

SISTEM ALAT TREATMENT PENGUJIAN DAYA TEMBUSAN MINYAK TRANSFORMATOR PADA TEGANGAN 20 KV

PT DARMA KARYA ELEKTRIK

Muhammad Yasin Haeruddin¹, Abdul Hafid², Antarissubhi³

^{1,2,3}Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

Email: yasinhr88@gmail.com¹, abdulhafid@unismuh.co.id²,
Antarissubhi@unismuh.co.id³

Abstrak: Liquid Insulating Oil Is Very Important In Transformer Equipment To Maintain Performance So That It Operates According To Its Function. However, Transformer Oil Can Be Contaminated And Cause Dielectric Strength In Liquid Insulation Which Is Not Suitable For Use. Therefore, Purification Of Transformer Oil Using An Oil Treatment Plant And Adsorbents Can Purify Used Transformer Oil So That It Has Specifications According To Its Function As An Insulator. In Addition, An Ideal Liquid Insulating Material Should Have High Values For Dielectric Strength, Volume Resistivity, And Specific Heat, As Well As Be Environmentally Friendly. Although Currently Liquid Insulating Materials Are Still Processed From Petroleum, Efforts Are Being Made To Find New Sources Of Environmentally Friendly Liquid Insulating Materials.

Intisari—Dalam Rangka Keberlangsungan Lingkungan, Penting Bagi Industri Kelistrikan Dan Produsen Bahan Isolasi Cair Untuk Terus Melakukan Riset Dan Perkembangan Dalam Mencari Alternatif Bahan Isolasi Cair Yang Lebih Ramah Lingkungan Dan Berkelaanjutan. Semakin Berkembangnya Teknologi Dan Kesadaran Akan Pentingnya Menjaga Lingkungan, Diharapkan Bahan Isolasi Cair Yang Ramah Lingkungan Akan Semakin Popular Dan Dapat Digunakan Secara Luas Dalam Industri.

Kata kunci isolasi cair, minyak trafo, purifikasi minyak trafo, tegangan 20 KV, bahan dasar minyak transformator, bahan isolasi cair, kekuatan dielektrik, base oil.

I. PENDAHULUAN

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik tegangan menengah 20 kV sangat bergantung pada kinerja transformator distribusi. Transformator harus mampu beroperasi secara kontinu, aman, dan stabil untuk menjamin kualitas penyaluran energi listrik kepada konsumen. Salah satu faktor utama yang menentukan keandalan transformator adalah sistem isolasinya, terutama minyak transformator sebagai media isolasi dan pendingin.

Apabila kualitas minyak isolasi menurun, maka kemampuan transformator dalam menahan tegangan kerja dan tegangan lebih akan berkurang, sehingga meningkatkan risiko gangguan dan kegagalan sistem.

Minyak transformator yang digunakan pada sistem 20 kV harus memenuhi persyaratan standar tertentu, salah satunya adalah daya tembus listrik (Breakdown Voltage/BDV). Dalam kondisi operasi jangka panjang, minyak transformator mengalami penurunan kualitas akibat: Penyerapan kadar air (moisture) dari lingkungan, Kontaminasi partikel padat dan kotoran, Proses oksidasi karena temperatur tinggi, Gas hasil degradasi isolasi. Penurunan kualitas ini menyebabkan nilai BDV minyak menurun di bawah batas standar, sehingga dapat mengakibatkan flashover internal, penurunan umur isolasi, dan bahkan kerusakan transformator.

Untuk menjaga kualitas minyak, digunakan sistem alat treatment minyak transformator yang berfungsi menghilangkan kadar air, gas, dan partikel pengotor. Namun, dalam penerapannya masih ditemukan beberapa permasalahan, antara lain: Proses dehidrasi dan filtrasi minyak belum optimal, Pengaturan suhu dan tekanan vakum pada alat treatment tidak stabil, Efektivitas alat berbeda-beda tergantung kondisi minyak awal, Hasil treatment tidak selalu menghasilkan nilai BDV sesuai standar minyak isolasi 20 kV, Kondisi ini menimbulkan ketidakpastian terhadap efektivitas sistem alat treatment dalam meningkatkan daya tembus minyak transformator.

Selain proses treatment, pengujian daya tembus minyak juga memegang peranan penting dalam memastikan kualitas minyak transformator. Permasalahan yang sering muncul dalam sistem pengujian antara lain: Ketidaktepatan prosedur pengujian BDV, Kondisi elektroda dan jarak sela tidak sesuai standar, Pengaruh suhu dan kebersihan sampel minyak, Hasil pengujian yang kurang konsisten dan tidak representatif, Akibatnya, hasil pengujian daya tembus minyak belum sepenuhnya mencerminkan kondisi aktual minyak transformator setelah dilakukan treatment.

Dengan demikian, diperlukan kajian mengenai sistem alat treatment dan pengujian daya tembus minyak transformator pada tegangan 20 kV guna menjamin keandalan transformator, memperpanjang umur isolasi, serta meminimalkan risiko gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Minyak Trafo

Minyak trafo memiliki fungsi sebagai berikut:

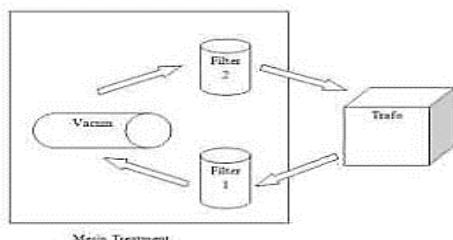
- Isolasi yaitu mengisolasi kumparan didalam trafo supaya tidak terjadi loncatan bunga api listrik (hubungan pendek) akibat tegangan tinggi.
- Pendingin yaitu mengambil panas yang ditimbulkan sewaktu transformator berbeban lalu melepaskannya.
- Melindungi komponen-komponen di dalam Transformator terhadap korosi dan oksidasi.

Untuk itu minyak transformator harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Menurut IEC 296, oli transformator harus Kelas 1 dan 2, yang berarti bahwa untuk oli baru yang belum disaring, harus $> 30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$, dan setelah disaring, harus $> 50 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$. Ini menunjukkan bahwa kekuatan isolasi harus kuat.
- Penyalur panas yang baik, berat jenis kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
- Viskositas rendah meningkatkan kapasitas pendinginan dan mempermudah sirkulasi. Menurut IEC 296, oli kelas 1 memiliki viskositas kurang dari 16,5 cSt pada suhu 40 derajat Celcius.
- Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan. Sesuai IEC 296 Flash point minyak transformator di atas 163°C dan Pour point adalah di bawah – 30°C.
- Tidak merusak bahan isolasi padat.
- Sifat kimia (keasaman) yang stabil. [1]

Minyak Transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang digunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagai bagian dari bahan isolasi, minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus dan sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus dapat menahan panas dengan kedua kemampuan maka minyak transformator mampu melindungi transformator dari gangguan ataupun kerusakan.[2]

Proses Tahapan Purifikasi (Filtering)



Adapun Tahapan proses purifikasi:

- a. Dengan menggunakan daya hisap motor tiga fasa yang dipasang setelah filter pertama, oli di dalam transformator dikuras ke filter pertama, sehingga oli dapat masuk. Kontaminan termasuk partikel karbon yang lebih besar dari 10 mikron dan residu korosi peralatan dihilangkan oleh filter ini.
- b. Minyak kemudian dikirim menuju ruang boiler vakum. Dua pemanas diposisikan secara vertikal di ruangan ini. Tujuan pemanas ini adalah untuk menghangatkan minyak. Selain itu, ditambahkan indikator level minyak tabung vakum. Sensor inframerah digunakan pada indikator ini. Motor yang menarik minyak dari filter akan berhenti ketika minyak menghalangi cahaya inframerah. Minyak dipanaskan hingga sekitar 70°C di ruang ini. Air akan menguap di ruang vakum di bawah titik didihnya, yaitu 100°C. Mesin vakum digunakan untuk menghilangkan uap air dari pemanas. Minyak dan udara luar tidak bercampur saat menggunakan metode vakum.
- c. Oli mengalir ke filter kedua setelah dipisahkan dari kandungan air. Filter ini memiliki pori-pori berukuran lima mikron. Filter ini akan menyaring kontaminan yang tidak dihilangkan oleh filter pertama. Oli akan disirkulasikan secara berkala atau langkah-langkah proses yang disebutkan di atas akan diulang. Pedoman PLN (Buku Manual Produk Transformator) menyatakan bahwa oli baru membutuhkan dua hingga tiga kali sirkulasi, sedangkan oli lama membutuhkan empat hingga enam kali. Namun, kualitas oli transformator sebelum pemurnian pada dasarnya berfungsi sebagai standar untuk menghitung jumlah sirkulasi. Dengan kecepatan putaran motor $\pm 19 \text{ rpm}$, mesin dapat mensirkulasikan 1000 liter oli dalam satu jam. Ini menunjukkan bahwa dibutuhkan ± 7 detik untuk mensirkulasikan satu liter oli. Diharapkan proses pemanasan dan penyaringan oli akan berada pada kondisi terbaik selama waktu ini.[3]

B. Spesifikasi Transformator

Spesifikasi dan metode pengetesan minyak yang digunakan untuk minyak isolasi transformator adalah menggunakan standar IEC Publ 296 "Specification for unused mineral insulating oil for transformer and switchgear".

Jika minyak isolasi transformator didatangkan dengan tangki tersendiri, besar moisture yang

terdapat dalam minyak tidak boleh lebih besar dari 10 ppm dan dalam masa pengangkutan minyak tidak boleh terkontaminasi oleh udara, maka sebelum minyak dipompakan ke dalam tangki transformator perlu dilakukan penyaringan dan pemurnian (Treatment).

C. Pertahanan Transformator.

Transformator memiliki sistem keselamatan sebagai berikut:

1. Konservator dan tangki.

Komponen-komponen transformator yang terendam dalam oli transformator seringkali ditemukan di dalam sebuah tangki. Tangki tersebut memiliki konservator untuk memungkinkan pemuaian oli transformator.

2. Pendinginan.

Panas akan dihasilkan dari kehilangan besi dan tembaga pada inti besi dan kumparan. Transformator harus dilengkapi sistem pendingin untuk mencegah peningkatan suhu yang berlebihan yang dapat merusak isolasi transformator. Sementara itu, kisi-kisi tangki oli transformator berfungsi sebagai mediator perpindahan panas yang bersentuhan langsung dengan udara luar, mengarahkan panas keluar dari transformator. Udara, gas, oli, dan air semuanya dapat digunakan sebagai media sistem pendingin..[4]

Minyak transformator adalah campuran molekul hidrokarbon dengan ikatan kimia yang menghubungkan CH₂, CH₃, dan CH₃. Masalah termal dan listrik dapat menyebabkan ikatan ini putus. Gas-gas seperti hidrogen (H₂), metana (CH₄), etana (C₂H₆), etilena (C₂H₄), dan asetilena (C₂H₂) dapat dihasilkan ketika minyak transformator rusak. Karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) dihasilkan ketika isolasi selulosa transformator rusak. Selain itu, gas terlarut dari proses katalitik dan gas yang tidak diinginkan mungkin terdapat dalam minyak transformator. Bahkan ketika transformator beroperasi normal, kedua hal ini dapat terjadi..[5]

Kualitas isolasi transformator dapat memburuk. Masalah kesehatan transformator dapat diidentifikasi sejak dini menggunakan kondisi isolasi. Pengujian oli transformator yang digunakan untuk menilai kondisi isolasi transformator meliputi analisis gas terlarut dan pengujian tegangan tembus. Gas terlarut dalam oli

transformator dapat diperiksa melalui analisis gas terlarut. Gas penyebab kerusakan adalah gas terlarut yang ditemukan selama pengujian DGA. Hidrogen (H₂), metana (CH₄), etana (C₂H₆), etilena (C₂H₄), asetilena (C₂H₂), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO₂) adalah contoh gas penyebab kerusakan. Gangguan atau kondisi abnormal yang terjadi pada trafo dapat menyebabkan terbentuknya gas di dalam oli. Untuk melakukan pemeliharaan preventif dan prediktif, perlu dilaksanakan pemeriksaan dan pengujian kondisi oli trafo secara berkala. Artikel ini membahas pemeriksaan dan pengujian kondisi oli trafo pada pembangkit listrik tenaga uap dengan DGA dan uji tegangan tembus untuk memastikan trafo masih layak digunakan atau perlu di purifikasi atau diganti. Tindakan ini sebagai tindakan preventif untuk menghindari trafo mengalami kegagalan kerja dan memprediksi umur ekonomis trafo.[6]

III. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Tahapan – Tahapan penyelesaian yaitu sebagai berikut :

1. Melakukan Treatment Minyak Trafo Bekas
Minyak Trafo bekas untuk Treatment menggunakan alat yang bernama Oil Treatment plant sebanyak 6 kali sirkulasi sesuai standar PLN (Manual book Produk Trafo). Setelah proses Treatment minyak trafo selesai, dilanjutkan dengan membagi tiga kelompok sampel A, B, C minyak trafo sesudah Treatment dan memasukkannya ke dalam jerigen sebagai wadah penyimpanan minyak trafo sebanyak 3 liter
2. Pengujian Tegangan tembus Minyak trafo Setelah Treatment
Pengujian tegangan tembus minyak trafo sesudah treatment, dilakukan menggunakan alat Nakin IIJ-II-100 Oil Tester berada di PT. Darma Karya Elektrik, dengan elektroda yang digunakan adalah elektroda berbentuk mushroom (jamur) berdiameter 12,5 mm dengan jarak elektroda 2,5 mm. minyak trafo setelah Treatment diuji tegangan tembus sebanyak 6 kali dari masing – masing sampel selanjutnya dihitung nilai rata- rata tegangan tembusannya.
3. Menimbang Bentonit
Bentonit yang akan dicampurkan dengan minyak trafo terlebih dahulu ditimbang. Prosesnya bentonit ditimbang dengan rasio

0,6% ; 0,95% ; 1,35% ; 1,65% dan 2% dari berat massa sampel minyak yang diuji. Untuk menentukan berat bentonit sesuai dengan rasio dari berat massa sampel minyak trafo dapat dihitung menggunakan rumus :

$$P = \frac{M}{V}$$

Dimana :

ρ : Massa jenis minyak trafo
[g/ml]

M : Massa bentonite [g]

V : Volume sampel minyak trafo
[ml]

Untuk menentukan berat dari variasi rasio bentonit yang akan digunakan maka dihitung dengan menggunakan rumus :

Rasio bentonite (%) X Berat sampel minyak Trafo (gram) Setelah mengetahui berat bentonit yang dibutuhkan kemudian bentonite tersebut ditimbang menggunakan timbangan Neraca digital Analitik.

4. Melakukan Bleaching (pemutihan)

Setelah ditimbang, bentonit dicampurkan dengan minyak trafo bekas sesudah dilakukan proses treatment menggunakan magnetic stirrer kecepatan tetap yaitu 750 Rpm dengan waktu selama 30 menit yang mengacu pada penelitian. Setelah itu disaring menggunakan Creape paper untuk memisahkan endapan bentonite dan minyak trafo yang sudah dipulihkan. Setelah terpisah antara endapan bentonit dengan minyak trafo maka dilanjutkan dengan menimbang endapan bentonit yang nantinya digunakan sebagai data analisis pengaruh bentonite terhadap kejernihan minyak trafo bekas.[7]

5. Pengujian Tegangan Tembus Setelah Pemutihan Minyak Trafo Bekas

Alat penguji minyak OTS80Af magger dari PT. Darma Karya Elektrik digunakan untuk menguji tegangan tembus minyak trafo. Sesuai dengan kriteria nilai tegangan tembus standar untuk minyak isolasi trafo, yaitu $> 30\text{kV}/2.5\text{mm}$ berdasarkan SPLN 49-91: 1982 dan IEC 60156-95, elektroda yang digunakan adalah elektroda berbentuk jamur dengan diameter 12,5 mm dan jarak antar elektroda 2,5 mm. Nilai tegangan tembus rata-rata dihitung setelah setiap sampel minyak menjalani enam kali pengujian tegangan tembus. Larutan N-Heksana pertama kali ditambahkan ke tabung uji, kemudian dikocok untuk melarutkan sisa minyak pada permukaan elektroda dan dinding tabung uji sebelum dibersihkan. Ini adalah langkah pertama dalam prosedur pengujian tegangan tembus. Minyak trafo kemudian ditambahkan ke tabung uji untuk pengujian. Setelah alat ukur dinyalakan, prosedur pengujian tegangan tembus ditampilkan di layar. Proses ini melibatkan pengkondisian minyak dalam tabung reaksi selama lima menit, menunggu tegangan naik secara bertahap hingga minyak mencapai tegangan tembus, dan kemudian memutar pengaduk

selama dua menit setelah tegangan tembus tercapai sebelum melanjutkan ke pengujian berikutnya

6. Pengujian Kejernihan Minyak Trafo

Pengujian kejernihan minyak trafo dilakukan untuk mengetahui tingkat kejernihan minyak trafo bekas setelah bleaching dengan bahan adsorben yaitu bentonit. Minyak trafo bekas yang sudah dilakukan proses treatment serta bleaching menggunakan bentonit dengan rasio 0%, 0,6%, 0,95%, 1,3%, 1,65% dan 2% dan dimasukkan ke dalam wadah kemudian akan di uji tingkat kejernihannya. Proses pengujian tingkat kejernihan minyak trafo ini dilakukan oleh UPT. LTSIT (Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi) untuk mencari nilai absorbansi dan panjang gelombang cutoff pada masing-masing sampel dengan metode uji mengacu pada penelitian Lo,K. C. Tahun 2018, dengan menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis Double beam. Setelah didapatkan nilai absorbansi (Abs) dan panjang gelombang cutoff (CW) dari masing – masing sampel selanjutnya menghitung nilai CI (Colour Index) menggunakan persamaan model matematis analisis regresi Gaussian.

$$Cl = 14.4682e - 0.5 \frac{(Abs - 2,1818^2)}{1.642} + \frac{(CW - 714,289^2)}{157,9937}$$

Dimana

Cl : Indeks Warna

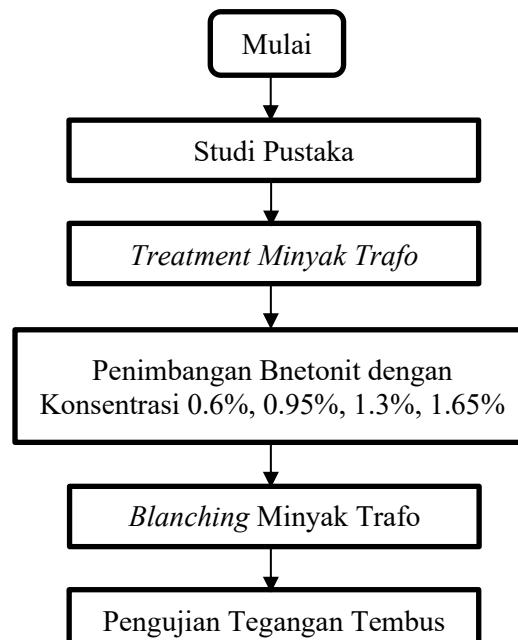
CW : Panjang Gelombang Cutoff (nm)

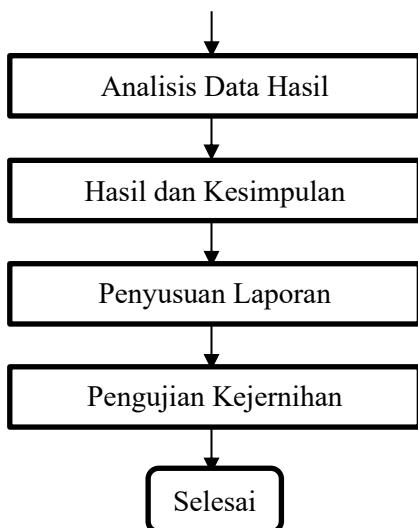
Abs : Absorbansi

Minyak transformator yang sesuai untuk digunakan sebagai isolasi cair harus memiliki nilai Indeks Warna (Cl) sebesar 1, berdasarkan panduan standar Metode PT. PLN (Persero) P3B 2003 ASTM D 1500 untuk Pemeliharaan Transformator Daya [5].

B. Diagram Airl Penelitian

Urutan diaram alir proses penelitian ini adalah sebagai berikut :





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

mengulanginya. Pastikan tidak ada gelembung udara yang terbentuk di celah-celah tersebut.



Gambar 4.1 Pengisian Minyak Transformator saat ON setelah dipurifikasi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Uji Tegangan Rusak

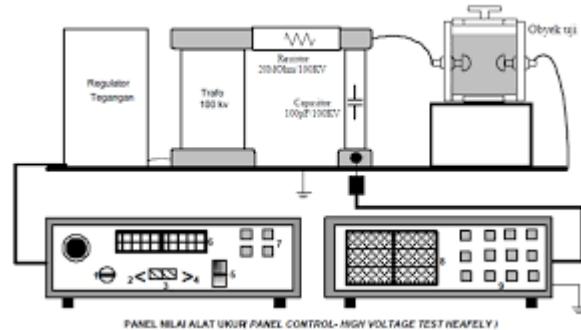
Sebelum melakukan purifikasi minyak Transformator terlebih dahulu dilakukan pengujian tembus pada minyak trafo. Tegangan tembus (Breakdown Voltage Test) adalah salah satu pengujian yang dilakukan pada minyak Trafo dengan tujuan adalah untuk mengetahui kemampuan isolasi minyak terhadap tegangan yang diberikan. Jika nilai tegangan tembus tinggi bisa disimpulkan bahwa minyak Trafo dalam kondisi masih baik dan layak digunakan. Sebaiknya jika nilai tegangan tembus rendah maka bisa disimpulkan bahwa kondisi minyak tidak bagus. Biasanya pada umumnya nilai tegangan tembus yang bagus adalah >50 KV.[8] Adapun prosedur pegujian tegangan tembus yaitu :

1. Persiapan Sampel: Untuk memastikan bahwa polutan cair terhomogenisasi tanpa menimbulkan gelembung udara atau cairan, sampel harus dikocok perlahan beberapa kali sebelum dimasukkan ke dalam kotak uji.
2. Mengisi Kotak Uji: Bersihkan elektroda, dinding, dan bagian lain dari kotak uji sebelum memulai pengujian. Selanjutnya, tuangkan larutan ke dalam kotak uji dengan hati-hati untuk mencegah terbentuknya gelembung udara.
3. Penerapan Tegangan: Tingkatkan tegangan yang diterapkan pada elektroda secara seragam (konstan) dari 0 V hingga sekitar 2,0 kV sampai tegangan tembus tercapai.
4. Pencatatan data: Lakukan enam uji penetrasi pada kotak uji yang sama, beri jeda setidaknya dua menit di antara setiap pengujian sebelum



Gambar 4.2 Persiapan purifikasi minyak transformator

Pengujian tegangan tembus oli transformator sebelum penyaringan

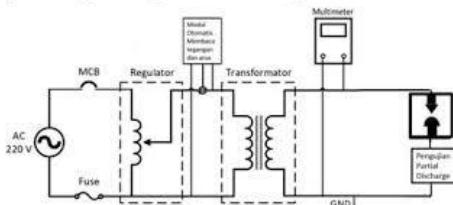


Gambar 4.3: Rangkaian uji untuk tegangan tembus oli transformator sebelum penyaringan

Mengambil sampel oli dari katup bawah, mempersiapkannya di ruang uji, dan kemudian mengukur tegangan tembusnya adalah prosedur untuk menentukan tegangan tembus oli transformator pada rangkaian tersebut. Alat uji megger digunakan untuk mulai mengevaluasi tegangan tembus oli

transformator sebelum penyaringan. OTS100AF dapat kita lihat langkahnya sebagai berikut

1. Tekan tombol On untuk mengaktifkan alat uji.
2. Siapkan sampel oli untuk pengujian di dalam kotak uji.
3. Pada monitor, pilih Edit ID, lalu klik OK.
4. Edit id sesuai dengan tempat atau waktu pengujian
5. Tekan tombol test untuk memulai pengujian
6. Hasil pengujian sebanyak 6 kali di print untuk melihat hasil rata – rata dari 6 pengujian tersebut.[9]



Gambar 4.4 Pengujian tegangan tembus minyak trafo sebelum di filter

Dipasang di valf atas main Tank untuk mendorong minyak Dari mesin penyaring, mulailah mengumpulkan sampel oli dari katup bawah, siapkan sampel di instrumen pengujian, lalu periksa tegangan tembus sampel oli. Masukkan alamat host, iot.serangkota.go.id, dan port, 9443, di bawah Pengaturan Server sebelum mengakses pengaturan server yang disesuaikan. Buka Blynk di ponsel dan masuk. Masukkan kata sandi dan alamat email Blynk Anda. Terlampir adalah kata sandi dan email Blynk. Untuk memulai proses, klik tombol putar yang terletak di pojok kanan atas. Memasang sensor pH dan kelembaban tanah ke tanah yang ditentukan adalah langkah terakhir.



Gambar 4.5 Pengujian tegangan tembus minyak trafo Sesudah di filter.

Untuk mulai pengujian tegangan tembus oli transformator setelah penyaringan menggunakan alat uji megger merek OTS100AF, kita dapat melihat langkah-langkahnya sebagai berikut.

1. Tekan tombol On untuk mengaktifkan alat uji.
2. Siapkan sampel oli untuk pengujian di dalam kotak uji.
3. Pada monitor, pilih Edit ID, lalu klik OK.
4. Ubah ID sesuai dengan lokasi atau waktu pengujian.
5. Untuk memulai, tekan tombol uji.

6. Untuk melihat rata-rata dari enam tes tersebut, Hasilnya dicetak.

Pengujian tegangan tembus minyak trafo dilakukan dengan menerapkan 6 tahap pengujian untuk mendapatkan nilai rata- rata dari hasil pengujian sebelum dan sesudah di filter. Dari hasil pengujian yang telah didapatkan, diperoleh gambar grafik karakteristik yang menunjukkan tegangan tembus minyak transformator sebelum dan sesudah di filter.^[13]

Tabel 4.1 Analisis karakteristik tegangan tembus minyak trafo sebelum di filter

No	Tahap tembusan	Parameter	Nilai (Hasil)	satuan	bagus	jelek	kesimpulan
1	Test 1	Tegangan Tembus	21,8	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Jelek
2	Test 2	Tegangan Tembus	29,6	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Jelek
3	Test 3	Tegangan Tembus	23,8	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Jelek
4	Test 4	Tegangan Tembus	29,4	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Jelek
5	Test 5	Tegangan Tembus	25,3	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Jelek
6	Test 6	Tegangan Tembus	37,8	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Jelek

Tabel 4.2 Hasil uji tegangan tembus dan viskositas oli transformator rata-rata sebelum penyaringan.

No	Parameter	Hasil Pengujian		Kondisi Minyak		Kesimpulan
		Nilai	Satuan	Bagus	Sedang	
1	Tegangan Tembus	29,1	Kv/2,5mm	> 50	40-50	< 40
2	Viskositas	3,5	-	< 3,5	3,5	> 3,5



Gambar 4.6 tegangan tembus oli transformator sebelum penyaringan

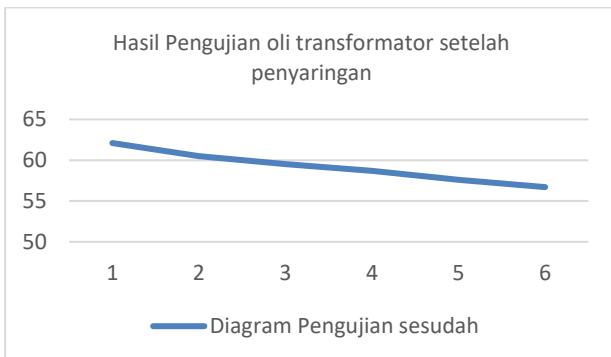
Dengan menggunakan elektroda berbentuk setengah bola, kekuatan dielektrik rata-rata oli transformator sebelum penyaringan adalah sekitar 29,1 Kv/2,5 mm. Dari hasil pengujian rata-rata ini dapat disimpulkan bahwa tegangan tembus oli transformator sebelum penyaringan berada di bawah standar.

Tabel 4.3 Hasil pengujian tegangan tembus minyak trafo Sesudah di filter

No	Tahap tembusan	Parameter	Nilai (Hasil)	satuan	bagus	jelek	Kesimpulan
1	Test 1	Tegangan Tembus	62,1	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Bagus
2	Test 2	Tegangan Tembus	60,5	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Bagus
3	Test 3	Tegangan Tembus	59,5	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Bagus
4	Test 4	Tegangan Tembus	58,7	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Bagus
5	Test 5	Tegangan Tembus	57,5	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Bagus
6	Test 6	Tegangan Tembus	56,7	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Bagus

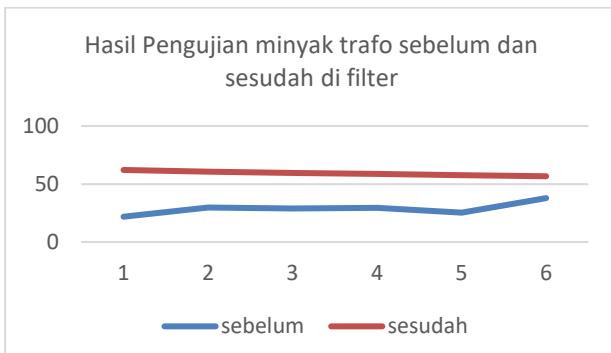
Tabel 4.4 Hasil rata-rata pengujian penetrasi dan viskositas oli transformator setelah penyaringan.

No	Parameter	Hasil Pengujian		Kondisi Minyak			Kesimpulan
		Nilai	Satuan	Bagus	Sedang	Jelek	
1	Tegangan Tembus	29,1	Kv/2,5mm	> 50	40-50	< 40	Bagus
2	Viskositas	3,5	-	< 3,5	3,5	> 3,5	Bagus



Gambar 4.7 tegangan oli transformator setelah penyaringan

Dengan menggunakan elektroda berbentuk setengah bola, kekuatan dielektrik rata-rata oli transformator yang diuji setelah penyaringan ditemukan sekitar 59kV/2,5mm. Dari hasil pengujian rata-rata ini dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan tembus oli transformator setelah penyaringan tergolong baik.^[12]



Gambar 4.8 Perbandingan hasil pengujian tegangan tembusan Sesudah dan sebelum di filter

Setelah penyaringan, kekuatan dielektrik rata-rata oli transformator yang diuji ditentukan sekitar 59kV/2,5mm dengan menggunakan pemeriksaan elektrokimia hemisferik terhadap fenomena yang muncul selama pengujian tegangan untuk kerusakan oli transformator. Medan listrik akan tercipta dalam isolasi cair jika tegangan diterapkan pada elektroda yang terendam di dalamnya. Elektron akan dipaksa untuk melepaskan ikatannya dan menjadi elektron bebas oleh medan listrik ini. Akibatnya, isolasi dipaksa untuk mencapai kekuatan maksimumnya untuk menahan paparan listrik oleh medan listrik ini yang bertindak sebagai beban. Isolasi cair akan menghantarkan arus atau gagal jika paparan listrik yang ditanggungnya melebihi batas ini dan paparan tersebut berlangsung dalam jangka waktu yang lama. "Kerusakan" atau isolasi dalam hal ini. Dapat disimpulkan dari hasil pengujian rata-rata ini bahwa nilai tegangan kerusakan oli transformator setelah penyaringan adalah baik.^[12]

Jika zat cair yang digunakan dalam pengujian ini adalah minyak trafo maka pada saat tegangan diterapkan pada dua buah elektroda yang dicelup pada minyak trafo, maka akan timbul medan listrik dalam minyak trafo tersebut. Medan listrik ini akan memberikan gaya pada electron – electron yang terikat pada struktur molekul minyak trafo agar terlepas dari ikatannya. Jika ikatan ini lepas maka isolasi hilang pada tempat itu dan minyak trafo akan menghantar arus (konsuktor) dan minyak trafo gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator.^[13]

Untuk memperoleh tegangan tembus pada setiap pengujian, tegangan uji diberikan pada sistem secara bertahap dengan tingkat kenaikan yang sama per satuan waktu menggunakan peralatan pengontrol. Dengan demikian dapat diamati fenomena apa saja yang terjadi selama pelaksanaan pengujian dengan digolongkan kedalam kelompok sebagai berikut :

1. Sesaat sebelum tegangan tembus terjadi
Tegangan uji secara bertahap ditingkatkan dari tegangan rendah hingga mendekati tegangan tembus untuk memulai proses sebelum terjadi tembusan. Suara mendesir dihasilkan ketika tegangan tembus semakin dekat. Tekanan konstan dan meningkat pada minyak isolasi adalah penyebabnya.
2. Terjadi pelepasan muatan antara kedua elektroda ketika terjadi tegangan tembus. Komponen-komponen berikut membentuk pelepasan muatan internal ini.
 - a. Sifat-sifat rangkaian menentukan seberapa besar arus listrik yang mengalir melewatinya
 - b. berkat cahaya kuat yang merambat di antara elektroda.
 - c. pembuatan lubang pada elektroda
 - d. Suara ledakan disertai dengan tekanan impulsif dalam cairan.
3. Setelah terjadi kerusakan
Gelembung gas dan kabut hitam (arang) terbentuk di dalam minyak isolasi setelah terjadi tegangan tembus. Hal ini disebabkan oleh:
 - a. Terdapat rongga udara pada permukaan elektroda karena permukaannya tidak rata.
 - b. Ketika terjadi tegangan tembus, tumbukan elektron terjadi, menghasilkan produk baru seperti gas atau gelembung karbon.
 - c. Penguapan cairan sebagai akibat pelepasan pada komponen

elektron yang tidak merata dan tajam.

d. Cairan mengalami variasi suhu dan tekanan.

Sebelum dan sesudah penyaringan, catat hasil uji tegangan tembus oli transformator.^[11]

Tabel 4.5: Hasil uji tegangan tembus oli transformator sebelum penyaringan

Tgl Pengujian : 16 Juli 2023	Jenis Minyak : 16 Juli 2023
Trafo : Trafo 650 20kV-350MVA	Phasa Tegangan : RST / 150
Merk Serial : Trafindo	Type Minyak : Dioda B
Jenis Pengujian : Tegangan Tembus Minyak	Lokasi : Worshop PT DKE

No	Tahap tembusan	Parameter	Nilai (Hasil)		Kondisi Minyak		kesimpulan
			Nilai	satuan	Bagus	sedang	
1	Test 1	Tegangan Tembus	21,8	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Jelek
2	Test 2	Tegangan Tembus	29,6	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Jelek
3	Test 3	Tegangan Tembus	23,8	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Jelek
4	Test 4	Tegangan Tembus	29,4	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Jelek
5	Test 5	Tegangan Tembus	25,3	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Jelek
6	Test 6	Tegangan Tembus	37,8	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Jelek

Tabel 4.6 Hasil pengujian tegangan tembus minyak trafo Sesudah di filter

Tgl Pengujian : 16 Juli 2023	Jenis Minyak : 16 Juli 2023
Trafo : Trafo 650 20kV-350MVA	Phasa Tegangan : RST / 150
Merk Serial : Trafindo	Type Minyak : Dioda B
Jenis Pengujian : Tegangan Tembus Minyak	Lokasi : Worshop PT DKE

No	Tahap tembusan	Parameter	Nilai (Hasil)		Kondisi Minyak		kesimpulan
			Nilai	satuan	Bagus	Sedang	
1	Test 1	Tegangan Tembus	62,1	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Bagus
2	Test 2	Tegangan Tembus	60,5	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Bagus
3	Test 3	Tegangan Tembus	59,5	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Bagus
4	Test 4	Tegangan Tembus	58,7	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Bagus
5	Test 5	Tegangan Tembus	57,5	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Bagus
6	Test 6	Tegangan Tembus	56,7	kV/2,5 mm	> 50	< 40	Bagus

Hasil pengujian minyak Shell-B

Hasil uji minyak Shell Diala-B didapatkan setelah melakukan pengujian suhu, kandungan air, serta jarak sela elektroda terhadap tegangan tembusnya. Tabel I s/d III menunjukkan hasil pengujian minyak Sell Diala-B

Tabel 4.7 Hasil pengujian suhu terhadap tegangan tembus

Kandungan Air (ppm)	Tegangan Tembus (kV)		
	Suhu 29 °C	Suhu 52 °C	Suhu 80 °C

15	51.28	55.36	58.42
30	27.72	38.28	43.57
44	20.1	26.33	32.72

Tabel 4.8 Hasil pengukuran kandungan air terhadap tegangan tembus

Kandungan Air (ppm)	Tegangan Tembus (kV)		
	Kadar Air 11 ppm	Kadar air 23 ppm	Kadar air 26 ppm
1.2 mm	48.27	21.28	19.48
2 mm	55.35	27.63	22.57
2.5 mm	61.35	28.95	24.28

Dari hasil pengujian yang telah didapatkan sesuai Tabel I sampai III dapat ditentukan korelasi liner antara suhu, kandungan air, tegangan tembus minyak Transformator Shell Diala-B. gambar 4.11 memprtlihatkan grafik karakteristik tegangan tembus minyak transformator. Pengaruh suhu mempengaruhi nilai tegangan tembus dari masing – masing objek uji. Dari hasil tersebut terlihat bahwa semakin tinggi suhu yang diberikan pada objek uji tegangan tembus yang didapatkan juga semakin tinggi. Gambar 4.11 kenaikan nilai tegangan tertinggi terjadi pada nilai tegangan tembus tertinggi terjadi pada minyak Shell Diala-B yang memiliki kandungan air 30 ppm dengan kenaikan sebesar 15,58 kV dari suhu awalnya. Sedangkan kenaikan tegangan tembus terendah terjadi pada minyak Shell Diala-B yang memiliki kandungan air 15 pp dengan kenaikan sebesar 7,14kV dari suhu awalnya.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan berikut ini diambil dari data dan temuan mengenai tegangan tembus oli transformator tipe Shell Diala B baik sebelum maupun setelah penyaringan:

- Nilai tegangan tembus rata-rata selama enam pengujian tegangan tembus oli transformator sebelum penyaringan adalah 45,3 kV/2,5 m. Meskipun nilai tegangan tembus rata-rata oli transformator dalam enam pengujian setelah penyaringan adalah 77,0 kV/2,5 mm, terdapat perbedaan antara pengujian yang dilakukan sebelum dan sesudah penyaringan, sehingga kualitas oli transformator sangat bervariasi dalam enam pengujian penyaringan tersebut.
- Tegangan tembus oli transformator sangat dipengaruhi oleh proses penyaringan. Hal ini disebabkan karena tegangan oli transformator selama penyaringan dapat menurun sebagian akibat

suhu dan kadar airnya.^[14]

c. Nilai tegangan tembus oli transformator Shell Diala-B dipengaruhi oleh suhu dan kadar air. Kinerja dan masa pakai transformator dapat terpengaruh oleh suhu tinggi dan kadar air tinggi, yang dapat menaikkan atau menurunkan nilai tembus. Agar transformator terus beroperasi dengan optimal dan bertahan selama mungkin, oli transformator harus dirawat dan dipantau. Selain itu, pengujian nilai tegangan tembus harus dilakukan secara berkala untuk menilai kondisi transformator dan mengambil tindakan yang tepat jika ditemukan bahwa nilainya tidak memenuhi kriteria [15]

REFERENSI

[1] U. Mudjiono and E. P. Hidayat, "Urip Mudjiono & Edy Prasetyo Hidayat, Pengujian Tegangan Tembus... 99," *J. Tek. Mesin*, no. 2, pp. 99–106, 2012.

[2] Hoppe Khoiru Mubarok, "Analisis Pengaruh Purifikasi (Filtering) Terhadap Kualitas Tegangan Tembus Minyak Transformator," *JETI (Jurnal Elektro dan Teknol. Informasi)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: 10.26877/jeti.v2i1.110.

[3] A. Robitul and Y. Zaika, "Pengaruh Kadar Air Terhadap Tegangan Dan," vol. 10, no. 1, pp. 1–10, 2022.

[4] N. R. AS and D. P, "Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak Trafo," *Sinusoida*, vol. 23, no. 2, pp. 20–32, 2021, doi: 10.37277/s.v23i2.1117.

[5] M. Ali and F. Kriska, "Analisis dan Evaluasi Kondisi Oli Transformator Berdasar Pengujian DGA dan BDV," *Aviat. Electron. Inf. Technol. Telecommun. Electr. Control.*, vol. 6, no. 2, p. 111, 2024, doi: 10.28989/avitec.v6i2.2170.

[6] M. F. Rahman *et al.*, "Analysis of the Effect of Transformer Oil Purification on the Transformer Breaking Voltage," vol. 20, no. 2, pp. 6–9, 2023.

[7] M. Fikri, D. J. Damiri, and M. R. Safariansyah, "Pengaruh Kontaminan Air terhadap Tegangan Tembus Isolasi Cair Minyak Mineral dan Nabati sebagai Alternatif Isolasi Minyak Transformator," vol. 21, no. 01, pp. 42–51, 2022.

[8] F. Abdurrahman, "PADA MINYAK TRAFO SEBAGAI ISOLATOR TEGANGAN," 2024.

[9] "OilTreatmentonDistributionTrafo."

[10] P. Jaringan, D. Pt, and P. L. N. Tarakan, "KAITAN DENGAN OPERASINYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI PT . PLN TARAKAN," 2010.

[11] K. A. B. Karanganyar, "PENYALURAN DAYA LISTRIK PADA JARINGAN DISTRIBUSI," pp. 175–184, 2020.

[12] P. N. Medan, J. Almamater, N. Kampus, and U. S. U. Medan, "VARIASI BENTUK ELEKTRODA Marlon Tua Pangihutan Sibarani Bolak-Balik Pembangkitan teganting gibolak- Faktor-faktor Vs = Tegangan tembus pada," vol. 8, no. 2, pp. 272–278.

[13] D. Program, S. Elektro, U. Darma, P. Studi, T. Elektro, and U. Darma, "ANALISIS KARAKTERISTIK MINYAK TRANSFORMATOR STARLITE 400 kVA TERHADAP TEGANGAN TEMBUS," vol. X, no. 1, pp. 91–99, 2020.

[14] P. S. T. Elektro, P. Harapan, and B. Tegal, "Fungsi minyak isolasi pada transformator yang berkapasitas besar," pp. 42–45, 2016.

[15] R. T. Pardede, "STUDI KONDISI MINYAK TRANSFORMATOR DAYA BERDASARKAN HASIL UJI DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA) DENGAN METODE TOTAL DISSOLVED COMBUSTIBLE GAS (TDCG) DAN METODE KEY GAS DI PT . INDONESIA POWER PLTU PANGKALAN SUSU," vol. 12, pp. 13–16, 2023.