

ANALISIS KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS PADA MINYAK TRAFO NYNNAS DAN APPAR TERHADAP SUHU

Evita Kristianah*, Rudy Kurniawan, dan Ghiri Basuki Pratama

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung
Balunijuk, Kabupaten Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, 33172

E-mail : Evitakristianah@gmail.com

ABSTRAK

Pada peralatan tegangan tinggi, permasalahan umum operasional bahan dielektrik adalah timbulnya kegagalan, baik kegagalan thermal maupun kegagalan elektris. Salah satu peralatan tegangan tinggi yang digunakan dalam sistem tenaga listrik adalah transformator tenaga. Pada transformator daya, digunakan suatu bahan dielektrik yaitu minyak transformator yang berfungsi untuk memisahkan dua atau lebih penghantar yang bertegangan sehingga antar penghantar yang bertegangan tersebut tidak terjadi hubungan singkat yang dapat menyebabkan lompatan api atau percikan dan juga sebagai pendingin dari transformator itu sendiri. Menurut standar SPLN 49-1 dengan metode uji IEC 60422:2005, tegangan tembus minyak transformator pada suhu 30°C adalah 30 kV pada pengujian dengan jarak sela 2,5 mm. Sedangkan menurut standar SPLN 49-1 dengan metode uji IEC 296, suhu 130°C adalah titik didih dari minyak transformator. Namun pada pengujian yang dilakukan, akan diamati karakteristik tegangan tembus yang muncul pada dielektrik minyak transformator jenis nynnas dan appar terhadap pengaruh perubahan suhu antara 20°C sampai dengan 90°C dengan cara melakukan pengukuran tegangan tembus menggunakan elektroda setengah bola yang diterapkan tegangan uji berupa tegangan tinggi bolak-balik (AC) frekuensi 50 Hz untuk mendapatkan karakteristik tegangan tembus minyak transformator nynnas dan appar terhadap perubahan jarak sela dan suhu minyak. Pada pengujian ini didapati tegangan tembus minyak transformator nynnas 51,3 kV/2,5 mm dan appar adalah 48,7 kV/2,5 mm untuk elektroda setengah bola. Serta 50,6 kV/2,5 mm untuk minyak nynnas dan 48,7 kV/2,5 mm untuk minyak appar menggunakan elektroda bola.

Kata kunci : tegangan tembus, dielektrik cair, minyak transformator.

PENDAHULUAN

PT. PLN (Persero) merupakan perusahaan yang bergerak dibidang jasa penyediaan energi listrik. PLN Wilayah Bangka Belitung adalah unit PLN yang mengelola operasi sistem tenaga listrik dari pembangkitan, transmisi, distribusi hingga ke pelayanan pelanggan. Pada sistem transmisi, transformator digunakan untuk menurunkan tegangan penyaluran 150 kV ke tegangan distribusi 20 kV. **Peranan** transformator dalam dunia elektronika memegang peranan yang sangat penting. Secara garis besar fungsi transformator adalah untuk menyalurkan energi listrik ke tegangan rendah maupun ke tegangan tinggi, penyaluran ini berlangsung dalam frekuensi yang sama.

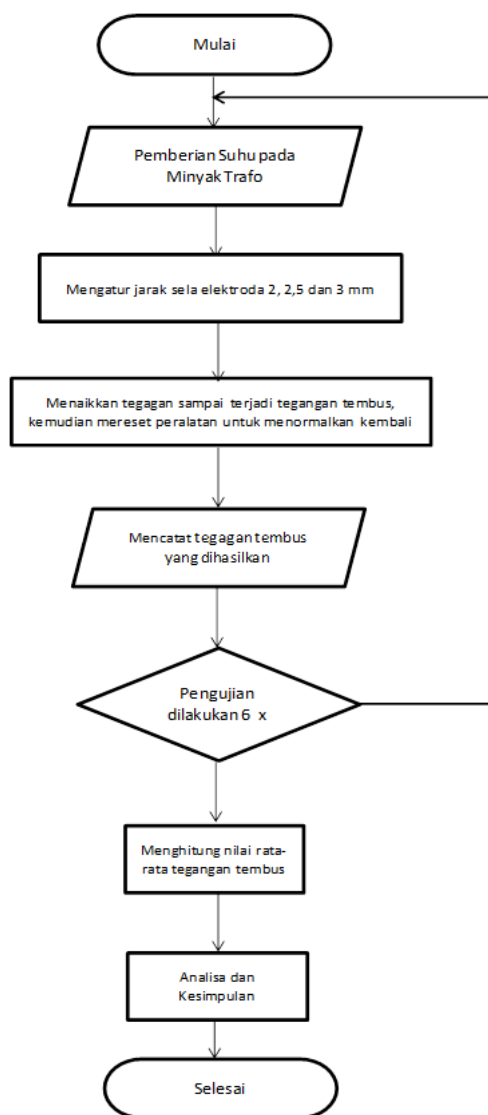
Sampai dengan November tahun 2016, jumlah rasio kerusakan transformator distribusi di PLN Wilayah Bangka Belitung terhadap aset adalah 0,44 % atau 14 buah kerusakan dari total aset sejumlah 3157 buah. Berdasarkan data laporan rasio kerusakan transformator pada tahun 2016, ada 3 transformator dengan indikasi disfungsi minyak transformator dari 14 kali gangguan transformator. Kerusakan pada transformator tentu dapat mempengaruhi meningkatnya angka SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Duration Index*). Langkah awal yang dilakukan sebelum melakukan perbaikan adalah mengidentifikasi penyebab melalui data-data lapangan.

METODE PENELITIAN

Berikut berapa tahapan langkah penelitian dijelaskan sebagai berikut :

1. Melakukan pemberian suhu terhadap sample minyak transformator uji sesuai dengan tabel penelitian yakni 20°C - 90°C. Setelah didapati suhu yang diinginkan, kemudian menuangkan minyak transformator ke dalam ruang alat uji.
2. Setelah minyak dituangkan, dilakukan pengaturan jarak sela elektroda dari 2 – 3 mm.
3. Setelah proses pemberian suhu terhadap minyak dan pengaturan jarak sela, diberikan tegangan yang perlahan-lahan dinaikkan sampai terjadi tembus tegangan pada minyak transformator uji. Setelah tembus, alat uji akan mencatat tegangan tembusnya, dan mereset kembali pengujian.
4. Pengujian tegangan tembus dengan sample minyak transformator X pada suhu X dan jarak sela elektroda X akan dilakukan sebanyak 6 kali pengujian. Setelah dilakukan pencatatan hasil uji tahap pertama, maka akan dilakukan pencatatan untuk hasil uji tahap kedua sampai dengan tahap keenam.
5. Setelah didapati sebanyak 6 tegangan tembus, maka akan didapati rata-rata tegangan tembus dari minyak transformator X pada suhu X dan jarak sela elektroda X.
6. Setelah didapati nilai tegangan rata-rata, maka dilakukan analisa dan kesimpulan.

Pengambilan data dilakukan pada minyak transformator dengan suhu 20°C - 90°C yang bertujuan untuk mengetahui tegangan tembus dari minyak transformator nynnas dan appar. Pada pengujian tegangan tembus ini tegangan diterapkan pada salah satu elektroda dan elektroda yang lain dihubungkan dengan tanah, tegangan akan terus naik sampai terjadi tembus pada bahan uji. Pengujian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kekuatan isolasi dari minyak transformator tersebut dengan panas paling sedikit. Pengambilan data ini tidak dipengaruhi oleh parameter-parameter yang ada seperti kelembaban dan tekanan udara. Hal ini disebabkan keterbatasan peralatan yang digunakan.



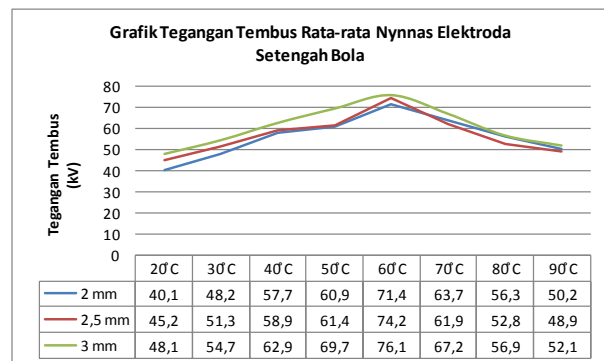
Gambar 1. Flowchart penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Transformator terhadap Suhu dan Jarak Sela dengan Elektroda Uji Setengah Bola

Karakteristik Nynnas Tegangan Tembus terhadap Suhu

Pengujian tegangan tembus minyak transformator nynnas dilakukan dengan menerapkan variasi suhu pada minyak transformator dari 20°C sampai dengan 90°C. Dari hasil pengujian yang didapatkan, diperoleh grafik karakteristik yang menunjukkan tegangan tembus minyak transformator nynnas terhadap pengaruh suhu pada minyak saat pengujian dengan menggunakan elektroda uji setengah bola-setengah bola. Pengujian tegangan tembus pada minyak transformator dilakukan saat suhu minyak transformator 20°C sampai 90°C, di uji setiap kenaikan suhu sebesar 10°C.



Gambar 2. Karakteristik tegangan tembus nynnas terhadap suhu dengan elektroda setengah bola

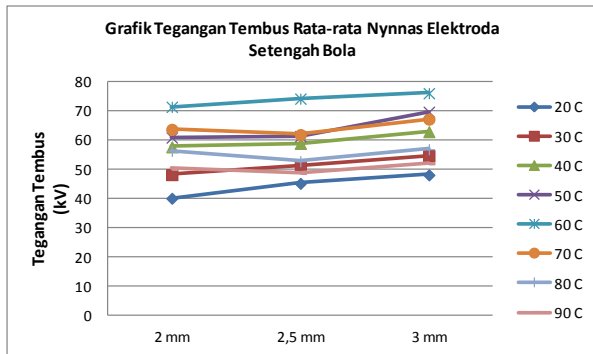
Dari Gambar 2 dapat dilihat karakteristik minyak transformator nynnas pada pengujian tegangan tembus dengan menggunakan elektroda uji setengah bola. Tegangan tembus minyak transformator nynnas semakin meningkat seiring dengan semakin naiknya suhu pada minyak transformator. Namun kemampuan tegangan tembus akan turun saat suhu mencapai 70°C. Hal ini dapat disebabkan faktor kontaminasi atau ketidakmurnian zat, misalnya seperti adanya bola cair dari jenis cairan yang lain sehingga pada saat terjadi pemanasan minyak transformator maka akan terjadi penguapan pada bola cair tersebut. Proses penguapan ini akan mengurangi jumlah bola cair yang berada di dalam minyak. Ketidakmurnian dalam minyak transformator menyebabkan kondisi yang tidak stabil dalam medan listrik dan merupakan jembatan konduktif di antara elektroda yang dapat menyebabkan kegagalan.

Karakteristik Tegangan Tembus Nynnas terhadap Jarak Sela

Pengujian tegangan tembus minyak transformator nynnas dilakukan dengan menerapkan variasi jarak sela dari elektroda uji untuk setiap minyak dengan suhu dari 20°C sampai 90°C. Dari hasil pengujian yang didapatkan, diperoleh gambar grafik karakteristik yang menunjukkan tegangan tembus minyak transformator nynnas dengan pengaruh perbedaan jarak sela elektroda saat pengujian dengan menggunakan elektroda uji setengah bola-setengah bola.

Dari Gambar 3 dapat dilihat karakteristik minyak transformator nynnas untuk setiap suhu tertentu akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jarak sela antar elektroda. Ini disebabkan karena jika jarak sela antara elektroda yang semakin jauh, tegangan yang diterapkan harus besar karena membutuhkan kuat medan yang besar untuk proses ionisasi gas di dalam minyak

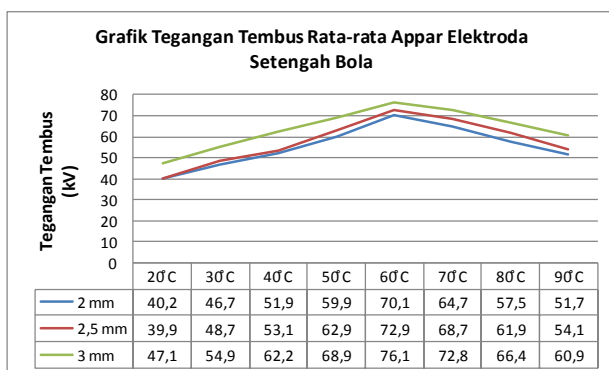
transformator tersebut. Pada jarak sela yang semakin besar maka medan listrik yang dibutuhkan besar sehingga energi benturan elektron dalam gelembung udara juga besar. Hal ini akan meningkatkan kuat medan listrik untuk terjadinya kegagalan pada zat cair tersebut. Sedangkan pada jarak yang kecil dengan medan sangat kuat, proses ionisasi gas di dalam minyak transformator akan semakin mudah terjadi, akibatnya tegangan yang diterapkan akan dengan mudah menembus minyak transformator.



Gambar 3. Karakteristik tegangan tembus nynnas terhadap jarak sela

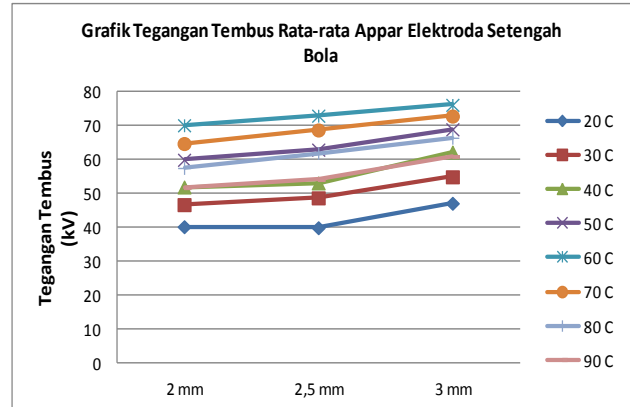
Karakteristik Tegangan Tembus Appar terhadap Suhu

Karakteristik tegangan tembus terhadap suhu pengujian tegangan tembus minyak appar total dilakukan dengan menerapkan variasi suhu pada minyak transformator dari 20°C sampai 90°C. Dari hasil pengujian yang telah didapatkan, diperoleh gambar grafik karakteristik yang menunjukkan tegangan tembus minyak transformator appar total dengan pengaruh perbedaan suhu pada minyak saat pengujian dengan menggunakan elektroda uji setengah bola. Pengujian tegangan tembus pada minyak transformator dilakukan saat suhu minyak transformator 20°C sampai 90°C, di uji setiap kenaikan suhu sebesar 10°C.



Gambar 4. Karakteristik tegangan tembus appar terhadap suhu

Karakteristik Tegangan Tembus Appar terhadap Jarak Sela

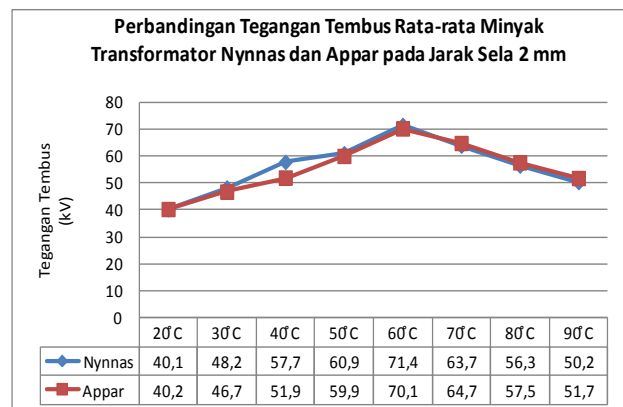


Gambar 5. Karakteristik tegangan tembus appar terhadap jarak elektrode

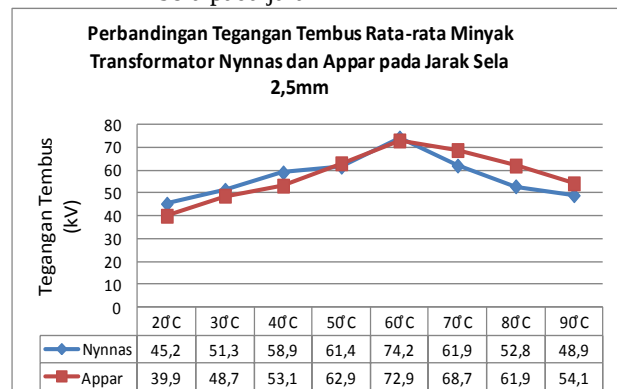
Dari Gambar 5 dapat dilihat karakteristik minyak transformator appar untuk setiap suhu tertentu akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jarak sela antar elektrode.

Perbandingan Tegangan Tembus Minyak Transformator Nynnas dan Appar dengan Elektroda Uji Setengah Bola

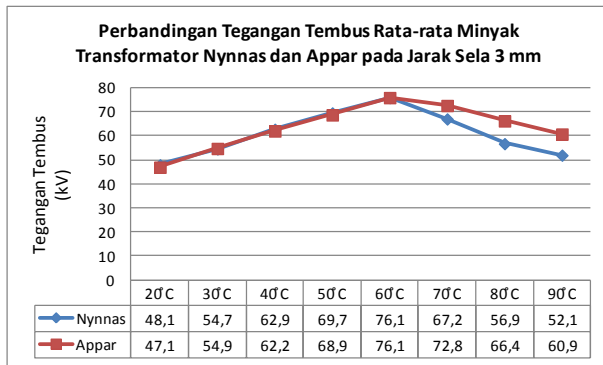
Dari hasil pengujian tegangan tembus minyak transformator nynnas dan appar yang diuji menggunakan elektroda setengah bola-setengah bola, dapat diperoleh grafik karakteristik perbandingan sebagai berikut :



Gambar 6. Grafik perbandingan tegangan tembus minyak nynnas dan appar terhadap suhu minyak menggunakan elektroda setengah bola pada jarak 2 mm



Gambar 7. Grafik perbandingan tegangan tembus minyak nynnas dan appar total terhadap suhu minyak menggunakan elektroda setengah bola pada jarak 2,5 mm



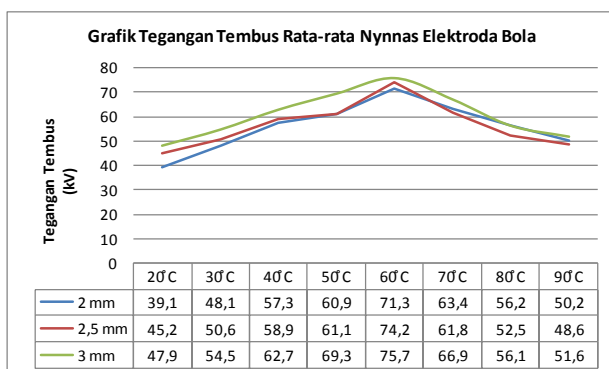
Gambar 8. Grafik perbandingan tegangan tembus minyak nynnas dan appar terhadap suhu minyak menggunakan elektroda setengah bola pada jarak 3 mm

Berdasarkan gambar 6, gambar 7 dan gambar 8 sampai dengan suhu 60°C, kemampuan tegangan tembus minyak transformator nynnas lebih baik dibandingkan appar, tetapi saat diberi suhu di atas 60°C kemampuan tegangan tembus appar lebih baik dibanding nynnas. Bahwa rata-rata sistem insulasi saat ini didesain untuk beroperasi pada suhu belitan rata-rata 65°C dan suhu belitan *hottest-spot* 80°C.

Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Transformator terhadap Suhu dan Jarak Sela dengan Elektroda Uji Bola – Bola

Karakteristik Tegangan Tembus Nynnas terhadap Suhu

Dari hasil pengujian tegangan tembus minyak tranformator nynnas yang diuji menggunakan elektroda bola-bola, dapat diperoleh gambar grafik karakteristik tegangan tembus minyak transformator nynnas terhadap suhu sebagai berikut:

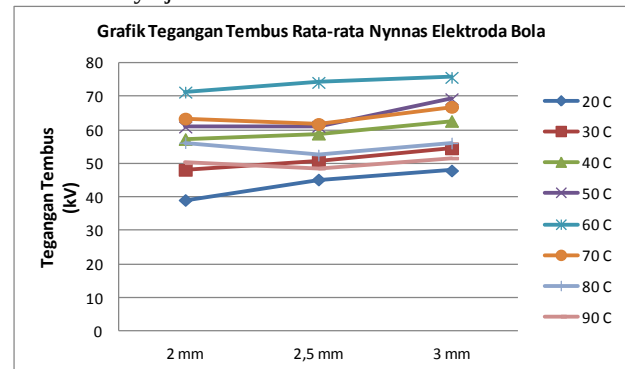


Gambar 9. Karakteristik tegangan tembus nynnas terhadap suhu dengan elektroda bola

Pada Gambar 9. dapat diketahui karakteristik minyak transformator nynnas pada pengujian tegangan tembus dengan menggunakan elektroda uji bola-bola nyaris sama dengan pengujian setengah bola. Dimana tegangan tembus minyak transformator nynnas semakin meningkat seiring dengan semakin naiknya suhu pada minyak transformator. Namun kemampuan tegangan tembus akan turun saat suhu mencapai 70°C.

Karakteristik Tegangan Tembus Nynnas terhadap Jarak Sela

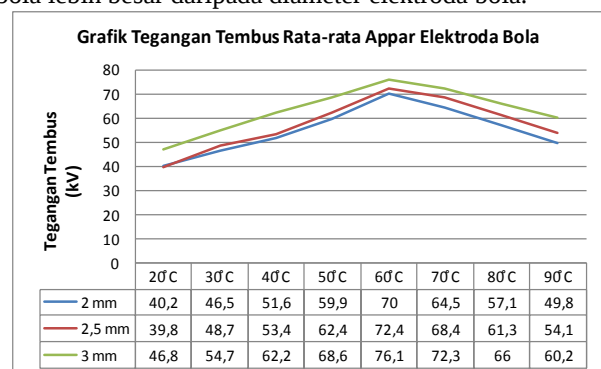
Jika merujuk pada gambar 10. karakteristik minyak transformator nynnas elektroda uji bola-bola akan sama dengan elektroda uji setengah bola untuk setiap suhu tertentu akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jarak sela antar elektroda.



Gambar 10. Karakteristik tegangan tembus nynnas terhadap jarak sela

Karakteristik Tegangan Tembus Appar terhadap Suhu

Berdasarkan gambar 2, gambar 4, gambar 9 dan gambar 11 dapat dilihat bahwa nilai tegangan tembus minyak transformator dengan suhu 20°C sampai 90°C yang di uji dengan menggunakan elektroda setengah bola-setengah bola nilai tegangan tembusnya untuk setiap jarak sela selalu lebih besar dari pada nilai tegangan tembus minyak transformator yang di uji dengan elektroda uji bola-bola. Hal ini disebabkan oleh diameter dari elektroda setengah bola lebih besar daripada diameter elektroda bola.



Gambar 11. Karakteristik tegangan tembus nynnas terhadap suhu dengan elektroda bola

Diameter elektroda setengah bola pada pengujian tegangan tembus ini adalah 50 mm, sedangkan diameter elektroda bola adalah 25 mm sehingga perbedaan diameter ini mempengaruhi luas permukaan dari elektroda. Luas permukaan setiap elektroda dapat dihitung, yaitu :

Elektroda setengah bola

Diameter = 50 mm

Jari-jari (r) = 25 mm

Sehingga luas permukaan dari setengah bola adalah :

$$A = \frac{4\pi r^2}{2} = \frac{4\pi 25^2}{2} = 1250\pi \text{ mm}^2$$

Elektroda bola

Diameter = 25 mm

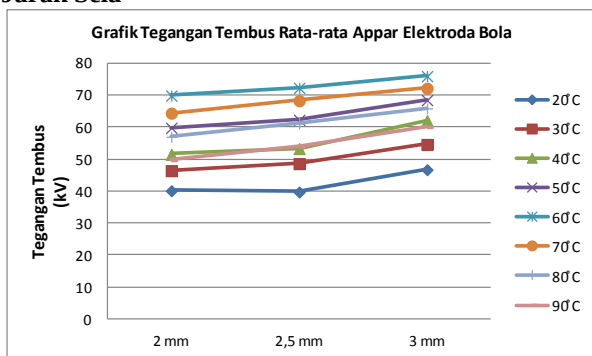
Jari-jari (r) = 12,5 mm

Sehingga luas permukaan dari bola adalah :

$$A = \frac{4\pi r^2}{2} = \frac{4\pi 12.5^2}{2} = 625\pi \text{ mm}^2$$

Dari hasil perhitungan luas permukaan kedua elektroda, diketahui bahwa luas permukaan elektroda setengah bola lebih besar daripada elektroda bola. Hal ini menyebabkan nilai tegangan tembus minyak trafo yang di uji dengan menggunakan elektroda setengah bola menjadi lebih besar daripada minyak trafo yang di uji dengan elektroda bola, karena luas permukaan elektroda mempengaruhi kerapatan elektron pada elektroda, semakin besar luas permukaan suatu elektroda maka kerapatan elektron akan semakin kecil, sehingga elektroda akan sulit untuk melepaskan elektronnya. Semakin besar luas permukaan elektroda maka dibutuhkan tegangan yang lebih besar untuk menghasilkan medan listrik yang besar pula supaya terjadi proses tembus isolasi.

Karakteristik Tegangan Tembus Appar terhadap Jarak Sela

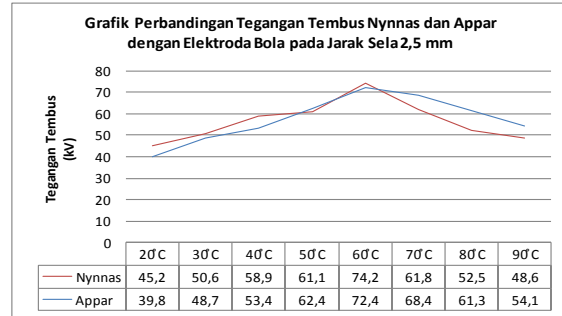


Gambar 12. Karakteristik tegangan tembus appar terhadap suhu dengan elektroda bola

Pengujian minyak transformator appar dengan elektroda bola-bola adalah seperti pada gambar 4.11 dapat terlihat karakteristik tegangan tembus minyak transformator appar semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jarak sela antar elektroda. Ini disebabkan karena jika jarak sela antara elektroda yang semakin jauh, tegangan yang diterapkan harus besar karena membutuhkan kuat medan yang besar untuk proses ionisasi gas di dalam minyak transformator tersebut.

Perbandingan Tegangan Tembus Minyak Tranformator Nynnas dan Appar dengan Elektroda Uji Setengah Bola dan Elektroda Uji Bola

Serupa dengan pengujian menggunakan elektroda setengah bola, berdasarkan gambar 4.12 dan gambar 14 sampai dengan suhu 60°C, kemampuan tegangan tembus minyak transformator nynnas lebih baik dibandingkan appar, tetapi saat diberi suhu di atas 60°C, kemampuan tegangan tembus appar lebih baik dibanding nynnas.



Gambar 13. Perbandingan karakteristik tegangan tembus nynnas dan appar dengan elektroda bola

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil uji data tegangan tembus minyak nynnas dan appar yang telah didapatkan adalah sebagai berikut:

1. Untuk elektroda setengah bola, tegangan tembus minyak transformator nynnas menggunakan elektroda 2 mm, akan semakin besar nilainya dengan penambahan suhu. Tegangan tembus paling tinggi terjadi pada 60°C yakni 71,4 kV. tegangan tembus minyak transformator appar menggunakan elektroda 2 mm, akan semakin besar nilainya dengan penambahan suhu. Tegangan tembus paling tinggi terjadi pada 60°C yakni 70,1 kV. Hal yang sama juga terjadi pada jarak 2,5 mm dan 3 mm.
2. Untuk elektroda bola-bola, tegangan tembus minyak transformator nynnas menggunakan elektroda 2 mm, akan semakin besar nilainya dengan penambahan suhu. Tegangan tembus paling tinggi terjadi pada 60°C yakni 71,3 kV. tegangan tembus minyak transformator appar menggunakan elektroda 2 mm, akan semakin besar nilainya dengan penambahan suhu. Tegangan tembus paling tinggi terjadi pada 60°C yakni 70 kV. Hal yang sama juga terjadi pada jarak 2,5 mm dan 3 mm.
3. Nilai tegangan tembus minyak transformator nynnas dan appar total menurut standar IEC 60422:2005 adalah lebih dari 30 KV/2,5 mm pada suhu 30°C, sedangkan pada pengujian nilainya lebih baik dari standar yaitu 48,2 kV/2,5 mm untuk nynnas dan 46,7 kV untuk appar pada suhu 30°C.

REFERENSI

- Arismunandar A., 1983, *Teknik Tegangan Tinggi*, Ghalia, Indonesia. Jakarta.
- Bonggas, L. Tobing, 2003, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Faishal, M., A., R., *Analisa Jenis Kegagalan Transformer Berdasarkan Hasil Uji DGA Dengan Metode Roger's Ratio PLTU Tambak Lorok*, Makalah Seminar Kerja Praktek, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Kuntoro Wibowo, Wahyu, 2008, *Analisis Karakteristik Breakdown Voltage Pada Dielektrik Minyak Shell Diala B Pada Suhu 30°C-130°C*, Jurnal, Universitas Diponegoro, Semarang.

- Naidu, M. S., dan V Kamaraju. 1996. *High Voltage Engineering Second Edition*. United States : The McGraw Hill
- Sinuhaji, Y., P., 2012, *Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Fuzzy Logic pada Gardu Induk Wilayah Sidoarjo*, Tugas Akhir, Surabaya.
- Laporan Kerusakan Trafo PLN Wilayah Bangka Belitung, 2016.
- Materi Diklat PLN Analisa Kondisi Trafo Distribusi, 2013.
- Gardu Induk Wilayah Sidoarjo*, Tugas Akhir, Surabaya.