

Analisis Nilai Tahanan Isolasi dan Tegangan Tembus pada Minyak Transformator 150 kV Sebelum dan Sesudah Purifikasi di PT Energi Listrik Batam

Jhon Hericson Purba¹, Muhammad Suharian Safriandi²

^{1,2} Politeknik Negeri Batam

Power Plant Engineering Study Program

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

E-mail: yandi251216@gmail.com

Abstrak

Transformator adalah komponen penting dalam penyaluran energi listrik, dan kegagalan sistem dapat berakibat fatal. PT Energi Listrik Batam memiliki Transformator Daya 150 kV yang mengalami kebocoran minyak pada bagian Low Voltage pada September 2023. Minyak transformator berfungsi sebagai bahan isolasi. Pengujian Tahanan Isolasi dan Tegangan Tembus menunjukkan penurunan kualitas minyak transformator, dengan nilai isolator sebesar 50 kV. PT Energi Listrik Batam melakukan purifikasi minyak untuk mengembalikan kualitasnya. Purifikasi menghilangkan gas dan partikel yang menurunkan kualitas minyak. Hasilnya, setelah purifikasi, nilai tahanan dan tegangan tembus minyak transformator meningkat hingga 80 kV.

Kata kunci: Tegangan Tembus, Tahanan isolasi, Purifikasi

Abstract

Transformers are critical components in electricity transmission, and system failures can be catastrophic. PT Energi Listrik Batam has a 150 kV power transformer that experienced an oil leak in the Low Voltage section in September 2023. Transformer oil serves as an insulating material. Insulation Resistance and Breakdown Voltage tests showed a decline in oil quality, with an insulator value of 50 kV. PT Energi Listrik Batam conducted oil purification to restore its quality. Purification removes gases and particles that degrade oil quality. As a result, after purification, the insulation resistance and breakdown voltage of the transformer oil increased to 80 kV.

Keywords: Breakdown Voltage, Insulation Resistance, Purification

1. Pendahuluan

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan teknologi, kebutuhan akan energi listrik juga berkembang. Energi listrik dihasilkan oleh pembangkit listrik yang menggunakan berbagai sumber energi seperti panas, air, dan angin. Salah satu komponen penting dalam penyaluran energi listrik adalah transformator daya, yang berfungsi mengirim daya dari generator ke gardu induk melalui saluran transmisi[1].

Transformator daya, yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, menaikkan dan menurunkan tegangan listrik menggunakan hukum Faraday dan Lorentz[2]. Untuk mendinginkan kawat yang dialiri

arus dan mencegah terjadinya tegangan tembus (breakdown voltage), transformator menggunakan minyak sebagai media pendingin dan bahan isolasi[3].

Minyak transformator mengisolasi elektroda bertegangan antara belitan kumparan high voltage dan low voltage serta mendinginkan transformator[4]. Kebocoran minyak, seperti yang terjadi pada transformator 150 kV PT Energi Listrik Batam pada September 2023, dapat menurunkan kualitas minyak dan performa transformator. Kebocoran ini disebabkan oleh kerusakan gasket antara bushing dan cover transformator.

Setelah perbaikan kebocoran, PT Energi Listrik Batam

melakukan purifikasi minyak transformator untuk memastikan kumparan tidak bersentuhan langsung dan mencegah breakdown voltage[5]. Purifikasi minyak membantu mengurangi kontaminasi dan memastikan minyak mencapai tegangan tembus yang memenuhi standar PLN[6].

Penelitian dilakukan untuk mengukur nilai tahanan isolasi dan tegangan tembus minyak transformator sebelum dan setelah purifikasi, guna memastikan kualitas dan performa transformator tetap optimal.

2. Metode

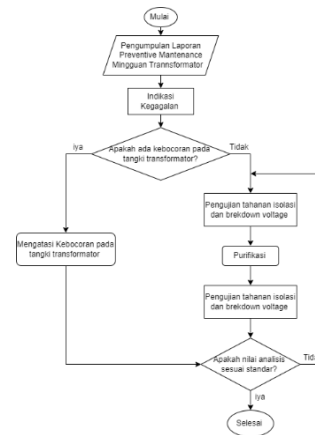
Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif yang menggunakan pendekatan induktif deduktif. Penelitian ini akan menguji metode purifikasi untuk mendaur ulang minyak transformator daya. Ini akan melakukannya dengan menguji tahanan isolasi dan tegangan tembus minyak transformator.

Penelitian ini dilakukan di PT Energi Listrik Batam pada Transformator Daya 1 150kV merek UNINDO. Transformator ini dipilih sebagai sampel karena mengalami kebocoran minyak pada bagian bushing di sisi low voltage, yang kemungkinan menyebabkan penurunan kualitas minyak. Penelitian kualitas minyak transformator dilakukan pada tanggal 30 September 2023.

Penelitian ini mengumpulkan data primer mengenai sifat elektrik minyak transformator daya melalui beberapa pengukuran: uji ketahanan isolasi sebelum purifikasi, pengujian tegangan tembus minyak transformator sebelum, selama, dan setelah purifikasi, serta pengujian ketahanan isolasi setelah purifikasi. Tujuannya adalah untuk menilai kondisi minyak transformator berdasarkan standar PLN. Data sekunder berasal dari hasil pengujian tahanan isolasi dan tegangan tembus, informasi tentang karakteristik transformator daya yang telah melalui purifikasi sebelumnya, dan referensi teknik purifikasi minyak transformator daya.

2.1 Alur Penelitian

Fokus penelitian ini adalah untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang langkah-langkah yang diperlukan untuk melakukan proses penelitian yang diinginkan penulis. Proses penelitian dimulai dengan menentukan tujuan penelitian, pengumpulan data, dan analisis hasil penelitian. Secarasistematis, alur penelitian dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1: Flow Chart Penelitian

2.2 Metode Pengujian

Proses penelitian meliputi persiapan sampel dan peralatan uji, pengujian tegangan tembus, purifikasi, pengujian tahanan isolasi minyak transformator, serta pencatatan dan pemeriksaan hasil. Hasil uji coba ditampilkan dalam grafik menggunakan Microsoft Excel. Peralatan pengujian tegangan tembus termasuk tegangan tembus dan mangkok oil vassel, sementara pengujian tahanan isolasi menggunakan megger delta 4000. Pengujian dilakukan enam kali pada kotak uji yang sama dengan jeda minimal dua menit, serta berulang untuk mencegah gelembung udara. Jika menggunakan pengaduk pada minyak transformator, pengujian juga dapat diulang.

2.3 Metode Pengujian

Proses penelitian meliputi persiapan sampel dan peralatan uji, pengujian tegangan tembus, purifikasi, pengujian tahanan isolasi minyak transformator, serta pencatatan dan pemeriksaan hasil. Hasil uji coba ditampilkan dalam grafik menggunakan Microsoft Excel. Peralatan pengujian tegangan tembus termasuk tegangan tembus dan mangkok oil vassel, sementara pengujian tahanan isolasi menggunakan megger delta 4000. Pengujian dilakukan enam kali pada kotak uji yang sama dengan jeda minimal dua menit, serta berulang untuk mencegah gelembung udara. Jika menggunakan pengaduk pada minyak transformator, pengujian juga dapat diulang.

3. Hasil dan Pembahasan

Objek studi pada penelitian ini adalah Transformator Daya 150 kV di PT. Energi Listrik Batam dengan nomor transformator P06LD786-01. Transformator ini berfungsi sebagai transformator daya utama untuk mentransmisikan energi listrik ke Gardu Induk Tanjung Uncang. Penelitian dilakukan pada tanggal 30 September 2023. Spesifikasi transformator mencakup daya 40/60 MVA dengan 3 fasa, frekuensi 50Hz,

tegangan nominal 11.5/150 KV, koneksi YNd1, dan tipe pendingin ONAN.

3.1 Pengambilan Sampel Minyak Transformator

Tata cara pengambilan sampel minyak transformator mengikuti standar IEC 60076-3:2016, yang merupakan pedoman nasional untuk mengukur tingkat isolasi, uji dielektrika, dan jarak bebas eksternal di udara[8]. Sampel minyak diambil sebelum dan sesudah proses purifikasi untuk menilai kualitas transformator. Pengambilan sampel dilakukan melalui oil drain valve, dengan proses yang diawasi dari mesin purifikasi yang terhubung langsung ke transformator. Pengambilan data sampel minyak dilakukan sebelum proses purifikasi pada tanggal 30 September 2023, saat unit transformator dalam kondisi aktif.

3.2 Pengujian Minyak Transformator Sebelum Purifikasi

Sebelum dilakukan proses purifikasi pada minyak transformator, perlu dilakukan pengujian tahanan isolasi dan tegangan tembus untuk mengetahui kelayakan minyak transformator[9]. Berikut hasil pengujian data sebelum dilakukan purifikasi:

A. Pengujian Tahanan Isolasi

Tabel 1: Hasil Pengujian-1 Tahanan Isolasi sebelum purifikasi menggunakan Insulation Tester 5000 volt

No	HV+NHV - LV (GΩ)	LV – Ground (GΩ)	HV+NHV – Ground (GΩ)
1	9,2	14,6	9,05
2	11,9	17,41	15,25
3	13,8	20,04	16,78
4	15,06	21,07	17,42
5	16,15	22,04	17,7
6	17,63	24,01	18,6
7	18,68	24,03	18,96
8	19,85	29,08	19,53
9	20,06	29,03	20,01
10	21,5	33,04	20,01
PI	2,32	2,33	2,1

B. Pengujian Tahanan Tembus

Sebelum purifikasi, pengujian tegangan tembus dilakukan untuk menilai kekuatan isolasi minyak transformator, dengan hasil rata-rata sebesar 53,0 kV. Berikut Tabel 2 hasil pengujianya:

Tabel 2: Hasil Pengujian tegangan tembus sebelum purifikasi

No	Hasil Pengujian	suhu (°C)
1	55.5 kV	36
2	52.6 kV	36
3	57.2 kV	36
4	53.9 kV	36
5	53.2 kV	36
6	45.9 kV	36
MEAN: 53.0 kV		

Hasil pengujian pada tabel berdasarkan pengujian break down voltage sebanyak satu kali percobaan. Rata-rata nilai pengujian tersebut adalah 53,0 kV. Nilai tersebut masih di atas standar yang ditetapkan oleh PLN dengan nilai batasan 30 kV.

3.3 Proses Purifikasi

Sebelum proses purifikasi, dilakukan pengujian tegangan tembus dengan hasil rata-rata 53,0 kV. Proses purifikasi dilakukan untuk menghilangkan kontaminan partikel dari minyak transformator, dan dilanjutkan hingga tidak terdeteksi kontaminan partikel lagi[10]. Purifikasi dilakukan lebih dari 3 kali dalam siklus 20 jam untuk menghilangkan kadar air dan udara yang tercampur di minyak. Selama proses, dilakukan pengujian enam kali untuk break down voltage, yang meningkat menjadi 80,0 kV setelah purifikasi. Berikut Tabel 3 hasil pengujian akhir tegangan tembus saat purifikasi.

Tabel 3: Hasil Pengujian akhir tegangan tembus saat dilakukan purifikasi

NO	HASIL PENGUJIAN	SUHU (°C)
1	80.6 kV	38
2	80.7 kV	38
3	80.3 kV	38
4	80.7 kV	38
5	80.7 kV	38
6	80.6 kV	38
MEAN: 86.0 kV		

3.4 Pengujian Tahanan Isolasi Setelah Purifikasi

Setelah dilakukan purifikasi pada minyak transformator, perlu dilakukan pengujian tahanan isolasi pada transformator daya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai isolator dari minyak transformator. Berikut Tabel 4 hasil pengujian tahanan isolasi setelah purifikasi: Setelah dilakukan pengujian tahanan isolasi nilai tahanan isolasi pada transformator mengalami kenaikan sebesar 4,5Ω pada transformator.

Tabel 4: Hasil Pengujian Tahanan isolasi sesudah purifikasi menggunakan Insulation Tester 5000 volt

Menit	HV+NHV - LV (GΩ)	LV - Ground (GΩ)	HV+NHV - Ground (GΩ)
1	11,4	17,15	12,05
2	13,9	18,41	13,25
3	15,8	19,04	14,78
4	17,01	20,07	15,42
5	19,1	21,04	16,7
6	20,6	22,01	17,6
7	22,6	23,03	18,96
8	24,8	24,08	19,53
9	25	25,03	20,01
10	26	25,04	20,01
PI	2,27	1,46	1,6

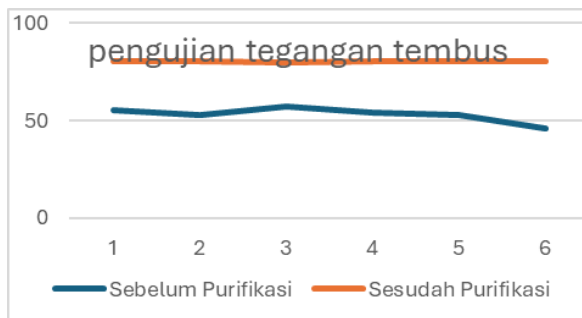
3.5 Analisis Data

Setelah dilakukan Purifikasi pada minyak transformator, penulis mendapatkan perbandingan data antara sebelum dan sesudah pengujian minyak transformator. Berikut Tabel 5 perbandingan hasil pengujian:

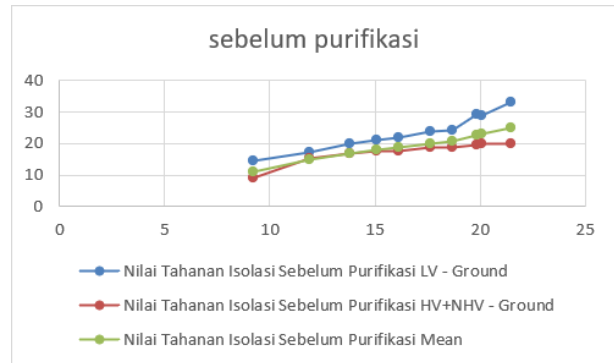
Tabel 5: Perbandingan Pengujian Tahanan isolasi sebelum dan sesudah purifikasi menggunakan insulation tester 5000 volt

Waktu (Menit)	Nilai Tahanan Isolasi Sebelum Purifikasi			Nilai Tahanan Isolasi sesudah purifikasi			Persentase Perbandingan		
	HV+NHV V - LV (GΩ)	LV - Ground (GΩ)	HV+NHV V - Ground (GΩ)	HV+NHV - LV (GΩ)	LV - Ground (GΩ)	HV+NHV V - Ground (GΩ)	HV+NHV V - LV	LV - Ground	HV+NHV V - Ground
1	9,2	14,6	9,05	11,4	17,15	12,05	41,8%	57,2%	30,1%
2	11,9	17,41	15,25	13,9	18,41	13,25	59,5%	10%	76,25%
3	13,8	20,04	16,78	15,8	19,04	14,78	69%	-10%	83,9
4	15,06	21,07	17,42	17,01	20,07	15,42	77,2	-21%	87,1%
5	16,15	22,04	17,7	19,1	21,04	16,7	54,7	-22%	17,7%
6	17,63	24,01	18,6	20,6	22,01	17,6	59,3	-8%	-9%
7	18,68	24,03	18,96	22,6	23,03	18,96	47,6%	24,04%	0%
8	19,85	29,08	19,53	24,8	24,08	19,53	40,1%	59,6%	0%
9	20,06	29,03	20,01	25	25,03	20,01	40,6%	73,25%	0%
10	21,5	33,04	20,01	26	25,04	20,01	61,4%	41,3%	0%
PI	2,32	2,33	2,1	2,27	1,46	1,6			

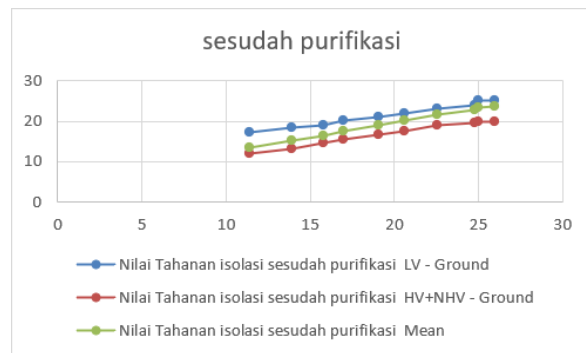
Setelah dilakukan perbandingan dapat diperoleh hasil perbandingan dimana nilai tahanan isolasi yang meningkat. dengan adanya peningkatan tahanan isolasi dapat diartikan adanya peningkatan dari kualitas minyak transformator. Berikut gambar 2, 3 dan 4 grafik hasil pengujian tegangan tembus dan tahanan isolasi.



Gambar 2: Grafik Hasil pengujian tegangan tembus sebelum dan sesudah purifikasi.



Gambar 3: Grafik Hasil pengujian Tahanan Isolasi sebelum purifikasi.



Gambar 4: Hasil pengujian Tahanan Isolasi sesudah purifikasi.

Berdasarkan grafik hasil pengujian, nilai tahanan isolasi dan tegangan tembus pada minyak transformator mengalami kenaikan. Nilai tegangan tembus mengalami kenaikan sebesar ±20 kV sehingga nilai tegangan tembus pada minyak transformator mencapai 80 kV kualitas Minyak Transformator mengalami kenaikan dimana nilai sesudah purifikasi lebih tinggi daripada sebelum purifikasi. Hal ini dapat diartikan bahwa dengan dilakukan purifikasi nilai tegangan tembus pada transformator mengalami kenaikan.

Nilai tegangan tembus setelah purifikasi juga dibandingkan dengan nilai tegangan tembus yang diperoleh dari sampling oli transformator 150 kV ditahun 2022. Dari data pengujian dapat dilihat bahwa nilai tegangan tembus di tahun 2022 dan tahun 2023 memiliki nilai yang sama yaitu 80 kV.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis Tugas Akhir yang dilakukan, kesimpulan dapat ditarik sebagai berikut:

- 1) Kebocoran pada transformator menyebabkan nilai tegangan tembus menurun yang dapat mengakibatkan isolasi pada minyak transformator berkurang.
- 2) Setelah dilakukan proses purifikasi pada minyak transformator, nilai tegangan tembus dan sifat isolasi pada transformator Kembali menjadi standarkualitas minyak transformator tersebut.
- 3) Proses purifikasi pada minyak transformator meningkatkan tahanan isolasi dan nilai tegangan tembus pada minyak transformator.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penelitian ini khususnya pada Perusahaan PT Energi Listrik Batam.

Daftar Pustaka

- [1] N. H. L. Ahmad, "Analisis pengaruh kontaminan air terhadap kelayakan minyak transformator baru jenis mineral pada transformator tiga fasa dengan pengujian breakdown voltage," Skripsi, Universitas Jember.
- [2] B. F. A. Firdianto, "Analisa Minyak Transformator Pada Transformator Tiga Fasa di PT X," Universitas Mercu Buana, 2016.
- [3] A. Makkulau, N. Pasra, and R. R. Siswanto, "Pengujian Tahanan Isolasi dan Rasio Pada Trafo PS T15 PT. Indonesia Power Up Mrica," Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik-PLN.
- [4] D. A. Febriari, "Analisis tahanan isolasi transformator daya berdasarkan hasil uji indeks polarisasi, tangen delta dan breakdown voltage di gardu induk 150kV Kentungan," Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [5] A. Puteri, "Pengaruh suhu terhadap tegangan tembus minyak transformator jenis mineral," Universitas Negeri Jakarta, 2017.
- [6] D. Sandi, "Analisis metode purifikasi dalam mendaur ulang minyak trafo di lingkungan PT. PLN (Persero)," Tugas Akhir, Universitas Batanghari.
- [7] A. M. Suganda, "Analisa kualitas tahanan isolasi transformator daya," Institut Sains dan Teknologi Nasional.
- [8] H. R. Haekal, "Penggunaan Metode DGA dalam mengidentifikasi masalah pada 2 transformator daya 2 MVA 11.5KV-0.4KV," Tugas Akhir, Politeknik Negeri Batam.
- [9] M. C. Hidayat, R. H. Widiyantoro, "Analisis Kemampuan Minyak Isolasi Transformator Daya Merek Unindo Dengan Pengujian Dissolved Gas Analysis dan Breakdown Voltage di Gardu Induk Serpong," Institut Teknologi PLN, 2020.
- [10] H. K. Mubarak, "Analisis Pengaruh Purifikasi (Filtering) Terhadap Kualitas Tegangan Tembus Minyak Transformator," Universitas PGRI Semarang, 2022.