diganti.

NO.	HASIL UJI	KETERANGAN
1.	$\leq 0,5 \%$	Baik
2.	$0,5 \% - 0,7 \%$	Mengalami Penurunan
3.	$\geq 0,7 \%$	Jelek

Tabel 2.1 Batas Nilai Maksimum Tangen Delta Belitan

No.	Referensi	Resin Impregnated Paper (RIP)	Oil Impregnated Paper (OIP)	Resin Bonded Paper (RBP)
1.	IEC 60137 – DF Tan δ	$< 0,7 \%$	$< 0,7 \%$	$< 1,5 \%$
2.	IEEE C57.19.01 – PF cos δ	$< 0,85 \%$	$< 0,5 \%$	$< 2 \%$
No.	Referensi	Resin Impregnated Paper (RIP)	Oil Impregnated Paper (OIP)	Resin Bonded Paper (RBP)
3.	CIGRE TB 445	2 kali nilai awal/baru (pengujian lebih sering/penggantian)		
4.	Kisaran Peralatan Baru	$0,3 - 0,4 \%$	$0,2 - 0,4 \%$	$0,5 - 0,6 \%$

Tabel 3.3 Batasan Nilai Maksimum Tangen Delta Bushing



Catatan: 50/60 Hz pada 20oC

Apabila tidak ada nilai rekomendasi dari pabrikan atau standar yang lain, tabel berikut dapat digunakan sebagai rekomendasi nilai batasan hasil pengujian kapasitansi bushing.

Referensi	Batasan	Rekomendasi
CIGRE TB 445	+ 10 %	Penggantian Bushing
IEEE C57.19.01	- 1 %	Penggantian Bushing

Tabel 3.4 Batasan Nilai Maksimum Kapasitansi Bushing Trafo
(Rekomendasi ABB)

Bushing perlu diusulkan penggantian apabila nilai batasan pada tabel di atas terlampaui dan disarankan untuk melakukan pengujian tan delta dengan variasi tegangan uji yang berbeda, yaitu 2, 4, 6, 8, dan 10 kV atau yang sering disebut dengan *tip up voltage test* untuk validasi hasil pengujian tangen delta pada bushing transformator. Apabila batasan sudah jauh terlampaui (1% untuk bushing tipe OIP) maka diperlu perlukan adanya penggantian bushing transformator segera.