ANALISIS UJI DIELEKTRIK PADA MINYAK TRANSFORMATOR DI GARDU INDUK 150KV TANGGUL

Gilang Oktavian1, Ir. Gatut Budiono., M.Sc.2

Jurusan Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jl. Semolowaru 45 Surabaya 60118

E-mail: goktavian54@gmail.com

Abstrak

Uji kekuatan dielektrik minyak transformator penting dilakukan untuk memastikan bahwa minyak transformator tidak mengalami degradasi atau kerusakan yang dapat menyebabkan arus pendek dan kerusakan pada sistem transformator. Salah satu metode yang digunakan untuk mengukur kekuatan dielektrik minyak transformator adalah metode breakdown voltage. Dalam metode ini, tegangan diterapkan pada minyak transformator dan ditingkatkan hingga terjadi breakdown atau puncak arus pendek. Breakdown voltage yang diukur adalah tingkat tegangan dimana minyak transformator tidak dapat lagi mempertahankan isolasinya. Hasil uji statistik dari data pengujian langsung sampel minyak transformator dari gardu induk langsung menunjukkan bahwa meskipun digunakan bertahun-tahun, penurunan kualitas minyak tidak terlalu signifikan. Hal ini terbukti dari tabel nilai hasil pengujian yang menunjukkan penurunan kualitas trafo pada jangka pemakaian 3 tahun kurang dari 10%. Pada pemakaian setelah 3 tahun, baru menunjukkan penurunan kualitas yang signifikan, Pada uji regresi atau peramalan minyak transformator murni menunjukkan peramalan kekuatan minyak transformator pada tahun-tahun selanjutnya hingga kekuatan berada titik paling jenuh atau kekuatan dielektriknya 0 kV berada pada tahun ke 20. Dari tabel hasil peramalan juga dapat diketahui bahwa minyak transformator dapat diaplikasikan pada transformator 20kV hingga pada tahun ke 6 dengan prediksi kekuatan dielektrik sebesar 21,507 kV sehingga PLN hanya perlu melakukan perawatan minyak transformator 6 tahun sekali dengan catatan pembebanan transformator 80-90%.

Kata Kunci: Breakdown Test, Purifikasi, Minyak Transformator, Transformator, Gardu Induk.

# Pendahuluan

Transformator adalah peralatan listrik yang digunakan dalam distribusi tenaga listrik. Minyak transformator berperan sebagai isolator dan pendingin dalam transformator. Uji kekuatan dielektrik minyak transformator penting untuk memastikan kinerja dan keandalan transformator. Gangguan seperti beban tinggi, lama pemakaian, dan kadar air yang tinggi dapat mempengaruhi mutu dan ketersediaan pelayanan listrik. Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Tanggul untuk menganalisis kondisi minyak transformator dan memenuhi standar SPLN, IEC 296, dan IEC 422 [1]. Uji breakdown voltage digunakan untuk menguji kekuatan dielektrik minyak. Hasil uji ini penting untuk pemeliharaan transformator, peremajaan sistem, dan keselamatan sistem tenaga listrik. Penelitian ini diwujudkan dalam karya ilmiah dengan judul "ANALISIS UJI DIELEKTRIK PADA MINYAK TRANSFORMATOR DI GARDU INDUK 150KV TANGGUL."".

# Kajian pustaka

## Transformator

Transformator merupakan suatu alat yang digunakan untuk mentransfer energi listrik arus bolak-balik dari satu rangkaian ke rangkaian lainnya dengan prinsip induksi elektromagnetik berdasarkan kopel magnetik. Transformator tenaga umumnya memiliki kumparan-kumparan dan inti yang direndam dalam minyak transformator, terutama pada transformator dengan kapasitas besar..

## Minyak Transformator



Minyak transformator berperan ganda sebagai isolasi dan pendingin dalam transformator. Selain itu, minyak trafo harus memenuhi berbagai persyaratan, termasuk kekentalan rendah, kejernihan, batas masa jenis, titik nyala, titik tuang, angka netralitas, dan tegangan tembus. Kenaikan suhu pada transformator dapat memengaruhi karakteristik minyak trafo, seperti kerapatan arus konduksi dan tegangan tembus. Pengaruh campuran asam dan air dalam minyak dapat menurunkan ketahanan listriknya, namun dapat diatasi dengan menggunakan potas hidroksida atau silica gel. Penting juga untuk menjaga kekentalan minyak trafo agar tetap rendah guna memastikan sirkulasi yang optimal.

## Pengujian Minyak Transformator

Memonitor performa sistem transformator melalui kondisi minyak adalah lebih cost-effective daripada menghadapi biaya kegagalan transformator yang mahal. Meskipun transformator memiliki harga yang tinggi, pengawasan dan pemeliharaan kualitas minyak dapat memperpanjang masa pakai transformator hingga sekitar 40 tahun, terutama jika menggunakan minyak transformator berkualitas tinggi

Uji Tegangan Tembus (Breakdown Voltage Test) merupakan salah satu jenis uji perawatan prediktif yang dilakukan pada minyak isolasi transformator. Prinsip uji ini melibatkan pengukuran tegangan selama enam percobaan, dimana akan terjadi suara saat tegangan naik. Setelah itu, terdapat selang waktu lima menit sebelum dilakukan pengujian lagi, dan proses ini diulang hingga enam kali. Perhitungan ketahanan dielektrik minyak trafo memakai rumus berikut [2]:

E =Vb/d (kV/mm)

Keterangan :

Vb = Rata-rata hasil tegangan tembus yang sudah diuji 6 kali.

E = Kekuatan Dielektrik

d = Jarak sela antar elektroda (mm)



Untuk menentukan kondisi yang baik dari sampel minyak, hasil pengujian perlu dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan. Standar yang digunakan untuk parameter pengujian minyak transformator antara lain SPLN 0520, IEC 442, IEC 296 dan IEC 156.

## Koefisien Korelasi dan Regresi Linier

Untuk mencari pengaruh usia terhadap kualitas dielektrik sekaligus melakukan prediksi umur pakai pada minyak transformator bisa menggunakan metode regresi linier. Regresi linier dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

Y = aX+b

Keterangan:

Y=Variabel dependen

X=Variabel Independen

a= Konstanta

b= Koefisien regresi

Dengan

$$b=\frac{n\sum\_{}^{}xy-\sum\_{}^{}x\sum\_{}^{}y}{n\sum\_{}^{}x^{2}-(\sum\_{}^{}x)^{2}}$$

$$a=\frac{\sum\_{}^{}y\sum\_{}^{}x^{2}-\sum\_{}^{}x\sum\_{}^{}xy}{n\sum\_{}^{}x^{2}-(\sum\_{}^{}x)^{2}}$$

# Metode penelitian

Ada beberapa tahap dalam penelitian tentang Analisis Uji Kekuatan Dielektrik pada Minyak Trafo di Gardu Induk Tanggil, Antara lain seperti berikut.

1. Studi Literatur
2. Perizinan
3. Pengambilan data dan sampel minyak trafo
4. Uji Breakdown Tegangan
5. Analisis Data
6. Penyelesaian Penelitian



Dalam penelitian dengan judul “Analisis Uji Dielektrik Pada Minyak Transformator Di Gardu Induk 150kV Tanggul” diperlukan persiapan dan perencanaan yang terstruktur agar bisa mendapat hasil yang baik, maka dibuatlah diagram alir ini untuk acuan dalam penyusunannya

# hASIL DAN PEMBAHASAN

## Uji Tegangan Tembus

Tes Tegangan Tembus (Breakdown Voltage Test) adalah metode prediktif untuk menguji minyak isolasi dan mengevaluasi kemampuan isolasinya terhadap tegangan. Tingkat Tegangan Tembus yang tinggi menunjukkan kondisi baik minyak isolasi. Alat pengujian Breakdown Voltage Merk Huazheng seri HZJQ - X1 memenuhi standar internasional. Dilengkapi dengan bejana minyak yang mudah dibersihkan, elektroda ditempatkan secara horizontal untuk mencegah medan listrik yang disebabkan oleh turbulensi dan korona. Jarak sampel minyak dapat ditentukan dengan menggunakan puller sebesar 2,5 mm tanpa perlu alat pengukur tambahan.



Dengan alat ini secara otomatis melakukan uji tegangan ketahanan pada minyak dengan rentang 0-80KV. Operasinya sederhana, di mana mesin akan menyelesaikan uji tegangan dengan penyetelan sederhana oleh operator. Hasil pengujian dan rata-ratanya akan disimpan dan dicetak menggunakan printer thermal. Alat ini dapat menyimpan 100 hasil pengujian, menampilkan suhu dan kelembaban saat ini, dan dilengkapi dengan proteksi tegangan dan arus berlebih. LCD layar besar menampilkan informasi dengan bahasa Inggris [3].

## Analisis Rata-Rata Tegangan Tembus Minyak Transformator

Dalam sub bab ini, data uji tegangan tembus minyak trafo akan dianalisis. Data tersebut mencakup uji pada transformator 1, 2, dan 3 dari PLN, serta uji pada minyak trafo dengan umur 3 tahun, 5 tahun, dan minyak baru dari laboratorium ITS.

$$Vb(rata-rata minyak trafo pada bagian main tank) =\frac{27,6+53,8+81,7+86,3+100+90,6}{6} \left(kV/2,5 mm\right)$$

$$ =73,3 kV/2,5mm$$

Tabel 4. 4. Rata-rata hasil uji tegangan tembus minyak transformator usia 3 tahun, 5 tahun, dan baru.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No. | Minyak 5 Tahun (kV/2,5mm) | Minyak 3 Tahun (kV/2,5mm) | Minyak Baru (kV/2,5mm) |
| 1 | 19.80 | 24.30 | 27.10 |
| 2 | 20.59 | 24.80 | 28.70 |
| 3 | 22.20 | 33.53 | 31.81 |
| 4 | 23.60 | 22.50 | 31.61 |
| 5 | 21.60 | 24.79 | 28.70 |
| 6 | 24.00 | 37.61 | 27.98 |
| Rata-rata | 21.96 | 27,92 | 30 |

Setelah melakukan perhitungan rata-rata hasil uji tegangan tembus minyak trafo dengan 3 usia yang berbeda, maka bisa dirangkum menjadi data statistic seperti berikut.

Gambar 4. 6.Rata-rata hasil uji tegangan tembus minyak transformator pada umur 3 tahun, 5 tahun, dan baru menunjukkan perbedaan. Grafik menunjukkan bahwa minyak transformator baru memenuhi standar IEC 296 untuk kategori minyak sebelum purifikasi atau treatment. Namun, minyak usia 3 dan 5 tahun tidak memenuhi standar.

## Koefisien Korelasi dan Peramalan Kualitas Minyak Transformator

Untuk mencari pengaruh usia terhadap kualitas dielektrik sekaligus melakukan prediksi umur pakai pada minyak transformator bisa menggunakan metode regresi linier, Regresi linier dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4 berikut

1. Regresi Linier

Y = aX + b

Dengan

$a=\frac{n\sum\_{}^{}xy-\sum\_{}^{}x\sum\_{}^{}y}{n\sum\_{}^{}x^{2}-(\sum\_{}^{}x)^{2}}$$b=\frac{n\sum\_{}^{}xy-\sum\_{}^{}x\sum\_{}^{}y}{n\sum\_{}^{}x^{2}-(\sum\_{}^{}x)^{2}}$

a = -1,535789474

$$ b=\frac{\sum\_{}^{}y\sum\_{}^{}x^{2}-\sum\_{}^{}x\sum\_{}^{}xy}{n\sum\_{}^{}x^{2}-(\sum\_{}^{}x)^{2}}$$

b = 30,72210526

Maka Persamaan regresinya adalah

Y= 30,72210526 - 1,535789474x [4]

Nilai konstanta b=30,72210526 menunjukkan bahwa rata-rata kualitas dielektrik pada minyak transformator baru atau berusia 0 tahun. Koefisien regresi sebesar -1,535789474 menunjukkan hubungan negatif antara usia pemakaian dan kualitas dielektrik pada minyak transformator. Setiap tahun usia pemakaian meningkat, kualitas dielektrik akan mengalami penurunan sebesar -1,535789474. Dengan menggunakan perhitungan ini, dapat memperkirakan kekuatan dielektrik atau melakukan peramalan kekuatan dielektrik pada tahun-tahun berikutnya, sehingga dapat mengetahui pada tahun berapa minyak tersebut tidak dapat digunakan. Berikut data peramalan kekuatan dielektrik untuk tahun-tahun selanjutnya.

Tabel 4. 5. Data Peramalan Kualitas Minyak Transformator

|  |  |
| --- | --- |
| Tahun | Kekuatan Dielektrik |
| 6 | 21,50736842 |
| 7 | 19,97157894 |
| 8 | 18,43578947 |
| 9 | 16,89999999 |
| 10 | 15,36421052 |
| 11 | 13,82842105 |
| 12 | 12,29263157 |
| 13 | 10,7568421 |
| 14 | 9,221052624 |
| 15 | 7,68526315 |
| 16 | 6,149473676 |
| 17 | 4,613684202 |
| 18 | 3,077894728 |
| 19 | 1,542105254 |
| 20 | 0,00631578 |

Dari data diatas dapat diketahui bahwa minyak transformator bisa bertahan hingga titik paling jenuh yaitu 0kV berada pada tahun ke 20, Namun untuk pengaplikasian pada transformator bisa hingga 20kV berada pada tahun ke 6 sehingga dengan data diatas dapat disimpulkan bahwa minyak transformator dapat diaplikasikan pada transformator hingga 6 tahun dan hanya perlu diadakan pergantian selama 6 tahun sekali dan juga bisa menjadi acuan pihak PLN dalam upaya pemeliharaan minyak transformator yang sebelumnya pergantian 2 tahun sekali bisa dijadikan pergantian tersebut 6 tahun sekali.

Gambar statistic dan table diatas menunjukkan peramalan kekuatan minyak transformator pada tahun-tahun selanjutnya hingga kekuatan berada titik paling jenuh atau kekuatan dielektriknya 0 kV. Namun table dengan hasil peramalan diatan juga dapat diketahui sampai tahun berapa minyak transformator dapat diaplikasikan pada transformator 20kV, yaitu pada tahun ke 6 dengan kekuatan dielektrik sebesar 21,507 kV.Jadi dalam pengaplikasiannya pihak PLN tidak perlu melakukan pergantian 2 tahun sekali, namun cukup setiap 6 tahun sekali.

 Dalam pergantian minyak transformator sebelumnya yang dilakukan PLN adalah 2 tahun sekali dengan nilai breakdown kira-kira 27kV , penelitian ini meramalkan bahwa cukup 6 tahun sekali dengan nilai breakdown 22kV agar lebih hemat biaya

# pENUTUP

Setelah menganalisis data breakdown test dari PT.PLN dan pengujian langsung, dapat disimpulkan:

1. Kualitas dielektrik pada minyak transformator yang tidak terpakai pada gardu induk tanggul dibawah standart namun masih bisa diaplikasikan hingga dielektrik berada pada nilai tidak kurang dari 20kV.
2. Hasil uji statistik dari data pengujian secara langsung minyak trafo dapat disimpulkan bahwa, meskipun digunakan bertahun- tahun penurunan kualitas minyak tidak terlalu signifikan, hal itu terbukti pada tabel nilai hasil pengujuan yang menunjukkan penurunan kualitas minyak trafo pada jangka pemakaian 3 tahun kurang dari 10%, hal itu karena minyak yang di uji merupakan minyak murni yang belum terpurifikasi.
3. Pada peramalan kekuatan dielektrik minyak transformator berada titik paling jenuh atau kekuatan dielektriknya 0 kV berada pada tahun ke 20 dan dapat diketahui bahwa minyak transformator dapat diaplikasikan pada transformator 20kV hingga pada tahun ke 6 dengan prediksi kekuatan dielektrik sebesar 21,507 kV.
4. PLN tidak perlu mengganti minyak transformator secara berkala 2 tahun sekali, cukup 6 tahun sekali dengan catatan pembebanan transformator kurang lebih sama seperti yang terjadi pada tahun sebelumnya yaitu sebesar 80% sehingga bisa menghemat biaya.

 DAFTAR PUSTAKA

[1] PT. PLN (PERSERO), “BUKU PEDOMAN PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR TENAGA PT PLN (PERSERO),” 2014.

[2] U. Mudjiono and E. P. Hidayat, “PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS ISOLASI MINYAK TRANSFORMATOR FASILITAS GEDUNG REKTORAT UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA,” 2012.

[3] ISOTEST, “MANUAL BOOK HUAZHENG HZJQ-X1 Transformer Oil BDV Tester.”

[4] Gezan Utuh Ilahu, Egi Tri Hardi, Napitupuli Janter, and Sinaga Joslen, “ANALISIS PRAKIRAAN MASA PAKAI TRASFORMATOR BERDASARKAN BEBAN MENGGUNAKAN METODE REGRESI LINIER,” Medan, 2023.