

## STUDI HUBUNGAN ANTARA TAHANAN DAN TANGENT DELTA ISOLASI PADA BUSHING DAN KUMPARAN TRANSFORMATOR 150 KV

Gumara Dwinanta<sup>1</sup>, Usman A. Ghani<sup>2</sup>, Rudi Kurnianto<sup>3</sup>

[gumaradwinanta07@gmail.com](mailto:gumaradwinanta07@gmail.com)<sup>1</sup>, [usmanagani@ymail.com](mailto:usmanagani@ymail.com)<sup>2</sup>, [rudi.kurnianto@ee.untan.ac.id](mailto:rudi.kurnianto@ee.untan.ac.id)<sup>3</sup>

Universitas Tanjungpura

### ABSTRAK

Transformator tenaga merupakan peralatan utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengkonversi tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah, atau sebaliknya. Untuk memastikan keandalan operasi dan mendeteksi potensi kerusakan, dilakukan pengujian tahanan isolasi secara berkala. Pelaksanaan pengujian isolasi dilakukan pada Gardu Induk Singkawang menggunakan metode pengujian tangen delta. Pengujian tangent delta dilakukan untuk mengetahui nilai koefisien rugi-rugi dari bahan isolasi. Tangent delta yang lebih rendah biasanya berkorelasi dengan tahanan isolasi yang tinggi, namun pada pengujian ini hubungan tersebut tidak selalu sejalan dikarenakan ada faktor lain seperti kapasitansi dan arus kapasitif yang mempengaruhi arus resistif dan tahanan isolasi. Pengujian dilakukan pada 12 titik dengan hasil pengujian tangent delta nya yaitu titik H+HL ( Hight Voltage – Ground) = 0,1893% , H (Hight Voltage) = 0,301% , HL (Hight Voltage – Low Voltage) = 0,144% , L + LT (Low Voltage – Ground) = 0,1702% , L (Low Voltage) = 0,1688% , dan LT (Low Voltage – Tersier) = 0,2557% , T+TH ( Tersier – Ground) = 0,1505% , T (Tersier) = 0,1383% , TH (Tersier – Hight Voltage) = 0,1501% , Bushing Fasa R = 0,2721% , Fasa S = 0,2821% , dan Fasa T = 0,2804%. Hasil pengujian pada tiap titik rata rata bernilai dibawah 0,5% yang menunjukkan isolasi masih dalam kondisi yang baik. Dikarenakan sesuai dengan standar IEEE62 – 1995 yaitu nilai tangen delta transformator baru < 0,5%, transformator operasi < 1%.

**Kata Kunci:** Transformator, Tangent Delta, Tahanan Isolasi, Kumparan, Bushing.

### PENDAHULUAN

Gardu Induk adalah bagian dari suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung bagi, transformator, dan peralatan pengaman serta peralatan kontrol. Gardu induk berfungsi untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi yang satu ke saluran transmisi yang lain, mendistribusikannya ke konsumen, sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi dengan frekuensi tetap, sebagai tempat kontrol dan pengaman operasi sistem [1].

Dalam operasi penyaluran tenaga listrik, transformator dapat dikatakan jantung dari sistem transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal. Mengingat kerja keras dari suatu transformator, pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin. Oleh karena itu tranformator harus dipelihara dengan menggunakan sistem dan peralatan yang benar, baik dan tepat. untuk meminimalisir adanya kegagalan transformator pada saat beroperasi, ada banyak metode pengujian yang digunakan untuk menentukan kondisi transformator, mulai dari pengujian kualitas minyak, kadar air, kadar asam, partial discharge, tahanan isolasi, tangen delta dan masih banyak lagi, semua metode ini mempunyai tujuan sama yaitu menghasilkan diagnosa yang akurat, ada banyak sekali faktor yang mempengaruhi akurasi hasil pengujian mulai dari kondisi alat ukur, kondisi lingkungan, kemampuan dari operator, prosedur pengujian dan lain sebagainya, kesalahan data data pengujian dapat menyebabkan kerugian baik segi matrial dan inmaterial [2].

Tahanan isolasi merupakan tahanan yang terdapat diantara dua kawat saluran (kabel) yang diisolasi satu sama lain atau tahanan antara satu kawat saluran dengan tanah (ground). Tahanan isolasi adalah sebagai suatu yang diukur dari isolasi antara belitan dan inti besi pada trafo, tahanan isolasi mengukur resistansi bahan isolasi dalam trafo. Nilai ini diperoleh dari pengukuran resistansi antara komponen aktif (konduktor) dan komponen yang diisolasi (biasanya tanah atau casing trafo). Tahanan isolasi bertujuan untuk membatasi aliran arus antara belitan dan inti besi. Semakin besar nilai tahanan isolasi yang didapat maka semakin baik kualitas isolasi tersebut [3].

Tangent delta merupakan jenis metode pengujian untuk mengetahui kondisi isolasi dari transformator. Pengujian Tangent Delta sering digunakan sebagai bagian dari kontrol kualitas untuk memastikan bahwa bahan isolasi memenuhi standar yang ditetapkan. Mengingat transformator adalah pusat dari suatu sistem distribusi dan transmisi, kondisi isolasi yang baik juga termasuk ke bagian penting dalam pengoprasian sebuah transformator, nilai kualitas isolasi pada transformator dapat menentukan lamanya penggunaan transformator. Isolasi pada transformator ini sangat penting perannya sebagai pemisah antara beberapa belitan atau penghantar yang dililit dalam inti transformator bertegangan agar antar penghantar tersebut tidak terjadi loncatan listrik atau percikan. Jika sebuah isolasi dalam keadaan yang tidak baik, kerja transformator akan terhambat dan dapat menyebabkan bahaya untuk perangkat listrik lainnya. Maka dari itu peneliti melakukan analisis hasil pengujian tangen delta pada transformator untuk mengetahui apakah isolasi tersebut dalam kondisi baik atau tidak [4].

Penelitian dilakukan untuk menganalisis hasil pengujian tahanan isolasi menggunakan metode tangen delta pada trafo 150 kV Type NYNAS LIBRA berkapasitas 30 MVA yang dilakukan oleh Unit Layanan Transmisi Gardu Induk (ULTG) Singkawang. Pengujian Berdasarkan SK DIR 0520 pemeliharaan transformator dilakukan secara berkala tiap dua tahunan, salah satu pemeliharaan tersebut adalah melakukan pengujian tangen delta pada transformator 150 kV untuk mengetahui kondisi isolasi dari transformator apakah masih layak digunakan atau tidak. Nilai tangen delta transformator baru  $< 0,5\%$ , transformator operasi  $< 1\%$  (Standar IEEE62-1995), dan untuk tahanan nilai tahanan isolasi pada trafo baru idealnya memiliki nilai di atas  $100 \text{ M}\Omega$  sedangkan transformator operasi memiliki nilai  $10 \text{ M}\Omega$ , namun idealnya tetap diatas  $100 \text{ M}\Omega$  untuk memastikan keandalan (Standar IEEE).

## **METODOLOGI**

Berikut ini adalah metode yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

### **1. Studi Literatur**

Studi Literatur yaitu kajian penulis atas referensi – referensi yang ada baik berupa buku serta karya ilmiah yang berhubungan dengan penulisan ini, yang nantinya dapat digunakan dalam pedoman pembuatan laporan penelitian.

### **2. Analisis Deskriptif**

Analisis deskriptif adalah metode yang menggambarkan atau memberikan wawasan tentang subjek yang diteliti melalui data yang dikumpulkan.

### **3. Variabel atau data**

#### **a. Data Primer**

Data primer merupakan data yang diperoleh langsung. Data - data tersebut adalah data yang akan digunakan pada penelitian ini.

#### **b. Data Sekunder**

Data sekunder diperoleh dari referensi buku – buku, jurnal, laporan dan lain sebagainya yang berkaitan dengan penelitian ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian tangent delta pada kumparan dan bushing mendapatkan hasil yang sangat baik yaitu tidak melewati standar (0,5%) sehingga menghasilkan nilai tahanan isolasi yang lumayan besar. Ini menandakan bahwa kondisi isolasi pada trafo tersebut masih dalam keadaan baik sehingga tidak diperlukan adanya perbaikan.

Nilai tangent delta yang lebih tinggi menunjukkan adanya kerugian lebih besar dalam isolasi akibat arus resistif, jika tangent delta tinggi dan tahanan isolasi rendah, isolasi di titik tersebut kemungkinan sudah mengalami kerusakan atau degradasi. Nilai tangent delta yang rendah menunjukkan bahwa arus kapasitif mendominasi dan arus resistif sangat kecil yang mengindikasikan isolasi dalam kondisi baik, hal ini juga dibuktikan melalui nilai tahanan isolasi yang tinggi menunjukkan sedikitnya arus resistif yang bocor melalui isolasi.

Namun hasil perhitungan mungkin tampak sedikit tidak sesuai dengan prinsip umum tersebut, dimana pada titik tertentu memiliki nilai tangent delta yang lebih rendah tetapi tahanan isolasi yang dihitung lebih kecil, contohnya pada titik pengujian LT (Low voltage – Tersier) mendapatkan hasil tahanan isolasi yang cukup besar dari yang lain sedangkan hasil tangent delatanya yaitu 13,038 GΩ, ada beberapa titik yang tangent delatanya lebih rendah dari itu tetapi nilai tahanan isolasinya tidak sebesar pada titik LT, dalam pengujian tahanan isolasi peningkatan atau penurunan tangent delta tidak selalu menyebabkan perubahan tahanan isolasi secara konsisten atau sebanding. Ada beberapa faktor yang memengaruhinya, yaitu nilai arus kapasitif yang berbeda, pengaruh kapasitansi, pengaruh komponen fisik dalam pengujian, dan tegangan uji.

Nilai arus kapasitif ( $I_c$ ) memiliki peran penting dalam hubungan antara tangent delta dan tahanan isolasi. Tangent delta yang rendah berarti arus resistifnya kecil, jika nilai arus kapasitifnya yang rendah (seperti pada titik LT) dapat menghasilkan arus resistif yang lebih kecil juga. Oleh karena itu, meskipun tangent delta lebih tinggi, arus resistif tetap bisa sangat kecil yang menghasilkan tahanan isolasi yang sangat tinggi, sebaliknya, jika arus kapasitif yang besar dengan tangent delta yang rendah tetap bisa menghasilkan arus resistif yang besar dan menurunkan nilai tahanan isolasi.

Kapasitansi sistem sangat mempengaruhi arus kapasitif yang mengalir. Perbedaan kapasitansi disebabkan oleh faktor fisik tertentu dalam sistem yang sedang di uji, seperti ukuran atau jarak antara konduktor. Kapasitansi yang lebih besar berperan dalam menentukan arus kapasitif dan dapat menyebabkan nilai tangent delta yang lebih besar walaupun tahanan isolasi tetap tinggi.

Pengaruh komponen fisik dalam pengujian dapat menyebabkan perbedaan dalam hasil tangent delta dan tahanan isolasi, bahkan dalam kondisi yang terlihat serupa. Struktur fisik atau kondisi lingkungan (misalnya kelembapan atau suhu) dapat mempengaruhi hasil pengujian di titik yang berbeda. Setiap titik memiliki karakteristik fisik yang berbeda, seperti ukuran, jarak antar konduktor atau jenis material isolasi. Ini akan mempengaruhi nilai kapasitansi dan akibatnya juga mempengaruhi arus kapasitif dan resistif.

Tegangan uji yang lebih tinggi bisa memperbesar efek arus bocor, sehingga menghasilkan kerugian lebih besar dalam isolasi. Dengan tegangan uji yang lebih tinggi, tangent delta yang sama mungkin menghasilkan arus resistif yang lebih besar yang artinya tahanan isolasi lebih rendah. Namun jika tegangan rendah bahkan dengan tangent delta yang tinggi, arus resistif bisa tetap kecil. Tahanan isolasi sangat bergantung pada tegangan uji yang diterapkan selama pengukuran.

## KESIMPULAN

Ada beberapa Kesimpulan dalam pengujian ini yaitu:

1. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa semua titik pengujian memiliki isolasi yang baik, Perbedaan hasil di berbagai titik juga bisa diakibatkan oleh perbedaan kondisi fisik sistem dan lingkungan
2. Tangent delta yang lebih rendah biasanya berkorelasi dengan tahanan isolasi yang tinggi, namun pada pengujian ini hubungan tersebut tidak selalu sejalan dikarenakan ada factor lain seperti kapasitansi dan arus kapasitif yang mempengaruhi arus resistif dan tahanan isolasi.
3. Pada pengujian 10 kV tahanan isolasi memiliki nilai minimum sebesar 161,25807  $\Omega$  dan nilai tahanan yang dihasilkan sangat jauh di atas batas minimum yaitu mulai dari 103,842 M $\Omega$  hingga 13038 M $\Omega$ .
4. Pada pengujian 5 kV tahanan isolasi memiliki nilai minimum sebesar 80,52904  $\Omega$  dan nilai tahanan yang dihasilkan sangat jauh di atas batas minimum yaitu mulai dari 96,525 M $\Omega$  hingga 3790 M $\Omega$
5. Standar pengujian tangent delta yaitu memiliki nilai maksimum sebesar 1%. Pada pengujian 10 kV nilai tangent delta yang dihasilkan tidak ada yang melewati batas maksimum yaitu mulai dari 0,144 % hingga 0,301 %.
6. Standar pengujian tangent delta yaitu memiliki nilai maksimum sebesar 1%. Pada pengujian 5 kV nilai tangent delta yang dihasilkan tidak ada yang melewati batas maksimum yaitu mulai dari 0,1383 % hingga 0,2821 %.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Makkulau., N. Pasra., & R. Siswanto: Pengujian Tahanan Isolasi dan Rasio Pada Trafo PS T15 PT Indonesia Power Up MRICA. Sekolah Tinggi Teknik – PLN, 2018.
- A. Yani., & K. Hasto. Analisa Tahanan Isolasi Transformator 3 Di PT.PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Pati. Universitas PGRI Semarang, 2020.
- B. Mulyanto, Analisis Kondisi Tahanan Isolasi Transformator Daya 125 MVA Menggunakan Indeks Polarisasi Tangent Delta Dan Breakdown Voltage Di PLTU Tenayan Raya 2 X 110 MW. Universitas Lancang Kuning, 2022.
- D. Almanda., & Ardiansyah. Analisis Pengujian Tangent Delta Pada Bushing Trafo 150/20 KV 60 MVA di Gardu Induk Karet Lama. Universitas Muhammadiyah Jakarta, 2022
- H. R. Febrijanto., & R. Hidayat. Analisis Pengujian Tan delta Pada Tansformator Arus Di Gitet Tasikmalaya Bay Penghantar Bandung Selatan-1. Universitas Singaperbangsa Karawang, 2023.
- H. T. Prasetya, Analisis Hasil Pengujian Bushing Pada Transformator Tenaga Di Gardu Induk Sragen. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2019.
- International Electrotechnical Commission, International Standard IEC 60076-1. IEC, 2011.\
- K. Ababil, Analisis Perbandingan Kelayakan Tahanan Isolasi Transformator Daya Menggunakan Pengujian Indeks Polaritas, Tangent Delta, BDV (Breakdown Voltage), Dan Rasio Tegangan Di Gardu Induk 150 kV Ulee Kareng. Universitas Islam Negeri, 2023.
- M. J. Maulana, Analisa Pengujian Bushing pada Transformator Tenaga Di Gardu Induk Wonogiri 150kv. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2018. PT PLN (Persero), Buku Pedoman Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik. Regional Jawa Madura Bali No : 0520 K/DIR/2014, 2014.
- M. S. Anindyantoro, Analisa Tahanan Isolasi Pada Transformator Tenaga Di Gardu Induk Wonogiri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017
- PT PLN (Persero), Buku Pedoman Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik. Regional Jawa Madura Bali No : 0520 K/DIR/2014, 2014.
- PT PLN (Persero), Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. SKDIR 0520-

- 2.K/DIR/2014 Transformator Tenaga No.Dokumen : PDM/PGI/01, 2014.
- R. F. Rifqyawan, Analisis Uji Kelayakan Tahanan Isolasi Trafo 30 MVA Di GI 150/20 kV PT APF Dengan Menggunakan Indeks Polarisasi dan Tangent Delta. Universitas Islam Sultan Agung, 2022.
- S. D. Myers., J. J. Kelly., & R. H. Parrish : A Guide To Transformer Maintenance. Transformer Maintenance Institute, 1988.
- Y. Nugraha, Analisis Pengujian Tahanan Isolasi Transformator Daya Dengan Metode Tangen Delta Di PT PLN P3B Sumatera UPT Bengkulu. Politeknik Negeri Sriwijaya, 2016.