

# STUDI ANALISIS KETAHANAN ISOLASI PADA TRANSFORMATOR DI GARDU INDUK LABUHAN

Oleh :

Jhonson M. Siburian<sup>1)</sup>  
Jumari Tekad Maleakhi Buulolo<sup>2)</sup>  
Universitas Darma Agung Medan<sup>1,2,3)</sup>

*E-mail:*

[jhonsonsiburian@gmail.com](mailto:jhonsonsiburian@gmail.com)<sup>1)</sup>  
[62jumariesk@gmail.com](mailto:62jumariesk@gmail.com)<sup>2)</sup>

## ABSTRAK

Transformator merupakan peralatan utama dalam sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan sistem transmisi dan distribusi listrik. Salah satu bagian yang paling penting dari transformator daya adalah sistem isolasinya. Seiring dengan usia dan pengoperasiannya kondisi isolasi dapat mengalami pemburukan yang dapat menyebabkan kegagalan operasi dan kerusakan pada transformator. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kondisi kualitas tahanan isolasi pada transformator daya. Data ini merupakan hasil pengujian indeks polarisasi, rasio tegangan, tangen delta, dan pengujian tegangan tembus minyak. Sehingga dapat menjaga kualitas Transformator dan menjaga life time Transformator dari suhu yang berlebihan.

**Kata Kunci: Transformator, isolasi, pengujian**

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik akan terus bertambah seiring dengan perkembangan jaman, sehingga dibutuhkan pasokan energi listrik secara kontinu. Pasokan Listrik di suplai dari pembangkit dan disalurkan melalui transmisi, transformator, distribusi sampai ke konsumen.

Transformator daya adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya untuk menaikkan atau menurunkan tegangannya sesuai spesifikasi dan kebutuhan sehingga dapat menyalurkan energi listrik secara kontinu. Salah satu bagian yang paling penting dari transformator daya adalah sistem isolasinya. Isolasi trafo berfungsi untuk memisahkan dua bagian yang bertegangan.

Seiring dengan dengan usia pengoperasiannya kondisi isolasi transformator dapat mengalami pemburukan. Pemburukan isolasi dapat menyebabkan kegagalan operasi dan kerusakan pada transformator. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti tegangan lebih, kelembaban, suhu operasi yang tinggi maupun kerusakan mekanis. Pengujian

tahanan isolasi dapat dipengaruhi oleh suhu, kelembapan, dan jalur bocor atau bisa juga kotoran yang terdapat pada bushing atau isolator.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 1.1. Bahan Isolasi

Bahan isolasi merupakan suatu peralatan yang digunakan sebagai pembatasan dan pengamanan pada peralatan listrik yang mempunyai kekuatan yang cukup untuk menjamin sistem keselamatan yang diperlukan pada saat peralatan listrik tersebut beroperasi maupun tidak beroperasi. Bahan isolasi yang digunakan adalah : bahan isolasi gas, bahan isolasi padat, bahan isolasi cair.

Koordinasi isolasi untuk menentukan kesesuaian yang diperlukan antara daya isolasi alat-alat listrik dan karakteristik alat-alat pelindung terhadap tegangan lebih, yang masing-masing ditentukan oleh tingkat ketahanan impuls dan tingkat perlindungan impulsnya. Koordinasi dilakukan dengan beberapa pertimbangan yaitu :

1. penentuan sifat ganguan

2. penentuan daya isolasi peralatan seperti, isolator, bushing, dan trafo
3. penentuan tegangan impuls standart karakteristik alat-alat pelindung seperti CB, Arrester
4. penentuan tingkat isolasi impuls dasar (BIL) yang disingkat Basic Impuls Insulation Level. BIL ini merupakan suatu besar tegangan yang masih mampu ditahan oleh peralatan listrik, atau kemampuan peralatan listrik menahan tegangan maksimum pada saat terjadi tegangan lebih

## 2.2. Bahan Isolasi Padat

Bahan isolasi padat adalah bahan isolasi yang terbentuk padat. Ada beberapa jenis bahan isolasi padat seperti kayu, kertas, gelas, keramik dan lain-lain.



Gambar 2.1 bahan isolator padat

### 1. Kayu

Pada tahun-tahun yang silam, kayu banyak digunakan sebagai isolator misalnya untuk tiang listrik, karena terdapat dimana-mana dan harganya murah. Sekarang kayu banyak terdesak oleh besi, beton, dan bahan sintetis. Kelebihan kayu adalah kekuatan mekanisnya cukup tinggi tergantung dari macam dan kerasnya kayu, tetapi kelemahannya adalah menyerap air, dapat rusak karena hama dan penyakit serangga sehingga mudah rapuh.

### 2. Kertas

Bahan dasar kertas adalah selulosa, dimana bahan ini adalah zat sel tumbuh-tumbuhan yang terdapat antara kulit dan batangnya. Selulosa ini berserat, fleksibel, lunak dan menyerap air, sedangkan bahan pembuat kertasnya diambil dari kayu, merang, rami, majun (sisa tekstil) dan lain-

lain. Kertas yang terlalu kering atau lembab, kekuatan isolatornya berkurang karena kertas sangat menyerap cairan, sehingga untuk mengatasinya kertas dilapisi lak isolator.

### 3. Gelas

Gelas merupakan isolator yang baik untuk arus listrik, tetapi kekuatan mekanisnya kecil dan sangat rapuh tidak seperti keramik. Pemakaian dalam teknik listrik antara lain untuk pembuatan bola lampu pijar, thermometer-kontak dan lain-lain.

### 4. Keramik

Keramik dibuat dari bahan galian dengan melalui proses pemanasan, kemudian dijadikan barang keramik. Keramik yang digunakan harus mempunyai daya sekat yang besar dan dapat menahan gaya mekanis yang besar seperti porselin dan steatite. Bahan isolator dari porselin seperti: isolator lonceng, isolator mantel, isolator cincin, isolator tegangan tinggi, sekering pipa porselin, dan lain-lain.

## 2.3. Bahan Isolasi Cair

Bahan isolasi cair adalah bahan yang dapat berubah bentuk dengan mudah mengikuti bentuk wadahnya. Bahan isolasi cair digunakan pada peralatan-peralatan listrik seperti transformator, kapasitor, dan pemutus daya. Selain menjadi isolasi juga berfungsi sebagai pendingin bagi peralatan. Untuk melaksanakan tugasnya sebagai bahan isolasi maka bahan-bahan isolasi cair yang digunakan harus mempunyai tegangan tembus yang tinggi. Beberapa alasan digunakan bahan isolasi cair adalah sebagai berikut :

1. isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali lebih dibandingkn dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi menurut hukum Paschen.
2. isolasi cair akan mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi dan secara serentak melalui proses konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi energy.

3. isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri jika terjadi pelepasan muatan namun kekurangan utama isolasi adalah mudah terkontaminasi.



Gambar 2.2. bahan isolasi cair

#### 2.4. Bahan isolasi gas

Bahan Isolator Gas adalah bahan yang dapat menyesuaikan bentuk pada wadah dan memenuhi wadah tersebut. Bahan Isolator gas diantaranya adalah Nitrogen, Hidrogen dan Carbondioksida (CO<sub>2</sub>), dan lain-lain.

Berdasarkan kekuatan dielektrik, rugi-rugi dielektrik, stabilitas kimia, korosi, dll, isolator gas dapat diklarifikasikan menjadi :

1. Gas sederhana, contohnya: udara, nitrogen, helium, hydrogen, dll
2. gas oksida, contohnya: gas karbondioksida, gas sulphur dioksida
3. Gas hidrokarbon, contohnya : methane, ethane, propana, dll
4. Gas elektronegatif, contohnya : gas sluphur hexaflorida, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>



Gambar 2.3 Gambar isolasi gas sebagai isolasi

#### 2.5. Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, seperti merubah tegangan dari 150 KV ke 20 KV ataupun menaikkan Tegangan dari 11 KV ke 150 KV. Transformator bekerja berdasarkan prinsip Induksi Elektromagnet dan tegangan bolak balik (AC).

Transformator menaikkan listrik yang berasal dari pembangkit listrik PLN hingga ratusan kilo Volt untuk di distribusikan, dan kemudian Transformator lainnya menurunkan tegangan ke tegangan yang diperlukan oleh konsumen.



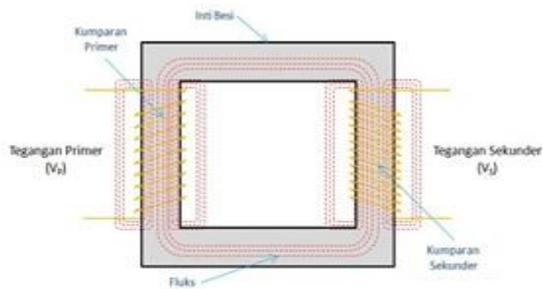
Gambar 2.4 Transformator

#### 2.6. Prinsip kerja transformator

Prinsip kerja trafo yaitu kumparan primer dialiri arus AC (bolak-balik) maka akan menimbulkan medan magnet atau fluks magnetik disekitarnya. Kekuatan Medan magnet (densitas Fluks Magnet) tersebut dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang dialirinya. Semakin besar arus listriknya semakin besar pula medan magnetnya. Fluktuasi medan magnet yang terjadi di sekitar kumparan pertama (primer) akan menginduksi GGL (Gaya Gerak Listrik) dalam kumparan kedua (sekunder), dan terjadilah pengubahan tegangan listrik dari tegangan rendah menjadi tegangan tinggi maupun sebaliknya.

Sedangkan Inti besi pada Transformator atau Trafo pada umumnya adalah kumpulan lempengan-lempengan besi tipis yang terisolasi dan ditempel berlapis - lapis dengan kegunaanya untuk mempermudah jalannya Fluks Magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik kumparan serta untuk mengurangi suhu panas yang ditimbulkan.

Dibawah ini adalah fluks pada transformator



Gambar 2.5 Flux pada transformator

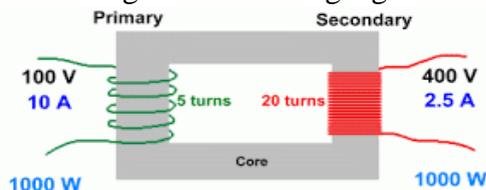
Rasio lilitan pada kumparan sekunder terhadap kumparan primer menentukan rasio tegangan pada kedua kumparan tersebut. Sebagai contoh, 1 lilitan pada kumparan primer dan 10 lilitan pada kumparan sekunder akan menghasilkan tegangan 10 kali lipat dari tegangan input pada kumparan primer. Jenis Transformator ini biasanya disebut dengan Transformator Step Up. Sebaliknya, jika terdapat 10 lilitan pada kumparan primer dan 1 lilitan pada kumparan sekunder, maka tegangan yang dihasilkan oleh kumparan Sekunder adalah 1/10 dari tegangan input pada Kumparan Primer. Transformator jenis ini disebut dengan Transformator Step Down.

### 2.7. Jenis transformator

Transformator dibagi menjadi dua yaitu transformator step up dan step down yaitu :

#### a. Transformator step up

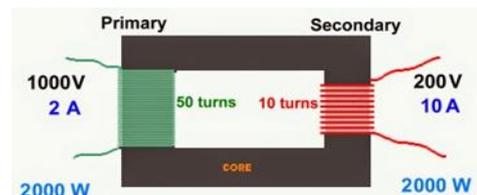
Trafo Step Up ialah Trafo yang berfungsi untuk menaikkan level tegangan dari rendah ke tegangan tinggi. Komponen tegangan sekunder dijadikan tegangan Output yang lebih tinggi yakni dapat ditingkatkan dengan cara memperbanyak lilitan di kumparan sekundernya sehingga jumlah lilitan kumparan primer lebih sedikit. Trafo step up ini digunakan sebagai penghubung trafo generator ke grid di dalam tegangan listrik.



Gambar 2.6 Transformator step up

#### b. Transformator step down

Trafo Step Down ialah Trafo yang berfungsi menurunkan level tegangan dari tegangan tinggi menjadi tegangan rendah. Pada Trafo jenis ini, Rasio untuk jumlah lilitan pada kumparan primer lebih banyak daripada jumlah lilitan pada kumparan yang sekunder.



Gambar 2.7 Step down transformator

### 2.8. Jenis gangguan transformator

Jenis gangguan pada transformator antara lain:

#### 2.8.1. Gangguan dalam ( internal fault )

Internal Fault adalah gangguan yang bersumber dari dalam transformator itu sendiri. Gangguan ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Incipient faults
  - a. Terjadinya busur api yang kecil dan pemanasan local yang akan disebabkan oleh:
    - penyambungan kumparan yang kurang baik
    - kerusakan isolasi dari penjempit inti
  - b. Gangguan pada sistem pendingin

Semua gangguan tersebut diatas akan menyebabkan terjadinya pemanasan lokal tetapi tidak mempengaruhi suhu transformator secara keseluruhan. Gangguan ini tidak dapat terdeteksi dari terminal transformator karena keseimbangan arus tegangan tidak berbeda dengan kondisi normal.

#### 2. Gangguan hubung singkat

Pada umumnya gangguan ini dapat segera terdeteksi karena akan selalu timbul arus/tegangan yang tidak normal/tidak seimbang.

Jenis gangguan antara lain:

- ✓ hubung singkat fasa ke tanah

- ✓ hubung singkat antar fasa ke tanah pada kumparan yang sama
- ✓ gangguan pada terminal transformator

### 2.8.2. Gangguan luar

Gangguan eksternal yaitu gangguan yang terjadi diluar transformator tenaga (pada sistem tenaga listrik) tetapi berimbas terhadap transformator tersebut. Gangguan - gangguan yang dapat digolongkan dalam gangguan eksternal ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Gangguan hubung singkat

Gangguan hubung singkat diluar transformator ini dapat segera dideteksi karena timbulnya arus yang sangat besar dapat mencapai beberapa kali arus nominalnya, seperti:

- ✓ hubung singkat di rel
- ✓ hubung singkat pada penyulang
- ✓ hubung singkat pada incoming feeder transformator tersebut

#### 2. Beban lebih

Transformator tenaga beroperasi secara terus menerus pada arus beban nominalnya. Apabila beban yang dilayani diatas 80%, maka akan terjadi pembebanan lebih. Hal ini dapat menimbulkan pemanasan yang berlebih. Kondisi ini akan menimbulkan kerusakan, apabila berlangsung secara terus menerus dan akan memperpendek umur isolasi.

#### 3. Gelombang surja

Gelombang surja dapat terjadi karena petir yang menyambar jaringan transmisi dan kemudian akan merambat ke gardu terdekat dimana transformator tenaga terpasang. Walaupun hanya terjadi dalam kurun waktu sangat singkat (beberapa puluh mikrodetik), akan tetapi karena tegangan puncak yang dimiliki cukup tinggi dan energi yang dikandungnya besar, maka ini dapat menyebabkan kerusakan pada transformator tenaga.

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1. Lokasi Dan Waktu Penelitian

Dalam melakukan penelitian, lokasi yang dipilih sebagai tempat penelitian yaitu : PT. PLN (Persero) Unit Induk P3B Sumatera UPT Medan Gardu Induk Labuhan.

**Tabel 3.1. Alur waktu & penelitian**

No.	Kegiatan	Waktu
1.	Studi Literatur	20-31 Februari 2020
2.	Perizinan Penelitian	01-05 Maret 2020
3.	Pengambilan Data	11-16 April 2020
4.	Pengolahan Data	04 Mei 2020 s.d. 15 Juni 2020
5.	Penyelesaian Laporan	20 Juni 2020 s.d 29 Juli 2020

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode sebagai berikut :

#### 1. Studi Literatur

Buku referensi, tulisan maupun jurnal yang mendukung penelitian.

#### 2. Perizinan Penelitian

Dalam hal ini penulis melakukan perizinan di PT. PLN (Persero) Unit Induk P3B Sumatera UPT Medan Gardu Induk Labuhan.

#### 3. Pengambilan Data

Pengambilan data diambil dari hasil data uji di perusahaan yang bersangkutan.

##### 3..1.1. Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari perusahaan, diolah untuk mengetahui ketahanan isolasi transformator.

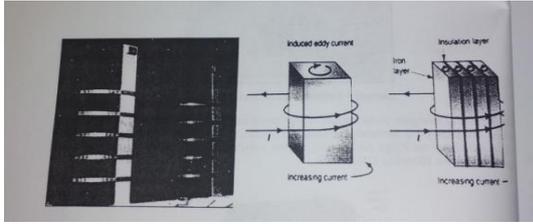
##### 3..1.2. Penyelesaian Data

Setelah data dan kesimpulan diperoleh, maka dibuat penyelesaian laporan.

### 3.2. Bagian – Bagian Transformator :

#### 3.2.1. Electromagnetik Circuit ( inti besi )

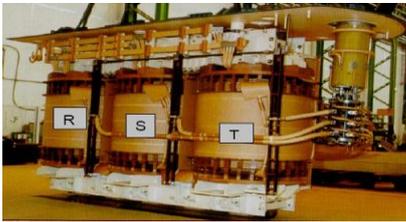
Inti besi digunakan sebagai media mengalirnya flux yang timbul akibat induksi arus bolak-balik kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain.



Gambar 3.1 inti besi.

### 3.2.2. Current Carrying Circuit (Winding)

Belitan terdiri dari tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnetik.



Gambar 3.2 Winding

### 3.2.3. Bushing

Bushing Isolator tersebut berfungsi sebagai penyangkal antara konduktor bushing dengan body main tank trafo. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator.



Gambar 3.3 Bushing

### 3.2.4. Minyak Transformator

Minyak sebagai isolator berfungsi mengisolasi kumparan di dalam transformator supaya tidak terjadi loncatan bunga api listrik akibat tegangan tinggi. Minyak juga sebagai pendingin berfungsi mengambil panas yang ditimbulkan saat transformator berbeban lalu melepaskannya dan melindungi komponen di dalamnya terhadap oksidasi dan korosi.

Standart minyak trafo dengan kualitas baik yaitu :

#### 1. Kejernihan

Kejernihan minyak isolasi tidak boleh mengandung suspense atau endapan (sendimen)

#### 2. Massa jenis

Massa jenis dibatasi agar air dapat terpisah dari minyak isolasi dan tidak melayang

#### 3. Titik nyala

Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi zat gambar yang akan menggunakan minyak isolasi.

#### 4. Titik tuang

Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi.

#### 5. Viskositas kinematika

Viskonitas memegang peranan penting dalam pendingin, yakni untuk menentukan kelas minyak.

### 3.3. Pendingin

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 skrip-skrip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.

Tabel 3.2 Sistem pendingin Trafo

No	macam sistem pendingin	Media			
		Dalam trafo		Diluar trafo	
		Secara Alamial	secara paksa	secara alamiah	secara 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		Air
8	ONAN/ ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/ OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/ OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/ OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

### 3.4. Penyebab Gangguan Trafo

#### 3.4.1. Arus Lebih Akibat Petir

Gangguan ini terjadi akibat sambaran petir yang mengenai kawat fasa menyebabkan belitan trafo rusak. Hal ini dapat terjadi karena arrester yang terpasang tidak berfungsi dengan baik, akibat kerusakan peralatan/pentanahan yang tidak ada.

#### 3.4.2 Overload dan Beban Tidak Seimbang

Trafo dibebani dengan kapasitas yang maksimal diatas 80 %, sehingga menyebabkan panas pada belitan trafo yang menyebabkan rusaknya isolasi pada kumparan trafo.

#### 3.4.3 Loss Contact Pada Terminal Bushing

Gangguan ini disebabkan kelonggaran pada hubungan kawat fasa (kabel skun) dengan terminal bushing trafo, menyebabkan tidak stabilnya aliran listrik dan menimbulkan panas yang menyebabkan kerusakan belitan trafo.

#### 3.4.4 Isolator Bocor / Bushing pecah

Gangguan dapat disebabkan oleh:

##### a) Flash Over

Flash over terjadi akibat sambaran petir atau surja hubung. Bila besar surja tegangan yang timbul menyamai atau melebihi ketahanan impuls isolator, maka kemungkinan akan terjadi flash over pada bushing. Flash over menyebabkan loncatan busur api antara konduktor dengan bodi trafo sehingga

mengakibatkan hubungan singkat fasa ke tanah.

##### b) Bushing Kotor

Kotoran pada permukaan bushing dapat menyebabkan terbentuknya lapisan tipis di permukaan bushing. Kotoran ini dapat mengakibatkan jalannya arus melalui permukaan bushing pada saat lembab maupun hujan sehingga terjadi arus bocor antara konduktor dengan bodi trafo.

#### 3.4.5 Kegagalan Isolasi Minyak Trafo/ Packing Bocor

Kegagalan isolasi minyak trafo dapat terjadi akibat penurunan kualitas hal ini disebabkan oleh:

- 3..1.2.1. packing bocor, sehingga air masuk dan volume minyak trafo berkurang
- 3..1.2.2. karena umur minyak trafo sudah tua.

### 3.5 Analisa Hasil Pengujian Saat Trafo Mengalami Gangguan

#### 3.5.1 Pengujian Tegangan Tembus Minyak

Pengujian tegangan tembus dilakukan untuk mengetahui kemampuan minyak isolasi dalam menahan stress tegangan. Pengujian ini dapat menjadi indikasi keberadaan kontaminan seperti kadar air dan partikel lain. Rendahnya nilai tegangan tembus dapat mengindikasikan keberadaan salah satu kontaminan tersebut dan tingginya tegangan tembus belum tentu juga mengindikasikan bebasnya minyak dari semua jenis kontaminan.

Terdapat beberapa metode pengukuran tegangan tembus pada minyak berdasarkan standart, dimana metode pengujian menggunakan bentuk dan jarak antar elektroda:

1. IEC 60156-02 tahun 1995, dengan elektroda mushroom dengan jarak elektroda 2,5 mm (yang umum digunakan pln).

- ASTM D1816 – 12 ( VDE electrode ) dengan elektroda mushroom dengan jarak 1 atau 2 mm.
- ASTM D877 – 02 tahun 2007 ( disc-electrodes ) dengan elektroda silindrical dengan jarak electrode 2.54 mm.



Gambar 3.4. alat pengujian tegangan tembus

**Tabel 3.3. Pengujian tegangan tembus minyak**

No	Uraian kegiatan	Hasil pengujian						Rata-rata
		Tes suhu	1	2	3	4	5	
1	Minyak bawah	40,5	65,4	68,4	71,1	68,2	73,5	64,5
2	Minyak OLTC	57,1	44,4	56,7	58,0	58,5	51,4	54,4

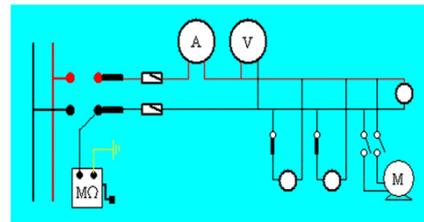
### 3.5.2. Pengukuran Tahanan Isolasi Belitan Trafo

Pengukuran tahanan isolasi belitan trafo ialah proses pengukuran dengan suatu alat ukur Insulation Tester (megger) untuk memperoleh hasil (nilai/besaran) tahanan isolasi belitan / kumparan trafo tenaga antara bagian yang diberi tegangan (fasa) terhadap badan (Casis) maupun antar belitan primer, sekunder dan tertier (bila ada). Untuk mengetahui standart harga minimal hasil pengukuran tahanan isolasi suatu peralatan dapat dihitung dengan menggunakan rumus pendekatan :

$$R = \frac{(1000.U)}{Q} . U . 2,5$$

Dimana :

- R : Tahanan isolasi minimal
- U : tegangan kerja
- Q : tegangan megger
- 1000 : bilangan tetap
- 2,5 : faktor keamanan ( apabila baru )



Gambar 3.5 pengukuran tahanan isolasi

**Tabel 3.4. Hasil uji pengukuran tahanan isolasi**

No	Kumparan/belitan trafo	Hasil pengukuran (MΩ)		
		1 menit	10 menit	IP
1	Primer – sekunder	835	1560	1,82
2	Sekunder – tanah	1760	2630	1,49
3	Tertier – tanah	1930	5120	2,65
4	Primer – sekunder	2140	4420	1,94
5	Primer – tertier	4800	7890	1,64
6	Sekunder – tertier	2140	6330	2,95
7	Primer & sekunder – tertier	2400	6800	2,83

Menurut standar VDE minimum besarnya tahanan isolasi kumparan trafo, pada suhu operasi dihitung “ 1 kilo Volt = 1 MΩ (Mega Ohm) “

### 3.5.3. Pengujian/Pengukuran Ratio Tegangan

Untuk mengukur ratio atau perbandingan sebenarnya dari Transformator adalah dengan pengukuran perbandingan ratio arus dan tegangan di sisi Primer dan Sekunder dibandingkan adalah nilai awal ( nilai desainnya, factory report atau site test report ) sehingga dapat diketahui ratio dari alat listrik tersebut masih sesuai atau tidak.

Persamaan dasar transformator adalah :

$$\frac{E2}{E1} = \frac{N2}{N1} = K$$

Dimana :

N2 : banyaknya belitan pada sisi sekunder

N1 : banyaknya belitan pada sisi sekunder

E1 : tegangan pada sisi primer

E2 : tegangan pada sisi sekunder

K : konstanta transformator atau ratio transformator

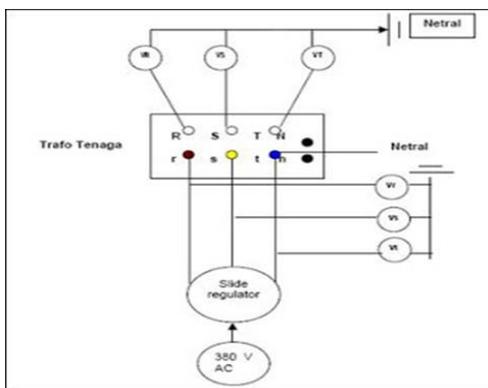
Jika  $N2 > N1$  atau  $K > 1$  maka trafo tersebut berfungsi sebagai penaik tegangan atau step-up transformer, demikian sebaliknya bila  $N2 < N1$  atau  $K < 1$  berfungsi sebagai trafo penurun tegangan atau step-down transformer. Dengan persamaan:

$$\text{Input VA} = \text{Output VA}$$

$$V1 \cdot I1 = V2 \cdot I2$$

atau

$$\frac{I2}{I1} = \frac{V1}{V2} = \frac{1}{K}$$



Gambar 3.6 Rangkaian pengujian ratio tegangan

Hasil dari pengujian ratio tegangan didalam tabel di bawah ini :

**Tabel 3.5. Data hasil pengukuran ratio tegangan**

Posisi Tap	Teg. name plate		Hasil pengukuran						Ratio name plate
	Primer (V)	Sekunder (V)	Rasio (k)			Diff%			
			R	S	T	R	S	T	
13L	168700	22000	7,693	7,692	7,694	0,32	0,31	0,33	7,5341
12L	167300	22000	7,627	7,627	7,627	0,3	0,3	0,3	7,4318
11L	163900	22000	7,361	7,560	7,362	0,27	0,2	0,28	7,3295
10L	164400	22000	7,493	7,494	7,496	0,31	0,29	0,32	7,2273
9L	163000	22000	7,429	7,428	7,429	0,28	0,26	0,28	7,1250
8L	161300	22000	7,363	7,363	7,363	0,31	0,31	0,31	7,0227
7L	160100	22000	7,298	7,297	7,299	0,28	0,27	0,29	6,9205
6L	158700	22000	7,231	7,230	7,232	0,24	0,23	0,25	6,8182
5L	157200	22000	7,166	7,163	7,166	0,29	0,27	0,29	6,7159
4L	155800	22000	7,101	7,099	7,099	0,26	0,24	0,24	6,6136
3L	154300	22000	7,038	7,033	7,035	0,29	0,28	0,30	6,5114
2L	152900	22000	6,968	6,966	6,968	0,26	0,24	0,26	6,4091
1L	131400	22000	6,902	6,900	6,902	0,30	0,27	0,30	6,3068
N	150000	22000	6,836	6,835	6,836	0,26	0,24	0,26	6,2045
13R	148600	22000	6,769	6,768	6,769	0,21	0,20	0,21	6,1023
12R	147100	22000	6,704	6,702	6,704	0,26	0,23	0,23	6,0000
11R	145700	22000	6,637	6,635	6,637	0,22	0,20	0,22	5,8977
10R	144200	22000	6,371	6,371	6,372	0,25	0,25	0,26	5,7985
9R	142800	22000	6,506	6,504	6,307	0,23	0,21	0,24	5,3768

Hasil pengujian rasio tegangan masih sesuai standar SPLN 50 – 1982 yaitu 0,5 % dari rasio tegangan name plate sehingga transformator layak untuk dioperasikan.

### 3.5.4. Pengujian Tangen Delta

Pengujian tangen delta ada beberapa cara yaitu metoda trafo dua belitan, metode tiga belitan dan metode auto trafo.

- Titik pengujian tafo dua belitan yaitu:
  - primer – ground ( CH )
  - sekunder – ground ( CL )
  - primer – sekunder ( CHL )
- Titik pengujian trafo tiga belitan
  - primer – ground
  - sekunder – ground
  - tertier – ground
  - primer – sekunder
  - sekunder – tertier
  - primer – tertier
- Auto trafo, pengujian dilakukan sama dengan metode trafo dua belitan dengan perbedaan dan beberapa pertimbangan yaitu, sisi HV dan LV pada auto trafo dirangkai menjadi satu belitan yang tidak dapat dipisahkan, sehingga bushing HV, LV dan Netral dijadikan satu titik pengujian (primer).

Sisi belitan LV dijadikan sebagai satu titik pengujian (sekunder)

**Tabel 3.6 Data tangen delta**

Meas.	Teg. KV	Arus miliamper	Daya watt	Tan δ %	Cap pF
CH+CHL	10	34,289	1,135	0,33	11024,7
CH	10	11,726	0,4710	0,4	3770,2
CHL(UST)	10	22,538	0,6830	0,3	7246,2
CHL	10	22,561	0,664	0,3	7254,500
CL+CLT	10	55,671	2,093	0,37	17898,8
CL	10	5,658	0,3970	0,7	1819,2
CLT+(UST)	10	49,990	1,673	0,33	16072,9
CLT	10	50,013	1,696	0,34	16072,9

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1. Pengujian Kualitas Minyak Isolasi

Penurunan kualitas kertas isolasi trafo disebabkan oksidasi, sehingga minyak menghasilkan asam. Asam yang bercampur air dan suhu tinggi menyebabkan hidrolisis pada isolasi kertas. Untuk mengetahui kontaminasi tersebut dilakukan pengujian oil quality test (karakteristik).

##### 4.2. Pengujian Tegangan tembus minyak

Pengujian ini untuk menunjukkan baik buruknya tingkat isolasi minyak yang memisahkan kumparan primer dan kumparan sekunder nya agar tidak terjadi tegangan tembus.

Menurut IEC 60156, standart nilai pegujian tegangan tembus minyak trafo sebagai berikut :

**Tabel 4.1 Standart IEC 60156**

Tegangan (kV)	Bagus (kV/mm)	Cukup (kV/mm)	Buruk (kV/mm)
70	>40	30-40	<30
150	>50	40-50	<40
500	>60	50-60	<50

Perhitungan kekuatan dielektrik minyak trafo menggunakan rumus :

$$E_{rata-rata} = \frac{V_b(rata-rata)}{d} \quad (\text{kV/mm})$$

Dimana :

V<sub>b</sub> : Tegangan Tembus (kV)

E : Kekuatan Dielektrik (kV/mm)

D : Jarak Sela (mm)

Perhitungan kekuatan minyak trafo GI Labuhan pada suhu 33 °C :

Minyak Tangki Utama :

$$E_{rata-rata} = \frac{64,5}{2,5} = 25,8 \quad (\text{kV/mm})$$

Minyak OLTC :

$$E_{rata-rata} = \frac{54,4}{2,5} = 22,76 \quad (\text{kV/mm})$$

##### 4.3. Pengukuran Tahanan Isolasi Belitan Trafo

Pengujian ini untuk mengetahui kondisi isolasi suatu peralatan listrik apakah masih baik atau tidak. Acuan sebagai berikut :

**Tabel 4.2. Acuan Indeks Polarisasi**

Kondisi	Indeks polarisasi
Berbahaya	< 1,0
Jelek	1,0 – 1,1
Dipertanyakan	1,1 – 1,25
Baik	1,25 – 2,0
Sangat baik	Di atas 2,0

Dengan perhitungan sebagai berikut :

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

Dimana :

IP : Indek Polarisasi

R<sub>1</sub> : Pengujian di menit ke-1

R<sub>10</sub> : Pengujian di menit ke-10

Berdasarkan hasil data uji di Tabel 3.4, diperoleh indeks polarisasi :

$$IP = \frac{1.560}{835} = 1,86$$

##### 4.4. Pengujian / Pengukuran Tario Tegangan

Pengujian ini untuk mendiagnosa adanya masalah antara belitan dan sistem isolasi pada trafo, dan juga mendeteksi adanya hubung singkat atau ketidak normalan pada tap changer.

Persamaan yang dipakai :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} = K$$

Dimana :

- $N_1$  : Jumlah belitan pada sisi primer
- $N_2$  : Jumlah belitan pada sisi sekunder
- $E_1$  : Tegangan pada sisi primer
- $E_2$  : Tegangan pada sisi sekunder
- $K$  : Konstanta atau ratio transformator

Perhitungan deviasi dengan persamaan :

$$DIFF = \frac{K - K_{name\ plate}}{K_{name\ plate}} \times 100 \%$$

Dimana :

- DIFF : Deviasi (%)
- $K$  : konstanta (rasiotrafo)
- $K_{name\ plate}$  : Rasio name plate

Hasil perhitungan rasio transformator pada tabel 3.5 yaitu :

Rasio name plate :

$$K_{name\ plate} = \frac{168700}{22000} = 7,6681$$

Menghitung deviasi (%)

$$R = \frac{7,693 - 7,6681}{7,6681} \times 100 \% = 0,324$$

$$S = \frac{7,692 - 7,6681}{7,6681} \times 100 \% = 0,3117$$

$$T = \frac{7,694 - 7,6681}{7,6681} \times 100 \% = 0,324$$

Toleransi yang di ijinakan untuk perbedaan ratio tegangan hasil pengukuran adalah 0,5 % dari rasio tegangan name plate.

#### 4.5. Pengujian / Pengukuran Tario Tegangan

Pengujian ini berkaitan dengan kehilangan dielektrik dalam isolasi, untuk memperkirakan tingkat kebasahan, kekeringan ataupun pemburukan pada isolasi trafo. Pengukuran rangkaian tangen delta ada beberapa macam pengukuran tangen delta yaitu:

- UST : Ungrounded Specimen Test (Uji tidak diketanahkan)
- GST : Grounded Speciment Test (Uji diketanahkan)

- GSTg : Grounded Specimen test with guard (Uji terhadap guard)

Perhitungan tangen delta menggunakan rumus :

$$S = \frac{V^2}{Z}$$

$$X_C = \frac{V^2}{Q}$$

Dimana rumus mencari  $X_C$  adalah :

$$X_C = \frac{1}{wC}$$

Sehingga diperoleh :

$$Q = \frac{V^2}{X_C}$$

$$Q = \frac{V^2}{1/wC}$$

$$Q = V^2 wC$$

Jadi rumus tangen delta yaitu :

$$\tan \delta = \frac{P}{Q}$$

Standart acuan hasil pngujain tangen delta dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Hasi luji	Kondisi
$\leq 0,5\%$	Bagus
0,5% - 0,7%	Mengalami penurunan
$\geq 1,0\%$	Jelek

Dimana :

- $\delta$  : Delta
- $P$  : Daya (Watt)
- $V$  : Tegangan (Volt)
- $C$  : Capacitance (F)
- $\omega$  :  $2\pi f$

Dari tabel 3.6 perhitungan tangen delta (CH+CHL) diperoleh :

- $P$  : 1,135 Watt
- $V$  : 10 kV = 10.000 Volt
- $w$  :  $2\pi f$
- $C$  : 11024,7 pF =  $11024,7 \times 10^{-12}$  F

$$\tan \delta = \frac{1,135}{10.000^2 \times 2,3,14 \times 11024,7 \times 10^{-12}} = 0,33 \%$$

Sehingga hasil pengujian tangen delta masih masuk dalam kategori bagus.

## 5. SIMPULAN

1. Transformator di Gardu Induk Labuhan mempunyai kualitas tahanan isolasi yang masih bagus dan masih layak untuk dipakai
2. Rata-rata hasil pengujian tegangan tembus minyak masih dalam kondisi bagus yaitu di atas 40 kV/mm.
3. Pemeliharaan peralatan adalah proses kegiatan yang dilakukan terhadap peralatan instalasi Tenaga Listrik sehingga peralatan dapat beroperasi secara handal, dan kualitas penyaluran tenaga listrik tetap terjaga sesuai karakteristiknya.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

SPLN 49 – 2 : 1982, “Minyak Isolasi”,  
Perusahaan Umum Listrik Negara.

Nugraha Dedi, “kegagalan isolasi minyak trafo,” Media ElektriKA, Vol. 3 No.2,  
Desember 2010.

Abdul, Kadir, "Transformator", P.T Pradnya  
Paramita, Jakarta 1979

Jurnal teknik . vol 32 no. 3 tahun 2011

IEC 60076(1976) “power transformer”,  
1976.

PLN (Persero) “buku petunjuk batasan  
operasi dan pemeliharaan peralatan  
penyaluran tenaga listrik transformator  
tenaga”. Jakarta tahun 2010

Kadir, A., Transformator, Jakarta : Penerbit  
Universitas Indonesia tahun 2010

Suryadiman. Moh, “Pengujian tegangan  
tembus minyak trafo TR 301 fasilitas  
radiometalurgi,” Urania Vol. 12 No. 2  
April 2006.

Indrawan, Ferry. “Training MEGGER  
MIT525 Alat Test Tahanan Isolasi,  
Presentasi”, PT. Guna Elektro, Jakarta.  
2016

Duval, M. “A Review of Faults Detectable  
by Gas-in-Oil Analysis in