

Analisa Kualitas Tahanan Isolasi Transformator Daya

Suganda , Abdul Muis

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional

Jalan Moh Kahfi II, Srengseng Sawah, Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, Jakarta 12630

Suganda@istn.ac.id , amuis_mt@istn.ac.id

ABSTRAK- Tranformator merupakan peralatan listrik statis terdiri dari inti besi berlapis dan belitan yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik, melalui suatu gandengan magnet, berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik dan mengubah tegangan arus bolak balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain dengan frekuensi yang sama menurut standar IEC 60076 -1 tahun 2011. Transformator diharapkan dapat bekerja secara handal oleh karena itu, sebelum transformator dapat digunakan pada sistem tenaga listrik, maka perlu dilakukan beberapa pengujian pada transformator daya. Penelitian ini dengan membahas kualitas tahanan isolasi pada transformator yang dioperasikan di PT. APP PLN (Persero) Gardu Induk Bogor. Fungsi dari isolasi digunakan untuk mengisolasi suatu transformator agar tidak panas yang dapat merusak transformator itu sendiri. Dalam pengujian tahanan isolasi dapat dipengaruhi oleh suhu, kelembapan, dan jalur bocor atau bisa juga kotoran yang terdapat pada bushing atau isolator. Metode pengujiannya indeks polarisasi dihasilkan nilai 1,23 transformator masih dapat dioperasikan, tetapi perlu pengawasan dan pemantauan berkala pada isolasinya, dengan pengujian tangen delta nilai rata-rata 0,39% dibawah standar uji 0,5% dikatakan kualitas tahanan isolasi sangat bagus.

Kata Kunci : Kualitas tahanan isolasi, Indeks polarisasi, Tangen delta

ABSTRACT- The transformer is a static electrical equipment consisting of a layered iron core and windings that can transfer and convert electrical energy from one or more electrical circuits to an electric circuit, through a magnetic coupling, based on the principle of electromagnetic induction and converting alternating current voltage from one level to another. another level with the same frequency according to the IEC 60076 -1 standard in 2011. The transformer is expected to work reliably, therefore, before the transformer can be used in the electric power system, it is necessary to do some tests on the power transformer. This study discusses the resistance quality isolation on the transformer operated at PT. APP PLN (Persero) Bogor Substation. The function of insulation is used to isolate a transformer so that it is not hot which can damage the transformer itself. In testing the insulation resistance, it can be affected by temperature, humidity, and leakage paths or it could be dirt on the bushings or insulators. The test method uses a polarization index to produce a value of 1.23, the transformer can still be operated, but it needs regular supervision and monitoring of its insulation, with tangent delta test average value of 0.39% below the 0.5% test standard said the quality of the insulation resistance is very good.

Keywords: Insulation resistance quality, Polarization index, Tangent delta

I. PENDAHULUAN

Fungsi utama dari sistem tenaga listrik adalah untuk memenuhi kebutuhan energi listrik setiap konsumen secara terus-menerus. Transformator salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang dapat menjaga agar kebutuhan listrik masyarakat dapat terpenuhi secara terus-menerus, oleh karena itu transformator harus dipelihara agar dapat beroperasi secara maksimal dan jauh dari gangguan-gangguan yang dapat membuat kegagalan transformator. Semua instalasi dan peralatan listrik harus dapat beroperasi dengan aman, termasuk yang melibatkan kabel sambungan. Konduktor listrik terisolasi menggunakan bahan dengan hambatan listrik yang tinggi maka kualitas bahan isolasi tersebut berubah dari waktu ke

waktu, sehingga dapat mengakibatkan atau meningkatkan kebocoran arus yang menyebabkan kerusakan pada transformator atau baik dari segi keselamatan kerja orang-orang dan biaya penghentian produksi. Transformator adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik dari suatu nilai tegangan ke nilai tegangan lainnya melalui reaksi medan magnet. Transformator merupakan peralatan listrik yang penting karena berhubungan langsung dengan saluran transmisi dan distribusi listrik serta beban industri maupun beban listrik rumah tinggal.

II. Landasan Teori

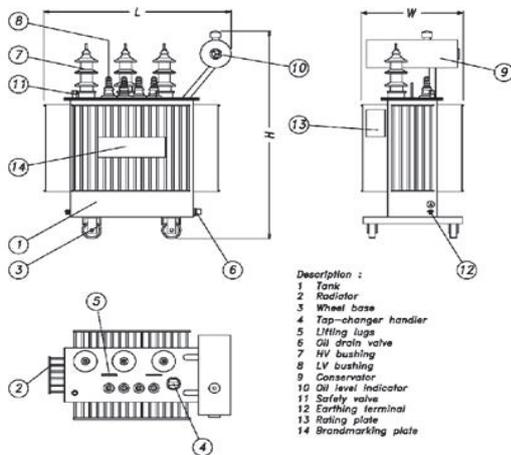
A. Umum

Transformator merupakan suatu alat listrik statis yang

mengubah suatu nilai arus dan tegangan. Pada umumnya transformator terdiri dari suatu inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan utama yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer dan kumparan sekunder terhubung secara magnetik dengan menggunakan fluks magnetik yang terdapat pada inti. Salah satu dari dua kumparan transformator dihubungkan ke sumber energi listrik dan kumparan kedua serta kumparan ketiga jika ada, akan menyuplai energi listrik ke beban. Penggunaan transformator sangatlah luas.

B. Konstruksi Transformator

Transformator memiliki beberapa bagian dan fungsinya. Konstruksi motor induksi dapat dilihat pada gambar 1.

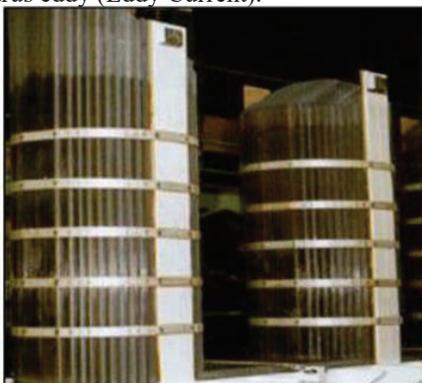


Gambar 1. Konstruksi Transformator

1). Bagian Utama Transformator

a. Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi – rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus eddy (Eddy Current).



Gambar 2. Inti Besi Transformator

b. Belitan Transformator

Belitan terdiri dari batang 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. Belitan Transformator

c. Minyak Transformator

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

d. Bushing

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan body main tank transformator.



Gambar 4. Bushing Transformator

e. Tangki dan Konservator

Pada umumnya bagian – bagian transformator yang terendam minyak transformator ditempatkan di dalam tangki. Untuk menampung pemuaiian minyak transformator, tangki dilengkapi dengan konservator.



Gambar 5. Tangki dan Konservator

2). Peralatan Bantu Transformator

a. Pendingin

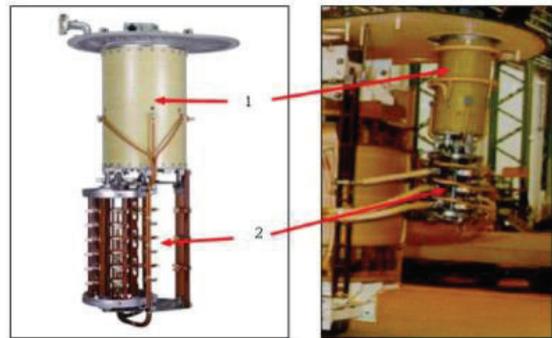
Suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada transformator itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan.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



Gambar 6. Radiator Transformator

b. Tap Changer (Perubah Tap)

Tap changer adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang diinginkan dari jaringan tegangan primer yang berubah - ubah. Tap changer yang bisa beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan transformator tidak berbeban disebut Off Load Tap Changer dan hanya dapat dioperasikan secara manual. Pada gambar 7 contoh dari On load Tap Charger (OLTC) transformator.



(a) (b)

Gambar 7 (a) Kompartemen Diventer Switch

(b) Selektor Switch

c. Alat Pernafasan (Dehydrating Breather)

Akibat pernafasan transformator tersebut maka permukaan minyak akan selalu bersinggungan dengan udara luar. Udara luar yang lembab akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator, maka untuk mencegah hal tersebut pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernafasan berupa tabung berisi kristal zat hygroskopis.

d. Indikator

untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator pada transformator sebagai berikut :

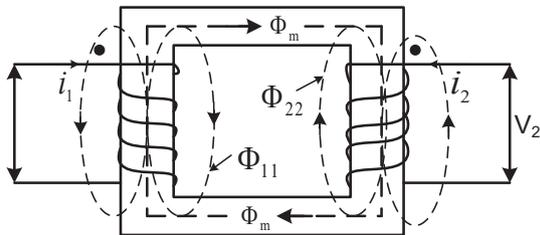
- Indikator suhu minyak
- Indikator permukaan minyak
- Indikator suhu winding
- Indikator kedudukan tap



Gambar 8. Lampu Indikator Transformator

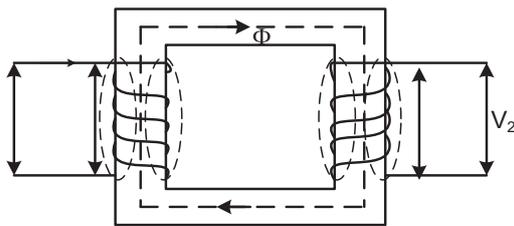
C.Prinsip Kerja Transformator

Prinsip Transformator terdiri dari dua buah belitan atau kumparan yaitu primer dan sekunder yang terpisah secara elektrik namun terhubung dengan fluks atau medan magnet secara magnetik. dimana gaya gerak listrik diinduksikan pada suatu belitan yang melingkupi perubahan fluks seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 9 Aliran Fluks Pada Transformator

Arus listrik bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet, dimana magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan, yang disebut tegangan induksi seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar.10. Prinsip Transformator

Besar tegangan induksi ditentukan menurut hukum faraday yaitu :

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} \tag{1}$$

Bila kumparan sekunder dalam keadaan tidak dibebani, maka di kumparan primer mengalir arus yang disebut dengan arus beban nol (I_0). Arus ini akan membangkitkan fluks bolak-balik pada inti besi. Fluks bolak-balik ini dilingkupi oleh kumparan primer dan kumparan sekunder, sehingga pada kedua kumparan timbul gaya gerak listrik yang besarnya :

$$E_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \tag{2}$$

$$E_1 = -N_1 \frac{d\Phi_m \sin \omega t}{dt} = -\omega N_1 \Phi_m \cos \omega t$$

$$E_1 = -\omega N_1 \Phi_m \cos \omega t = \omega N_1 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) \tag{2}$$

Dari persamaan (2) tegangan induksi sudut fasa tertinggal 90° maka :

$$E_1 = 2\pi f N_1 \Phi_m \tag{3}$$

Maka tegangan efektif sisi primer yaitu :

$$E_1 = N_1 \frac{2\pi f \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 N_1 f \Phi_m \text{ [Volt]} \tag{4}$$

atau

$$E_1 = 4,44 N_1 f B_m \cdot A \text{ [Volt]} \tag{5}$$

Dengan cara yang sama maka tegangan efektif sisi sekunder yaitu :

$$E_2 = 4,44 N_2 f B_m \cdot A \text{ [Volt]} \tag{6}$$

Perbandingan transformator :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{4,44 N_1 f \Phi_m}{4,44 N_2 f \Phi_m} \rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = a \tag{7}$$

Dimana :

- E_1 = Tegangan efektif pada kumparan sisi primer
- E_2 =Tegangan efektif pada kumparan sisi sekunder
- N_1 =Jumlah belitan kumparan primer
- N_2 =Jumlah belitan kumparan sekunder
- f = Frekuensi tegangan sumber (Hz)
- Φ = Fluks magnetik pada inti (weber)
- a = Perndingan transformator

III.PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI TRANSFORMATOR.

A. Umum

Tahanan isolasi (*Insulation Resistance*) adalah ukuran kebocoran arus yang melalui isolasi.Yang bertujuan untuk mengetahui kondisi isolasi antara belitan dengan ground atau antara dua belitan. Metoda yang umum dilakukan adalah dengan memberikan tegangan dc dan merepresentasikan kondisi isolasi dengan satuan *mega Ohm*. Tahanan isolasi yang diukur merupakan fungsi dari arus bocor yang menembus melewati isolasi atau melalui jalur bocor pada permukaan eksternal. Tahanan isolasi dapat dipengaruhi suhu, kelembaban dan jalur bocor pada permukaan eksternal seperti kotoran pada bushing atau isolator.

B.Metode Pengujian Tahanan Isolasi Transformator, yang umumnya dilakukan untuk melakukan pengujian isolasi adalah dengan memberikan tegangan yang memiliki nilai yang lebih tinggi dari tegangan yang biasa mengalir pada penghantar tersebut. *Shutdown testing* atau *measurement* adalah pengujian yang dilakukan pada saat transformator dalam keadaan padam. Pekerjaan ini dilakukan pada saat pemeliharaan rutin maupun pada saat *investigasi* ketidak normalan. Pada dasarnya pengujian tahanan isolasi belitan transformator adalah untuk mengetahui besar kebocoran arus atau *leakage current* yang terjadi pada isolasi belitan pada kumparan primer, sekunder atau tersier. Kebocoran arus yang menembus isolasi peralatan listrik memang tidak dapat dihindari, oleh karena itu, salah satu cara mendeteksi bahwa tranformator cukup aman untuk diberi tegangan adalah dengan mengukur tahanan isolasinya.

C. Metode Indeks Polarisasi

Metode indeks polarisasi adalah metode yang umum dilakukan dengan memberikan tegangan DC dan merepresentasikan kondisi isolasi dengan satuan megohm. Pengujian tahanan isolasi pada transformator dapat dipengaruhi oleh suhu, kelembaban dan jalur bocor pada permukaan eksternal seperti kotoran pada bushing atau isolator.

Ada tiga arus yang mengalir saat sumber DC *steady-state* diberikan pada belitan, yaitu *capacitive current*, *leakage current* dan *absorption current*.

Tujuan dari pengujian *index polarisasi* adalah untuk memastikan peralatan tersebut layak dioperasikan dan biasa digunakan, dalam menunjukkan pembacaan tahanan isolasi transformator dikenal sebagai *dielectric absorption*, yang diperoleh dari pembacaan berkelanjutan untuk periode waktu yang lebih lama dengan sumber tegangan yang konstan. Pengujian *index polarisasi* dilakukan dalam selama 10 menit, karena tahanan isolasi akan mempunyai kemampuan untuk mengisi kapasitansi tinggi ke dalam isolasi transformator, dan pembacaan resistansi akan meningkat lebih cepat jika isolasi bersih dan kering. Rasio pembacaan 10 menit dibandingkan pembacaan 1 menit. Besarnya *indeks polaritas* (IP) dapat dirumuskan sebagai berikut menurut standard IEEE 62-1995 mengenai evaluasi dari isolasi transformer pada persamaan dibawah ini :

$$I_p = \frac{R_{10}}{R_1} \quad 8$$

Dimana :

IP = Indeks Polaritas

R₁ = Nilai tahanan isolasi pengujian menit pertama,

R₁₀ = Nilai tahanan isolasi pengujian pada menit kesepuluh

Jika nilai *indeks polaritas* (IP) terlalu rendah ini mengindikasikan bahwa isolasi telah terkontaminasi oleh kotoran, kelembaban, suhu dan arus bocor. Metode ini digunakan untuk mengetahui kondisi isolasi berdasarkan hasil pengujian tahanan isolasi. Kondisi isolasi berdasarkan *index polarisasi* ditunjukkan pada tabel 1 menurut standard IEEE- 62 tahun 1995:

Tabel 1 Standard Index Polarisasi Transformator

Kondisi	Index Polarisasi
Berbahaya	<1
Jelek	1,0 - 1,1
Dipertanyakan	1,1 - 1,25
Baik	1,25 - 2,0
Sangat Baik	Diatas 2,0

Untuk isolasi belitan yang baik, nilai indeks polarisasi harus minimum 1.25 pada pengukuran di temperatur 20°C.

•Nilai Indeks Polarisasi dibawah diantara 1.25-2,0, peralatan masih dapat dioperasikan, tapi perlu

pengawasan dan pemantauan berkala.

•Nilai Indeks Polarisasi dibawah 1.25, mengindikasikan isolasi belitan peralatan tersebut dalam keadaan basah, kotor atau sudah ada yang bocor. Sehingga perlu dilakukan pembersihan, pengeringan dan refurbish apabila ditemukan kerusakan pada isolasinya.

Batas tegangan untuk mengukur tahanan isolasi instalasi tegangan menengah maupun tegangan rendah adalah :

a. Untuk instalasi tegangan menengah digunakan *insulation resistance* dengan batas ukur *mega ohm* sampai *Giga Ohm* dan tegangan alat ukur antara 5.000 volt sampai dengan 10.000 volt arus searah.

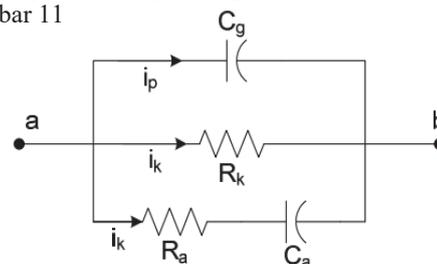
b. Untuk instalasi tegangan rendah digunakan *insulation resistance* dengan batas ukur sampai *mega ohm* dan tegangan alat ukur antara 500 sampai 1.000 Volt arus searah. atau dapat dilihat pada tabel 2 berdasarkan standard menurut IEEE 62-1995. tegangan DC yang diberikan saat pengujian tahanan isolasi tabel 2.

Tabel 2 Standard Tegangan DC Pengujian Tahanan Isolasi.

Tegangan (V)	Tegangan DC Tahanan isolasi (V)
<1.000	500
1.000-2,500	500-1.000
2.501-5.000	1.000-2.500
5,001-12.000	2.500-5,000
>12.000	5.000-10.000

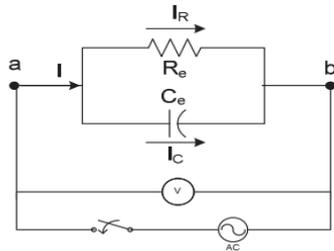
D. Metode Tangen Delta

Metode Jika isolasi bebas dari cacat, maka isolasi mendekati sifat kapasitor yang sempurna. Hal ini sangat mirip dengan kapasitor pelat sejajar dengan konduktor dan netral menjadi dua pelat yang dipisahkan oleh bahan isolasi. Dalam kapasitor yang sempurna, tegangan dan arusnya bergeser 90° dan arus yang melalui isolasi bersifat kapasitif. Jika ada kotoran dalam isolasi, maka hambatan isolasi berkurang, sehingga arus resistif yang melalui isolasi meningkat. Untuk isolasi dengan kerugian dielektrik, sudut ini kurang dari 90°. Sudut $\delta = 90^\circ - \phi$ disebut sebagai sudut rugi dielektrik. Ketika suatu tegangan diterapkan pada suatu dielektrik, akan menimbulkan tiga komponen arus, yaitu arus pengisian, arus absorpsi, dan arus konduksi. Rangkaian rugi-rugi dielektrik harus dapat menampilkan ketiga komponen tersebut seperti pada gambar 11



Gambar.11 Rangkaian ekuivalen suatu dielektrik

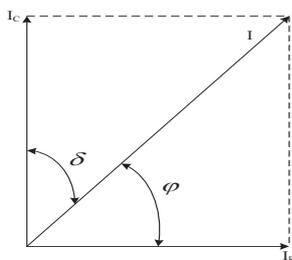
Jika terminal a-b dihubungkan ke sumber tegangan, maka arus pada tiap komponennya h pada gambar 12



Gambar 12 Rangkaian ekivalen dielektrik

Pada Gambar 12 ditunjukkan diagram rangkaian ekivalen dielektrik tahanan isolasi sederhana. C_g adalah kapasitansi geometris, R_k adalah tahanan dielektrik, dan R_a adalah tahanan arus absorpsi dan V adalah tegangan uji. Tegangan yang diterapkan ke komponen paralel menyebabkan arus I_C mengalir melalui kapasitansi serta melalui resistivitas I_R . Maka dari itu, keseluruhan arus I memiliki komponen resistif dan kapasitif.

Pada gambar 13 merupakan diagram fasor $\tan\delta$, dimana garis singgung sudut δ yang diukur menunjukkan tingkat resistansi dari isolasi. Dengan cara mengukur I_R/I_C dapat menentukan kondisi atau kualitas isolasi dari suatu transformator. Bila isolasi yang sempurna, memiliki sudut hampir nol. Jika ada sudut yang meningkat ini mengindikasikan adanya kenaikan arus resistif melalui isolasi, yang berarti adanya kontaminasi, semakin besar sudut, semakin buruk isolasi.



Gambar 13 Arus Dielektrik

Dimana :

- I_C = Arus kapasitor (Ampere)
- I_R = Arus resistansi (Ampere)
- P_d = Power Disappear (Watt)
- $\tan \delta$ = Dissipation factor

Kebocoran arus kapasitif pada bahan isolasi tersebut menyebabkan kerugian dielektrik. Dalam kapasitor sempurna atau ideal $\phi = 90^\circ$ sehingga $\delta = 0$. Oleh karena itu kehilangan daya dielektrik dinyatakan oleh Arus total I pada gambar 12 , arus yang diberikan sumber tegangan kepada rangkaian adalah jumlah vectoris kedua komponen arus tahanan dan arus kapasitor secara matematis dapat ditulis sebagai

berikut :

$$I_R = \frac{V}{R_e} \tag{9}$$

$$I_C = \omega C_e V \tag{10}$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \tag{11}$$

Arus I_R menimbulkan rugi-rugi daya P_d pada resistor R_e , rugi ini disebut rugi-rugi dielektrik oleh karena itu rugi-rugi ini adalah perkalian V dengan I_R atau dapat ditulis :

$$P_d = VI_R = V I \cos\phi = V I \sin\delta \tag{12}$$

Menurut gambar 13 $\cos\delta = \frac{I_C}{I}$ sehingga arus sumber dapat ditulis :

$$I = \frac{I_C}{\cos\delta} \tag{13}$$

Substitusi persamaan 10 ke dalam persamaan 13 :

$$I = \frac{\omega C_e V}{\cos\delta} \tag{14}$$

Substitusi persamaan 14 kedalam persamaan 12 :

$$P_d = \frac{\omega C_e V}{\cos\delta} V \sin\delta = \omega C_e V^2 \tan\delta \tag{15}$$

$$P_d = \frac{\omega C_e V}{\cos\delta} V \sin\delta = V I_C \tan\delta \tag{16}$$

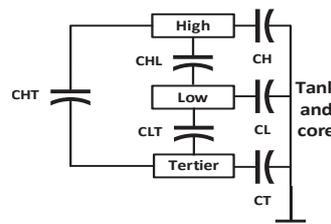
Maka tangen delta :

$$\tan \delta = \frac{P_d}{V I_C} \tag{17}$$

Dimana:

- P_d = Rugi dielektrik (W)
- f = Frekuensi yang diterapkan (Hz)
- C_e = Kapasitansi bushing (C_1), (F)
- V = Tegangan (V)
- $\tan \delta$ = Faktor disipasi, p.u
- I_C = Arus kapasitansi (A)
- I_R = Arus resistansi (A)
- ω = $2\pi f$

Rangkaian ekivalen tangen delta seperti ditunjukkan gambar 14



Gambar 14. Rangkaian ekivalen tangen delta

Keterangan :

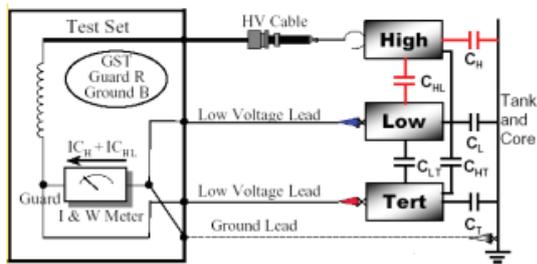
- CH =Capacitance High
- CHG= Capacitance High Ground
- CHL =Capacitance High Low
- CL =Capacitance Low
- CT =Capacitance Tertier
- CHT =Capacitance High Tertier
- CLT =Capacitance Low Tertier
- CLG= Capacitance Low Ground
- CTG =Capacitance Tertier Ground

Metode untuk mengetahui kondisi pemburukan isolasi transformator adalah dengan pengujian tangen delta pada tabel 3 merupakan tabel standard kondisi tangen delta berdasarkan IEC 60137 – DF tan δ:

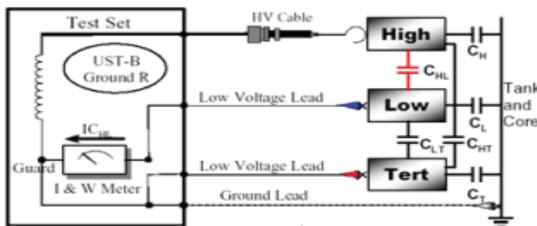
Tabel 3. Standard Pengujian Tangen Delta Tahanan Isolasi

Nilai Tan δ (%)	Kondisi
Kurang dari 0,5	Baik
>0,5 – < 0,7	Mengalami Pemburukan
>0,5 – < 1,0 bertambah	Perlu diinvestigasi
Lebih dari 1,0	Buruk

Rangkaian Pengujian Tangen Delta metode Ground Specimen Test (GST) seperti gambar 15 sedangkan Pengujian Tangen Delta Ungrounding Specimen Test (UST) seperti gambar 16



Gambar.15.Metode Specimen GST



Gambar.15.Metode Specimen UST

Pelaksanaan pengujian tahanan isolasi transformator diambil data di PT APP PLN (Persero) di Gardu Induk Sentul Bogor dengan data pengujian tahun 2018 seperti tabel 5 sedangkan tabel 6 dilaksanak tahun 2016.

Tabel 4. Spesifikasi Data Transformator

Nama	Uraian
Merk	Unindo
Standard	IEC 60076
Tahun	2012
Daya	36/60 MVA
Cooling	ONAN/ONAF – 60/100%
Frekwensi	50 Hz
Type	TTUB. 150/60000
Seri	301110111
Arus Primer	231 A
Arus Sekunder	1732 A
Connection Symbol	yNyn0(d)
Tap Changer	MR VRC III 400Y – 72.5 KV
Phases	3

Tabel 5,Data Pengujian Tahanan Isolasi

No	Aktivitas	Pengujian Tahanan	
		Isolasi (MΩ)	
		Menit 1	Menit 10
1	P-G	2350	2980
2	S-G	1760	2480
3	T-G	2330	3560
4	P-S	2980	3670
5	P-T	1690	3220
6	S-T	1420	3010

Tabel.6.Data Pengujian Tahanan Isolasi

No	Aktivitas	Pengujian Tahanan	
		Isolasi (MΩ)	
		Menit 1	Menit 10
1	P-G	2350	2980
2	S-G	1760	2480
3	T-G	2330	3560
4	P-S	2980	3670
5	P-T	1690	3220
6	S-T	1420	3010

Keterangan :

P=Primer ;S=Sekunder ;G=Ground;T=Tertier

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISA

A. Perhitungan dan Analisa menggunakan metode *index polarisasi*, dimana dilakukan selama 10 menit dan tahanan isolasi akan memiliki kemampuan untuk mengisi kapasitansi tinggi ke dalam isolasi transformator, serta pembacaan resistansi akan meningkat lebih cepat jika isolasi transformator dalam keadaan bersih dan kering.

Perhitungan Indeks Polarisasi sisi Primer - sisi Sekunder dengan persamaan 8

$$IP = \frac{3670}{2980} = 1.23$$

Indeks Polarisasi sisi Primer- Ground persamaan 8

$$IP = \frac{2980}{2350} = 1.27$$

Dengan cara sama perhitungan nilai Indeks Polarisasi dari tabel 6 untuk tahun 2018 dan tabel 7 untuk tahun 2016

Tabel 7.Indeks Polarisasi (IP)Tahun 2018

No	Aktivitas	Pengujian Tahanan		Perhitungan	Kondisi
		Isolasi (MΩ)			
		Menit 1	Menit 10	IP	
1	P-G	2350	2980	1,27	Baik
2	S-G	1760	2480	1,41	Baik
3	T-G	2330	3560	1,53	Baik
4	P-S	2980	3670	1,23	Dipertanyakan
5	P-T	1690	3220	1,91	Baik
6	S-T	1420	3010	2,12	Sangat Baik
Indeks Polarisasi rata-rata				1,58	Baik

Tabel 8.Indeks Polarisasi (IP)Tahun 2016

No	Aktivitas	Pengujian Tahanan		Perhitungan	Kondisi
		Isolasi (MΩ)			
		Menit 1	Menit 10	IP	
1	P-G	3390	4110	1,21	Dipertanyakan
2	S-G	2720	3620	1,33	Baik
3	T-G	3880	5150	1,33	Baik
4	P-S	3800	4190	1,10	Jelek
5	P-T	4520	5960	1,32	Baik
6	S-T	1820	2540	1,40	Baik
Indeks Polarisasi rata-rata				1,28	Baik

Dari hasil perhitungan indeks polarisasi (IP) pada tabel 6 diatas antara sisi primary- sisi sekunder mengalami penurunan yaitu nilai sebesar 1,23, berdasarkan standar uji indeks polarisasi (IP) transformator maka hasil pengukuran tahanan isolasi transformator ini masih dalam keadaan “dipertanyakan” yang artinya kualitas tahanan isolasi tersebut kemungkinan telah terkontaminasi oleh beberapa hal diantaranya kotoran ,kelembaban, suhu dan arus bocor, sehingga diperlukan tindakan pengujian lebih detail atau perlu dilakukan pembersihan, pengeringan dan refurbish apabila ditemukan kerusakan pada isolasinya.

Sedangkan pada hasil perhitungan indeks polarisasi primary – sekunder pada tabel 7 dengan nilai sebesar 1,21 untuk sisi primer dan graound maka nilai IP berdasarkan standar uji indeks polarisasi transformator berada pada standard IP 1,1 – 1,25 dalam keadaan dipertanyakan, sedangkan indeks polarisasi sisi primer dan sisi sekundernya dengan nilai IP 1,1 dalam kondisi jelek tidak sesuai standar. Sehingga perlu dilakukannya pengujian lebih lanjut dengan pengujian *tangen delta*, untuk mengetahui hasil pengujian tersebut apakah teridentifikasi adanya kebocoran arus pada tahanan isolasi atau tidak atau hanya pengaruh dari suhu,

kelembaban dan kotoran. Untuk grafik indeks polirasi transformator tahun 2016 dan tahun 2018 seperti gambar 15



Gambar 15. Grafik indeks polarisasi transformator

Dari grafik diatas terlihat bahwa telah terjadi kenaikan nilai indeks polirasi di sisi primer dan ground sekitar 4,96% masih memenuhi syarat standard IEEE- 62 tahun 1995 dari tahun 2016 ke tahun 2018 sedangkan di sisi primer dan sisi sekunder ada kenaikan hanya sikitar 0,12% ini masih dibawah standar dalam kondisi ini transformator masih dapat operasikan akan tepi perlu pengawasan dan pematauan berkala pada isolasinya.

B.Perhitungan tangan delta dengan menggunakan persamaa 10

Tabel 9.Data Pengamatan Pengukuran Tangen Delta 2016

No	Aktifitas	Metode	Tegangan	Arus	Daya	Capasitansi
Test		Test	(kV)	(mA)	(Watt)	(pF)
1	CHG-CHL	GSTg-B	10	37,115	0,6242	11.819,51
2	CHG	GSTg-RB	10	13,273	0,3251	4.233,64
3	CHL	UST-R	10	23,886	0,2872	7.606,93
4	CHL		10	23,842	0,2990	7.585,87
5	CLG-CLT	GSTg-RB	10	55,985	0,9105	17.831,40
6	CLG	GSTg-RB	10	4,816	0,1722	1.535,33
7	CLT	UST-R	10	51,237	0,7510	16.334,80
8	CLT		10	51,168	0,7380	16.296,07
9	CTG-CHT	GSTg-B	10	121,237	2,0483	38.656,77
10	CTG	GSTg-B	10	70,076	1,3181	22.367,52
11	CHT	GSTg-RB	10	51,289	0,7219	16.343,52
12	CHT		10	51,161	0,7300	16.289,53
13	CHG		10	10,344	0,2450	3.299,63

Besar tangan delta dari persamaan 17 :

$$\tan \delta = \frac{0,6242}{10.000 \times 0,037115} \times 100\% = 0,00168 \times 100\%$$

$$\tan \delta = 0,170\%$$

$$\tan \delta = \frac{0,3251}{10.000 \times 0,013273} \times 100\% = 0,2449\%$$

$$\tan \delta = 0,245\%$$

Dengan cara yang sama nilai tangen delta lihat tabel 10

Tabel 10. Nilai Tangen Delta

No	Aktifitas	Metode	Tegangan	Arus	Daya	Capasitansi	tan δ
Test		Test	(kV)	(mA)	(Watt)	(pF)	%
1	CHG-CHL	GSTg-B	10	37,115	0,6242	11.819,51	0,170
2	CHG	GSTg-RB	10	13,273	0,3251	4.233,64	0,245
3	CHL	UST-R	10	23,886	0,2872	7.606,93	0,012
4	CHL		10	23,842	0,2990	7.585,87	0,013
5	CLG-CLT	GSTg-RB	10	55,985	0,9105	17.831,40	0,016
6	CLG	GSTg-RB	10	4,816	0,1722	1.535,33	0,358
7	CLT	UST-R	10	51,237	0,7510	16.334,80	0,015
8	CLT		10	51,168	0,7380	16.296,07	0,014
9	CTG-CHT	GSTg-B	10	121,237	2,0483	38.656,77	0,169
10	CTG	GSTg-B	10	70,076	1,3181	22.367,52	0,188
11	CHT	GSTg-RB	10	51,289	0,7219	16.343,52	0,141
12	CHT		10	51,161	0,7300	16.289,53	0,143
13	CHG		10	10,344	0,2450	3.299,63	0,237

Tabel 11. Data Pengamatan Pengukuran Tangen Delta 2018

No	Aktifitas	Metode	Tegangan	Arus	Daya	Capasitansi
Test		Test	(kV)	(mA)	(Watt)	(pF)
1	CHG-HL	GSTg-B	10	37,026	0,5976	11.798,76
2	CHG	GSTg-RB	10	13,201	0,3074	4.209,47
3	CHL	UST-R	10	23,841	0,2873	7.600,32
4	CHL		10	23,825	0,2900	7.589,29
5	CLG-CLT	GSTg-RB	10	55,961	0,9263	17.863,81
6	CLG	GSTg-RB	10	4,815	0,1881	1.534,21
7	CLT	UST-R	10	51,296	0,7339	16.349,89
8	CLT		10	51,146	0,7380	16.329,61
9	CTG-CHT	GSTg-B	10	35,497	0,3425	22.612,53
10	CTG	GSTg-B	10	35,264	0,3378	22.461,08
11	CHT	GSTg-RB	10	0,2410	0,0001	153,76
12	CHT		10	0,2330	0,0050	151,45
13	CHG		10	10,274	0,2280	327,95

Besar tangen delta dari persamaan 17 :

$$\tan \delta = \frac{0,5976}{10.000 \times 0,037026} \times 100\% = 0,00161 \times 100\%$$

$$\tan \delta = 0,161\%$$

$$\tan \delta = \frac{0,3024}{10.000 \times 0,013201} \times 100\% = 0,2328 \times 100\%$$

$$\tan \delta = 0,233\%$$

Dengan cara yang sama nilai tangen delta lihat tabel 12

Tabel 12. Nilai Tangen Delta

No	Aktifitas	Metode	Tegangan	Arus	Daya	Capasitansi	tan δ
Test		Test	(kV)	(mA)	(Watt)	(pF)	%
1	CHG-CHL	GSTg-B	10	37,026	0,5976	11.798,76	0,161
2	CHG	GSTg-RB	10	13,201	0,3074	4.209,47	0,233
3	CHL	UST-R	10	23,841	0,2873	7.600,32	0,121
4	CHL		10	23,825	0,2900	7.589,29	0,125
5	CLG-CLT	GSTg-RB	10	55,961	0,9263	17.863,81	0,017
6	CLG	GSTg-RB	10	4,815	0,1881	1.534,21	0,039
7	CLT	UST-R	10	51,296	0,7339	16.349,89	0,143
8	CLT		10	51,146	0,7380	16.329,61	0,144
9	CTG-CHT	GSTg-B	10	35,497	0,3425	22.612,53	0,096
10	CTG	GSTg-B	10	35,264	0,3378	22.461,08	0,096
11	CHT	GSTg-RB	10	0,2410	0,0001	153,76	0,004
12	CHT		10	0,2330	0,0050	151,45	0,214
13	CHG		10	10,274	0,2280	327,95	0,222

Besar arus kapasitansi I_C dari persamaan 12 dan 13:

Dengan data tabel 12 :

$$P_d = VI \sin \delta$$

$$0,5976 = 10.000 \times 0,037026 \sin \delta$$

$$\sin \delta = \frac{0,60}{10.000 \times 0,03703} = 0,00162$$

Sudut δ :

$$\delta = 0,092^\circ$$

$$I_C = I \cos \delta$$

$$I_C = 0,037026 \cos 0,092^\circ$$

$$I_C = 0,037026 \text{ A}$$

V. SIMPULAN

1. Nilai index polarisasi (IP) pada sisi primary – sekunder pada tahun 2016 sebesar 1,1, pada range Standard IP 1,1 – 1,25 dimana transformator dalam keadaan kurang baik.
2. Setelah dilakukan pemeliharaan dan perbaikan di tahun 2016, dilakukan pengujian rutin tahun 2018 mengalami peningkatan pada sisi primary

sekunder menjadi 1,23, transformator masih dapat dioperasikan, tetapi perlu pengawasan dan pemantauan berkala pada isolasinya.

3. Pengujian tangen delta nilai rata-rata 0,39% dibawah standar uji 0,5% dikatakan kualitas tahanan isolasi sangat bagus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of
- [2.] Artono Arismunandar. (1975). Teknik tegangan tinggi. Penerbit Pradnya Paramita
- [3.] Bonggas L Tobing. (2017). Dasar – Dasar Teknik Pengujian tegangan tinggi (Edisi Ketiga). Penerbit Erlangga

- [4.] Carol (2018). Studi Analisa Pengujian Tahanan Isolasi Transformator Daya 60 MVA Teknik Elektro Institut Sains Dan Teknologi Nasional Jakarta
- [5.] Persero, PT PLN (2014). Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga PT PLN (Persero) No. 0520-2.K/DIR/2014, Bogor
- [6.] Persero, PT PLN. (2006). Buku Pelatihan O&M Transformator Tenaga. Semarang
- [7.] Bahrizen. (2011). Analisis kondisi hasil pengukuran IBT 1 500/150 kV dalam keadaan padam pada gigit gandum. Teknik Elektro. Universitas Indonesia
- [8.] PT PLN, (2009) Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik, Indonesia.
- [9.] PT PLN, (2006) Petunjuk Pengoperasian Gardu Induk Tegangan Extra Tinggi 500 kV, Indonesia.