

Analisis Pengujian Kinerja Minyak Transformator di PT XYZ

Lucky Darmawan^{1*}, Dini Fauziah¹

¹Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung

Email : luckdy1597@mhs.itenas.ac.id

Received 28 01 2023 | Revised 04 02 2023 | Accepted 04 02 2023

ABSTRAK

Transformator memegang peranan penting dalam pendistribusian listrik, semakin besar kapasitas, maka beban kerja akan semakin berat dan dapat menimbulkan panas berlebih sehingga dapat terjadi pemadaman listrik, untuk mengatasi masalah ini belitan transformator direndam menggunakan minyak transformator. Pengujian ini mengambil contoh pengujian minyak transformator di PT XYZ. Metode pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kadar air, tegangan tembus, tegangan antarmuka, warna dan kadar asam mengacu pada standar IEC 60422:2013. Hasil pengujian menunjukkan parameter minyak dalam kondisi baik kecuali kadar asam 0,12(mg KOH/gr) termasuk kondisi cukup karena nilainya <10 menurut standar. Dalam penelitian ini, filterisasi minyak transformator dilakukan untuk memperbaiki nilai parameter minyak transformator agar memenuhi standar. Hasil analisis setelah dilakukan filterisasi menunjukkan minyak transformator mengalami pengurangan kontaminasi fisik salah satunya ditunjukkan dari kadar asam mengalami penurunan dari 0,12(mg KOH/gr) menjadi 0,003(mg KOH/gr) termasuk kondisi baik, sehingga minyak transformator masih dapat digunakan sebagai media isolasi dan pendingin transformator.

Kata kunci : Filterisasi, Kontaminasi fisik, Kadar asam, Minyak transformator, Transformator

ABSTRACT

The transformer plays an important role in the distribution of electricity. The greater the capacity, the heavier the workload and can cause excessive heat, so that power outages can occur. To solve this problem, the transformer windings are immersed in transformer oil. This test takes the example of testing transformer oil at PT XYZ. The test methods carried out include testing the water content, breakdown voltage, interfacial tension, color, and acid content according to the IEC 60422:2013 standard. The test results show that the oil parameters are in good condition except for the acid content of 0.12 (mg KOH/gr), which includes sufficient conditions because the value is 10 according to standard. In this study, filtering of transformer oil was carried out to improve the parameter values of transformer oil to meet the standards. The results of the analysis after filtering showed that the transformer oil experienced a reduction in physical contamination, one of which was indicated by the acid content decreasing from 0.12 (mg KOH/gr) to 0.003 (mg KOH/gr), including good conditions, so that transformer oil can still be used as a medium. Transformer insulation and cooling.

Key words : Filterization, Physical contamination, Acid content, Transformer oil, Transformer

1. PENDAHULUAN

Listrik telah menjadi bagian dari aktifitas manusia, terbukti dengan sebagian besar alat penunjang kegiatannya menggunakan listrik. Kebutuhan listrik semakin meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan perkembangan berbagai sektor masyarakat. Oleh karena itu, peningkatan permintaan harus diimbangi dengan distribusi energi listrik yang tepat.

Transformator memegang peranan yang sangat penting karena berfungsi memindahkan energi listrik dari sisi primer ke sisi sekunder melalui induksi magnet. Semakin besar kapasitas transformator maka beban kerjanya juga akan semakin berat karena dapat menimbulkan panas berlebih yang merupakan masalah utama **(Andayani, Simanjuntak, & Danial, 2020)**. Untuk mengatasi masalah ini, belitan transformator direndam dengan minyak isolasi yang disebut minyak transformator.

Fungsi minyak transformator adalah sebagai media pendingin sekaligus isolasi antara belitan primer dan sekunder, jika terkontaminasinya minyak transformator dengan zat-zat lain seperti udara dan keasaman pada karbon akan membuat transformator tidak aktif atau akan membuat transformator tersebut terbakar. Untuk mencegah hal itu terjadi, maka diperlukan perawatan, antara lain sistem isolasi dan pendingin pada transformator **(akbar, Subhan, & Hassanudin, 2020)**.

Isolasi minyak transformator dianggap baik jika parameter seperti kadar air, kadar asam, tegangan tembus, tegangan antarmuka dan warna memenuhi standar yang ditentukan. Transformator harus dirawat secara teratur dengan memeriksa dan mengganti peralatan dan suku cadang untuk menghindari kegagalan fungsi atau kerusakan pada transformator. Perawatan transformator berupa monitoring dilakukan mingguan dan bulanan, dan perawatan transformator berupa inspeksi, pengukuran dan pengujian dilakukan setiap tahun.

Adapun tujuan penulis yang ingin dicapai yaitu untuk mengetahui kondisi minyak transformator ketika dilakukan pengukuran berkala, mengetahui pemeliharaan apa saja yang dilakukan untuk menjaga kualitas minyak transformator. Serta menganalisis kondisi minyak transformator sebelum dan sesudah filterisasi berdasarkan uji standar IEC 60422 2013.

2. METODE

2.1 Diagram alir Metodologi Penelitian

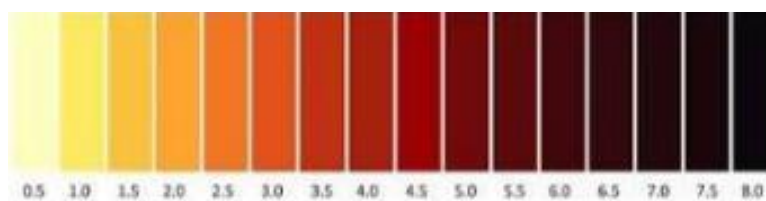
Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini dilakukan studi literatur mengenai minyak transformator, pengujian minyak transformator serta mengenai proses filterisasi. Adapun proses pengumpulan data aktual yaitu data filterisasi minyak transformator yang diambil dari sistem di Gardu Induk Bandung Barat. Setelah proses pengumpulan data sudah didapatkan maka dilakukan proses metode pengujian. Metode pengujian ini dilakukan untuk mengetahui parameter - parameter minyak transformator yang mencakup kadar air, warna, kadar asam, tegangan tembus dan tegangan antarmuka. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai parameter di atas sesuai dengan standar yang digunakan PLN.

Pengujian kadar air mengacu pada standar IEC 60422. Untuk mengetahui nilai kadar air, minyak dipanaskan terlebih dahulu oleh alat uji kadar air setelah itu minyak di timang untuk mengetahui berat sebelum dan sesudah dipanaskan **(Widyastuti, Handayani, & Darmana, 2018)**. Berikut tabel standar IEC 60422 parameter kadar air pada minyak transformator yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Kadar Air Pada Minyak Transformator Standar IEC 60422

Kadar Air (mg/kg)		
Baik	Cukup	Buruk
<20	20 – 30	>30

Pada pengujian warna, Perubahan warna pada minyak transformator disebabkan oleh penuaan minyak dan pengaruh kotoran seperti karbon. Pengujian warna minyak pada dasarnya membandingkan warna minyak bekas dan baru. Warna dilihat untuk mendeteksi kontaminasi pada minyak. Untuk mengetahui nilai warna, pada alat uji warna, warna minyak transformator ditempatkan pada wadah uji lalu dibandingkan dengan cakram kaca berwarna **(Suherman & Akbar, 2020)**. Adapun standar warna ASTM D-1500 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Standar Warna ASTM D-1500

Berikut tabel standar ISO 2049 parameter warna pada minyak transformator yang disajikan pada Tabel 2 standar ISO 2049 memiliki 2 parameter yaitu apabila nilai warna kurang dari 3,5 maka minyak transformator termasuk dalam kondisi baik, dan apabila nilai warna lebih besar dari 3,5 maka minyak transformator termasuk dalam kondisi cukup.

Tabel 2. Parameter Minyak Transformator Standar ISO 2049

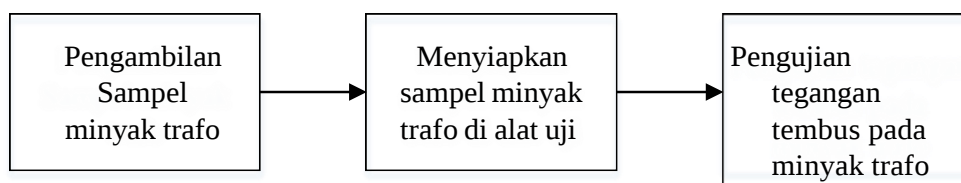
Warna	
Baik	Buruk
<3,5	>3,5

Pengujian kadar asam bertujuan untuk mengetahui angka kenetralan dari minyak transformator, angka kenetralan ini menunjukkan kontaminan yang bersifat asam, di mana hal tersebut berpengaruh terhadap kualitas kertas isolasi. Untuk mengetahui nilai kadar asam, minyak transformator dicampur dengan cairan bersifat asam yaitu alkohol dengan komposisi tertentu kemudian ditambahkan larutan basa yaitu larutan KOH, banyaknya asam yang terkandung dalam minyak tergantung berapa banyak nya KOH yang dilarutkan **(A. R. Demmassabu, Patras, & Lisi, 2014)**. Berikut tabel standar IEC 60422 parameter kadar asam pada minyak transformator yang disajikan pada Tabel 3, dimana pada tabel ini memberikan standar nilai kadar asam, apabila nilai kadar asam kurang dari 0,10 maka kadar asam termasuk dalam kondisi baik, jika nilai kadar asam 0,10 – 0,20 maka kadar asam termasuk kondisi cukup, dan apabila nilai kadar asam lebih besar dari 0,20 maka kadar asam termasuk kondisi cukup .

Tabel 3. Parameter Kadar Asam Pada Minyak Transformator Standar IE 60422

Kadar Asam (mg KOH/gr)		
Baik	Cukup	Buruk
<0,10	0,10 – 0,20	>0,20

Pengujian tegangan tembus dapat mengindikasikan keberadaan kontaminan seperti kadar air dan partikel, selain itu pengujian tegangan tembus bertujuan untuk mengetahui kemampuan minyak transformator untuk menahan stress tegangan. Pengujian ini mengacu pada standar IEC 60422. Pengujian tegangan tembus menggunakan alat yang dinamakan breakdown voltage tester yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 2. Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus

Berdasarkan Gambar 2 di atas, pengujian tegangan tembus dilakukan dengan cara pengambilan sampel minyak transformator terlebih dahulu, kemudian jika pengambilan sampel minyak telah dilakukan, siapkan sampel minyak transformator pada alat uji untuk dilakukan pengujian tegangan tembus pada minyak transformator, batasan tegangan tembus yang digunakan pada alat uji tegangan tembus yaitu sebesar 100kV **(AS & P, 2021)**.



Gambar 3. Megger OTS80PB

Berikut tabel standar IEC 60422 parameter tegangan tembus pada minyak transformator yang disajikan pada Tabel 4, pada tabel dijelaskan apabila nilai tegangan tembus lebih

besar dari 50 maka tegangan tembus minyak tersebut termasuk dalam kondisi baik, sedangkan apabila nilainya 40 – 50 termasuk kondisi cukup, dan apabila nilainya kurang dari 40 termasuk kondisi buruk, dimana kualitas minyak transformator sudah tidak di rekomendasikan untuk digunakan.

Tabel 4. Parameter Tegangan Tembus Pada Minyak Transformator Standar IEC 60422

Tegangan Tembus (kV/2,5mm)		
Baik	Cukup	Buruk
>50	40 – 50	<40

Pengujian tegangan antarmuka bertujuan untuk mengukur tegangan antar permukaan minyak dan air, nilai ini dipengaruhi oleh banyak partikel – partikel kecil hasil dari oksidasi minyak dan kertas, pengujian ini mengacu pada standar IEC 60422, berikut tabel standar IEC 60422 parameter tegangan antarmuka pada minyak transformator yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter Tegangan Antarmuka Pada Minyak Transformator Standar IEC 60422

Tegangan antar muka (mN/m)		
Baik	Cukup	Buruk
>28	22 – 28	<22

Setelah melakukan proses metode pengujian, penulis melakukan analisis terhadap hasil pengujian data tersebut untuk mengetahui pengaruh filterisasi minyak transformator, agar penulis dapat menyimpulkan secara keseluruhan terhadap hasil penelitian yang sudah dilakukan. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis dari penelitian ini. Maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan dari hasil dan analisis yang didapat pada laporan ini. Yaitu untuk mengetahui inti pokok bahasan pada laporan ini serta faktor-faktor yang mempengaruhi hasil dan analisis dalam penelitian ini.

3. HASIL PENGUJIAN

3.1 Pembahasan

Dalam penelitian ini penulis melakukan analisis mengenai transformator pada Gardu Induk Bandung Barat. Analisis yang dilakukan yaitu mengenai filterisasi minyak transformator. Objek yang dianalisis memiliki spesifikasi seperti pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Tabel Data Transformator

Data Transformator	
Merk	Pauwels Transformator
Nomor Seri	3011100048
Standar	IEC 60076
Jenis Pendingin	ONAN/ONAF
Jenis Minyak	NYNAS NITRO LIBRA
Koneksi	Ynyn0
Tahun Pembuatan	2011
Fasa	3 fasa
Rated Power	36/60 MVA
Rated Frequency	50 Hz

3.2 Data Hasil Pengujian Transformator

Kegiatan filterisasi minyak transformator bertujuan untuk mengetahui kelayakan atau kualifikasi minyak transformator sebagai media pendingin dan isolasi transformator.

Tabel 7. Data Hasil Pengujian Sebelum Filterisasi

No	Pengujian	Nilai	Klasifikasi Kondisi
1	Tegangan Tembus (kV/2,5mm)	80,3	Baik
2	Kadar air, pada suhu operasi (mg/kg)	10,073	Baik
3	Warna dan penampakan	0,6	Baik
4	Bilangan asam/Total Acid Number (mg KOH/gr)	0,12	Cukup
5	Tegangan Antarmuka (mN/m)	34,1	Baik
Hasil pengujian karakteristik		Baik	
Analisis Ketahanan Dielektrik		Tidak Terjadi Kontaminasi	

Berdasarkan Tabel 7 di atas, hasil pengujian sebelum filterisasi untuk tegangan tembus didapatkan nilai sebesar 80,3 (kV/2,5mm) dan termasuk klasifikasi kondisi baik hal tersebut dikarenakan nilai tersebut memenuhi standar IEC 60422 dimana nilai tersebut lebih besar dari 50 (kV/2,5mm). Untuk nilai kadar air didapatkan nilai sebesar 10,073 (mg/kg), dimana nilai tersebut lebih kecil dari 20 (mg/kg) dan termasuk klasifikasi kondisi baik sesuai dengan standar IEC 60422, warna dan penampakan di dapatkan nilai sebesar 0,6, menurut standar ISO 2049 termasuk klasifikasi kondisi baik karena nilai tersebut kurang dari 3,5. Kemudian besar nilai kadar asam didapatkan nilai 0,12 (mg KOH/gr) dan termasuk klasifikasi kondisi cukup, hal ini diakibatkan nilai tersebut berada diantara 0,10 – 0,20 (mg KOH/gr) menurut standar IEC 60422. Selanjutnya untuk nilai tegangan antar muka didapatkan sebesar 34,1 (mN/m) dan termasuk dalam klasifikasi kondisi baik menurut standar IEC 60422.

Tabel 8. Data Hasil Pengujian Setelah Filterisasi

No	Pengujian	Nilai	Klasifikasi Kondisi
1	Tegangan Tembus (kV/2,5mm)	93,5	Baik
2	Kadar air, pada suhu operasi (mg/kg)	8,85	Baik
3	Warna dan penampakan	0,5	Baik
4	Bilangan asam/Total Acid Number (mg KOH/gr)	0,003	Baik
5	Tegangan Antarmuka (mN/m)	34,2	Baik
Hasil pengujian karakteristik		Baik	
Analisis Ketahanan Dielektrik		Tidak Terjadi Kontaminasi	

Berdasarkan Tabel 8 di atas, hasil pengujian setelah filterisasi nilai tegangan tembus didapatkan sebesar 93,5 (kV/2,5mm) dan termasuk klasifikasi kondisi baik dikarenakan nilai tersebut memenuhi standar IEC 60422 dimana nilai tersebut lebih besar dari 50 (kV/2,5mm). Lalu untuk kadar air didapatkan nilai sebesar 8,85 (mg/kg), nilai tersebut lebih kecil dari 20 (mg/kg) dan termasuk klasifikasi kondisi baik sesuai dengan standar IEC 60422, warna dan penampakan di dapatkan nilai sebesar 0,5, menurut standar ISO 2049 termasuk klasifikasi kondisi baik karena nilai tersebut kurang dari 3,5. Kemudian besar nilai kadar asam didapatkan nilai 0,003 (mg KOH/gr) dan termasuk klasifikasi kondisi baik, dikarenakan nilai tersebut lebih kecil dari 0,10 (mg KOH/gr) menurut standar IEC 60422. Selanjutnya untuk nilai tegangan antar muka didapatkan sebesar 34,2 (mN/m) dan termasuk dalam klasifikasi kondisi baik menurut standar IEC 60422.

4. ANALISIS

Tabel 9 menyajikan data pengujian sebelum dan sesudah filterisasi, dan terdapat juga standar uji pada tabel tersebut.

Tabel 9. Data Pengujian Sebelum dan Sesudah Filterisasi

No.	Pengujian	Nilai sebelum di filter	Nilai setelah di filter	Standar hasil uji mengacu pada	Standar uji	Klasifikasi kondisi
1	Tegangan Tembus (kV/2,5mm)	80,3	93,5	IEC 60422 : 2013	>50	Baik
2	Kadar air, pada suhu operasi (mg/kg)	10,073	8,85	IEC 60422 : 2013	<20	Baik
3	Warna dan penampakan	0,6	0,5	ISO 2049	<3,5	Baik
4	Bilangan asam/Total Acid Number (mg KOH/gr)	0,12	0,003	IEC 60422 : 2013	<0,10	Baik
5	Tegangan Antarmuka (mN/m)	34,1	34,2	IEC 60422 : 2013	>28	Baik

Analisis yang didapatkan untuk tegangan tembus (kV/2,5mm) mengalami kenaikan dari 80,3 menjadi 93,5 nilai ini masih memenuhi nilai standar dari IEC 60422 : 2013 dengan klasifikasi kondisi baik yaitu lebih besar dari 50 (kV/2,5mm) hasil tersebut menunjukkan kemampuan minyak transformator sebagai suatu bahan isolasi dalam kondisi baik serta hasil tersebut menunjukkan bahwa minyak tidak memiliki banyak kontaminan di dalamnya. Apabila nilai tegangan tembus minyak transformator mengalami penurunan kurang dari 50 maka klasifikasi kondisi menjadi buruk. Hal itu disebabkan karena adanya partikel uap air dalam minyak transformator, sehingga harus dilakukan filterisasi minyak transformator agar kandungan uap air dalam minyak dapat dikurangi. Pada alat transformer oil purification plant pengurangan kandungan uap terjadi di vacuum chambe, pada bagian ini minyak mengalami ekstraksi uap. Untuk kadar air pada suhu operasi (mg/kg) mengalami penurunan dari 10,073 menjadi 8,85, nilainya masih kurang dari 20 sehingga kondisi kadar air pada suhu operasi dapat diklasifikasikan dalam kondisi baik, hal ini menunjukkan minyak dalam kondisi baik. Faktor yang menyebabkan kadar air pada minyak transformator meningkat disebabkan oleh 2 hal yaitu yang pertama pembebanan transformator yang berlebih secara terus – menerus sehingga minyak transformator mendidih dan menghasilkan uap air sehingga uap air yang timbul akibat pemanasan minyak tersebut akan jatuh ke dalam minyak transformator, yang kedua dikarenakan minyak

transformator terkena oleh udara luar. Kadar air dapat mempengaruhi nilai tegangan tembus, semakin besar kadar air maka tegangan tembus pada minyak akan berkurang dan dapat mengurangi usia minyak transformator tersebut.

Nilai warna dan penampakan mengalami sedikit penurunan dari 0,6 menjadi 0,5 hal tersebut menunjukkan bahwa warna minyak transformator mengalami perubahan warna minyak

menjadi lebih jernih dan nilai ini masih memenuhi standar ISO 2049 dimana nilai tersebut lebih kecil dari 3,5. Faktor peningkatan warna minyak transformator dikarenakan banyak nya partikel – partikel yang mengkontaminasi minyak, sehingga warna minyak transformator semakin menghitam, partikel – partikel tersebut muncul dikarenakan adanya korosi pada inti transformator. Warna dari minyak transformator dapat digunakan sebagai asumsi awal keadaan transformator, ketika warna minyak transformator semakin menghitam menunjukan minyak transformator terkontaminasi.

Kadar asam dapat digunakan untuk indikator umur minyak transformator, asam yang terkandung pada minyak transformator merupakan hasil dari oksidasi minyak itu sendiri. Bilangan asam/total acid number (mg KOH/gr) mengalami penurunan yang cukup signifikan pada saat sebelum filterisasi didapatkan nilai sebesar 0,12 dan termasuk klasifikasi kondisi cukup, hal ini menunjukkan bahwa umur minyak transformator sudah cukup lama dikarenakan nilai kadar asam sebelum filterisasi cukup besar. Setelah filterisasi nilai tersebut berubah menjadi 0,003 sehingga nilai kadar asam kurang dari 0,10 dan termasuk dalam klasifikasi kondisi baik. Penyebab terjadinya asam pada minyak transformator disebabkan oleh adanya oksidasi yang menghasilkan senyawa asam dan akan menurunkan kualitas kertas isolasi pada transformator sehingga minyak transformator mengalami kerusakan akibat oksidasi tersebut.

Pengujian tegangan antar muka bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kontaminasi yang terjadi pada minyak, nilai tegangan antar muka(mN/m), pada saat sebelum filterisasi didapatkan nilai sebesar 34,1 nilai ini masih memenuhi standar IEC 60422, hal ini menunjukkan minyak transformator tidak mengalami kontaminasi yang terlalu banyak, dan nilai setelah filterisasi didapatkan sebesar 34,2, hal ini menunjukkan filterisasi minyak transformator mengurangi kontaminasi pada minyak transformator. Faktor yang menyebabkan turunnya nilai tegangan antar muka pada minyak transformator disebabkan oleh ketidakcocokan minyak dengan bagian dari transformator, seperti pennis dari metal atau sambungan pada transformator yang bersangkutan.

Pada penelitian ini hasil keseluruhan nilai parameter – parameter minyak transformator menunjukkan bahwa minyak transformator masih dapat digunakan sebagai media isolasi dan sebagai pendingin pada transformator menurut standar yang digunakan oleh PLN yaitu standar IEC 60422:2013, yang diharapkan penggunaan minyak transformator dapat melindungi transformator dari gangguan – gangguan yang tidak diinginkan. Untuk filterisasi minyak transformator XYZ Barat dilakukan dalam jangka waktu 3 bulan sekali. Dalam proses filterisasi minyak transformator terdapat dua proses utama yaitu proses filterisasi dan pemanasan. Proses filterisasi memisahkan minyak transformator dengan kontaminasi fisik, proses pemanasan merupakan proses pemanasan minyak transformator untuk memisahkan minyak transformator dengan butiran-butiran air.

5. KESIMPULAN

Pengaruh setelah filterisasi minyak transformator terhadap kontaminasi fisik pada minyak transformator didapatkan nilai tegangan tembus sebesar 93,5 (kV/2,5mm), menunjukkan bahwa minyak tidak memiliki banyak kontaminan. Nilai kadar air didapatkan sebesar 8,85 (mg/kg) menunjukkan bahwa minyak dalam kondisi baik dan tidak terkena udara dari luar. Untuk nilai warna dan penampakan sebesar 0,5 menunjukkan bahwa warna menjadi lebih jernih. Kadar asam bernilai 0,003 (mg KOH/gr), dimana kadar asam pada minyak dikategorikan baik. Untuk tegangan tembus bernilai 34,2 (mN/m) menunjukkan filterisasi minyak transformator mengurangi kontaminasi pada minyak transformator.

Nilai parameter – parameter di atas mengacu pada standar IEC 60422 2013. Untuk proses pemurnian minyak transformator dilakukan setiap 3 bulan sekali, dalam proses penyaringan minyak transformator terdapat dua proses utama yaitu proses filterisasi dan pemanasan. Proses filterisasi memisahkan minyak transformator dengan minyak proses pemanasan merupakan proses pemanasan minyak transformator untuk memisahkan minyak transformator dengan butiran-butiran air.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT XYZ yang telah mengizinkan dan memberi data serta pengalaman kepada penulis untuk keperluan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- A. R. Demmassabu, Patras, L. S., & Lisi, F. (2014). Analisa Kegagalan Transformator Daya Berdasarkan Hasil Uji DGA dengan Metode TDCG, Key Gas, Roger's Ratio, Duval's Triangle Pada Gardu Induk. *e-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 3(4), 47-56. doi://doi.org/10.35793/jtek.3.4.2014.5925
- Akbar, M., Subhan, & Hassanudin. (2020). Studi Pemurnian Minyak Transformator Menggunakan Oil Treatment Plant Pada Transformator Daya 29 MVA Di PT.PLN (PERSERO) Pembangunan Nagan Raya. *Jurnal Tektro*, 4(2), 129-134.
- Andayani, N., Simanjuntak, Y. M., & Danial. (2020). Analisis Water Content Dan Breakdown Voltage Pada Isolasi Minyak Nynas Nytro Libra Dengan Variasi Zat Aditif Fenol. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2(1).
- AS, N. R., & P, D. (2021). Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak Trafo. Sinusoida *Jurnal penelitian dan pengkajian elektro*, 23(2), 20-32.
- Suherman, E., & Akbar, M. (2020). Analisis Karakteristik Minyak Transformator Starlite 400 kVA Terhadap Tegangan Tembus. *Jurnal Sains & Teknologi Fakultas Teknik*, 10(1), 91-99.
- Widyastuti, C., Handayani, O., & Darmana, T. (2018). Pengaruh Kadar Air Terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator Distribusi. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 10(2), 129-136.