

**ANALISIS PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS
PADA MINYAK TRAF0 SEBAGAI ISOLATOR TEGANGAN
150 KV**

SKRIPSI

**Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik (S.T)**



**Disusun oleh:
FAUZAN ABDURRAHMAN**

NPM. 3332180057

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2024**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Analisis Pengujian Tegangan Tembus
Pada Minyak Trafo sebagai Isolator
Tegangan 150 kV

Nama : Fauzan Abdurrahman

Npm : 3332180057

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut diatas adalah benar-benar asli hasil karya saya sendiri dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggung jawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa Sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini

Cilegon, 10 Juli 2023



Fauzan Abdurrahman

Npm.3332180057

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa Skripsi berikut:

Judul : Analisis Pengujian Tegangan Tembus
Pada Minyak Trafo sebagai Isolator
Tegangan 150 kV

Nama Mahasiswa : Fauzan Abdurrahman

Npm : 3332180057

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 30 Januari 2024 melalui sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan LULUS

Dewan Penguji

Tanda Tangan

Pembimbing I : Dr. Suhendar, S.Pd., M.T.



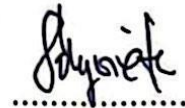
Pembimbing II : Adi Nugraha, S.Pd., M.T.



Penguji I : Dr. Ir. Wahyuni Martiningsih, M.T.



Penguji II : Felycia, M.T.



Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro




Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc.
NIP:198103282010121001

PRAKATA

Puji dan syukur saya panjat kepada Allah SWT, atas berkat rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi dengan judul “Analisis Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak Trafo Sebagai Isolator Tegangan 150 kV”. Shalawat serta salam tak lupa juga dicurahkan kepada baginda kita yakni Nabi Muhammad SAW, serta keluarga dan juga kerabat-Nya.

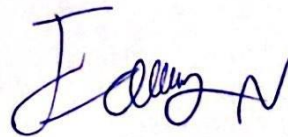
Penulisan laporan Skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari bahwa Skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya bantuan, bimbingan, arahan serta dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu, pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-sebesarnya kepada:

1. Orang tua tercinta dan tersayang serta keluarga yang telah memberikan dukungan dan doa;
2. Bapak Dr. Eng. Rocky Alfan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa;
3. Bapak Dr. Suhendar, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan dan bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi ini;
4. Bapak Adi Nugraha, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi ini;
5. Ibu Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membantu dalam memberikan arahan serta bimbingannya selama berada di bangku kuliah;
6. PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian yang merupakan objek dari laporan Skripsi ini;

7. Bapak Rizal Sofyan S.T., selaku Karyawan PT Geo Dipa Energi atas arahan dan bimbingannya selama penelitian.
8. Bapak Deri Riswandha S.T., selaku Karyawan PT Geo Dipa Energi atas arahan dan bimbingannya selama penelitian.
9. Seluruh *Staff* dan Karyawan PT Geo Dipa Energi atas arahan dan bimbingannya selama penelitian.

Penulis menyadari bahwa di dalam Skripsi ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik serta saran yang bersifat membangun agar kedepannya lebih baik lagi. Akhir kata, mudah-mudahan Skripsi ini dapat bermanfaat.

Cilegon, 10 Juli 2023



penulis

ABSTRAK

Fauzan Abdurrahman

Teknik Elektro

3332180057

Analisis Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak Trafo Sebagai Isolator Tegangan 150 kV

Tegangan Tembus yang terjadi merupakan salah satu faktor yang dapat memengaruhi kinerja dari transformator terutama pada minyak trafo yang berfungsi sebagai isolator. Dengan melakukan pengujian pada minyak menggunakan standar IEC60156 dengan batas minimum <30 kV dapat dilakukan analisa untuk mengetahui ketahanan minyak sebagai isolator dalam menahan tegangan tembus tersebut. Minyak trafo mengalami penurunan sebesar 19,7 kV ketika nilai TDCG meningkat sebesar 292 ppm. Adapun pengaruh kontaminan merupakan faktor yang dapat mempengaruhi kualitas minyak sebagai isolator. Dengan dilakukan uji korelasi hubungan antara tegangan tembus dengan TDCG diketahui nilai $r = -0,837$ menandakan hubungan tidak searah yang sangat kuat. Dari hasil analisa yang dilakukan dapat dilihat bahwa penyebab menurunnya kualitas minyak sebagai isolator dipengaruhi karena adanya kontaminan pada minyak tersebut.

Kata kunci: Tegangan Tembus, Minyak, Transformator, Kontaminan, Isolator

ABSTRACT

Fauzan Abdurrahman

Electrical Engineering

3332180057

Analysis of Breakdown Voltage Testing on Transformer Oil as a 150 kV

Voltage Isolator

The breakdown voltage that occurs is one of the factors that can influence the performance of the transformer, especially the transformer oil which functions as an insulator. By testing the oil using the IEC60156 standard with a minimum limit of <30 kV, analysis can be carried out to determine the oil's resistance as an insulator in withstanding the breakdown voltage. Transformer oil decreased by 19.7 kV when the TDCG value increased by 292 ppm. The influence of contaminants is a factor that can affect the quality of oil as an insulator. By conducting a correlation test of the relationship between breakdown voltage and TDCG in the year the value of $r = -0.837$ indicates a very strong unidirectional relationship. From the results of the analysis, it can be seen that the cause of the decline in the quality of oil as an insulator is influenced by the presence of contaminants in the oil.

Keywords: Breakdown Voltage, oil, transformer, contaminants, insulators

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Transformator.....	6
2.1.1 Prinsip Kerja Transformator	6
2.2 Bagian-bagian Transformator.....	7
2.3 Minyak Transformator (<i>Oil</i>).....	9
2.3.1 Standar Minyak Transformator.....	9
2.3.2 Jenis-Jenis Minyak Isolasi	11
2.3.3 Kontaminasi pada Minyak Trafo	11
2.3.4 Indikasi Kegagalan pada Minyak Isolasi.....	12

2.4	Minyak Sebagai Sistem Isolasi pada Transformator	13
2.5	Breakdown Voltage (BDV).....	13
2.6	Kajian Pustaka	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Diagram Alir Penelitian	19
3.2	Komponen Penelitian.....	20
3.3	Metode Penelitian	21
3.3.1	Elektroda setengah bola	22
3.4	Spesifikasi Transformator	22
3.5	Metode TDCG	24
3.6	Spesifikasi Minyak Shell Diala S4 ZX-I.....	25
3.7	Metode koefisien Korelasi dan Regresi linier	26
3.8	Oil Quality (Karakteristik)	27
3.9	Data Pengujian.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Pengujian Korelasi Kontaminan Terhadap BDV	29
4.2	Pengujian Regresi Linier tegangan tembus dengan TDCG	34
4.2.1	Regresi Linier tegangan tembus dengan karbon monoksida	35
4.2.2	Regresi linier tegangan tembus dengan metana.....	36
4.2.3	Regresi linier tegangan tembus dengan karbon dioksida	37
4.2.4	Regresi inier tegangan tembus dengan asetilen	38
4.2.5	Regresi linier tegangan tembus dengan etilen	39
4.2.6	Regresi linier tegangan tembus dengan etana.....	40
4.2.7	Regresi linier tegangan tembus dengan hidrogen	41
4.2.8	Regresi linier tegangan tembus dengan TDCG	42
4.3	Analisa <i>Water Content</i> dan Keasaman pada Minyak Trafo.....	43

4.3.1 Pengujian Koefisien Korelasi tegangan tembus dengan <i>water content</i> dan Keasaman	43
4.3.2 Pengujian Regresi linier tegangan tembus dengan <i>water content</i>	44
4.3.3 Pengujian Regresi linier tegangan tembus dengan keasaman	45
4.4 Analisa Pengaruh Kontaminasi terhadap Tegangan Tembus.....	46
BAB V PENUTUP.....	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN A DATA PENGUJIAN	A-1
LAMPIRAN B DOKUMENTASI KEGIATAN	B-1
LAMPIRAN C TABEL R (KOEFSISIEN KORELASI)	C-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Transformator	6
Gambar 2. 2 Inti Besi	7
Gambar 2. 3 Bushing	8
Gambar 2. 4 Konservator	9
Gambar 2. 5 Contoh Alat Uji Breakdown Voltage	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3. 2 Megger OTS80PB	20
Gambar 3. 3 Rangkaian Pengujian	22
Gambar 3. 4 Elektroda Setengah Bola	22
Gambar 3. 5 Name Plate Transformator	23
Gambar 4. 1 Grafik perbandingan tegangan tembus dan TDCG	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Minyak Isolasi Baru.....	10
Tabel 2. 2 Spesifikasi Minyak Isolasi Baru.....	11
Tabel 2. 3 Nilai Batas Tegangan Rusak Dielektrik	14
Tabel 2. 4 Standar Tegangan Tembus.....	15
Tabel 3. 1 Standar kandungan gas	24
Tabel 3. 2 Tabel kegagalan TDCG	24
Tabel 3. 3 Standar spesifikasi minyak Shell Diala S4 ZX-I	25
Tabel 3. 4 Interpretasi nilai r	26
Tabel 3. 5 Standar minyak Transformator IEC60422 tahun 2013	27
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Koefisien Korelasi	29
Tabel 4. 2 Interpretasi <i>Output</i> pengujian karbon monoksida	35
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian koefisien regresi karbon monoksida	35
Tabel 4. 4 Interpretasi <i>Output</i> pengujian tegangan tembus dengan metana	36
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian koefisien regresi tegangan tembus dengan metana....	36
Tabel 4. 6 Interpretasi <i>Output</i> pengujian karbon dioksida.....	37
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian koefisien regresi karbon dioksida	37
Tabel 4. 8 Interpretasi <i>Output</i> pengujian asetilen.....	38
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian koefisien regresi asetilen	38
Tabel 4. 10 Interpretasi <i>Output</i> pengujian etilen	39
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian koefisien regresi etilen	39
Tabel 4. 12 Interpretasi <i>Output</i> pengujian etana.....	40
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian koefisien regresi etana	40
Tabel 4. 14 Interpretasi <i>Output</i> pengujian hidrogen.....	41
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian koefisien regresi hidrogen	41
Tabel 4. 16 Interpretasi <i>Output</i> pengujian TDCG	42
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian koefisien regresi TDCG.....	42
Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Koefisien korelasi Water Content dan keasaman ...	43
Tabel 4. 19 Interpretasi <i>Output</i> pengujian water content	44
Tabel 4. 20 Hasil Pengujian koefisien regresi water content	44
Tabel 4. 21 Interpretasi <i>Output</i> pengujian keasaman	45
Tabel 4. 22 Hasil Pengujian koefisien regresi keasaman	45

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator di berbagai wilayah di dunia telah banyak menggunakan minyak isolasi yang berasal dari minyak bumi. Minyak mineral telah muncul sebagai alternatif utama karena hasil yang menguntungkan, ketersediaan melimpah, dan harga yang sangat terjangkau. Transformator biasanya menggunakan minyak mineral bersuhu tinggi di wilayah yang rentan terhadap kebakaran, seperti fasilitas perminyakan, pabrik kimia, dan zona minyak perumahan padat penduduk [1].

Masyarakat masa kini sangat membutuhkan energi listrik untuk memudahkan pelaksanaan beragam tugas, karena sebagian besar aktivitas manusia saling berhubungan dengan listrik. Listrik telah menjadi sumber energi utama di berbagai bidang, baik di sektor rumah tangga maupun industri. Permintaan energi listrik secara konsisten melampaui permintaan energi lainnya, dengan sektor perumahan mengalami pertumbuhan paling besar, diikuti oleh sektor industri, komersial, transportasi, dan sektor lainnya. Dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik, beban yang ditempatkan pada transformator juga akan meningkat. Sumber listrik yang andal dan berkelanjutan sangat penting, terutama untuk trafo yang memerlukan pemeliharaan pada bagian minyak trafo. [2][3].

Trafo listrik adalah suatu alat yang memfasilitasi konversi energi listrik antara dua rangkaian listrik dengan menggunakan kopling magnet, yang beroperasi dengan konsep induksi magnet. Transformator biasanya digunakan dalam proses transfer energi listrik antar level tegangan [4]. Transformator merupakan salah satu kategori peralatan listrik yang penting untuk distribusi tenaga listrik. Trafo dapat dikategorikan menjadi dua jenis: trafo step-up pada unit pembangkit, yang memperkuat tegangan yang dihasilkan oleh generator. Peningkatan tegangan ini kemudian disalurkan sebagai tenaga listrik ke gardu induk, dimana tegangan tersebut diturunkan menjadi tegangan menengah atau tegangan primer melalui trafo pengurang tegangan [5].

Trafo dan pemutus pada sistem tenaga memerlukan bahan pelindung yang berguna untuk melindungi dan mendinginkan trafo. Sektor industri sangat bergantung pada minyak, khususnya pada peralatan bertegangan tinggi seperti

transformator daya dan pemutus arus. Sifat pelindung minyak menjadikannya isolator yang efektif pada perangkat keras bertegangan tinggi. Minyak transformator memiliki kapasitas untuk berfungsi sebagai bahan pelindung dan pendingin, sekaligus menunjukkan kemampuan untuk melarutkan zat gas yang muncul akibat gangguan sistem. Di mana-mana, trafo digunakan dengan cara yang sama terutama trafo daya saat voltase dinaikkan atau diturunkan untuk menyesuaikan voltase mesin. Oli juga dapat digunakan sebagai pemadam busur api dan bahan pendingin (penyerap panas) [6][7].

Minyak isolasi harus mempunyai ketahanan terhadap arus listrik, serta sifat fisik dan kimia yang berfungsi sebagai isolasi. Kotoran pada isolasi minyak dapat menurunkan daya tahan dan merusak minyak. Akibat penggunaan terus menerus sebesar 100% maka trafo akan menimbulkan panas pada area/bagian dalam trafo atau dapat disebut dengan suhu *hotspot* yang jika dibiarkan akan menyebabkan menurunnya isolasi trafo khususnya isolasi cair. dalam bentuk minyak yang biasa disebut dengan minyak trafo. [8][9].

Selain berfungsi sebagai pendingin, tingkat kontaminasi oli dapat mempengaruhi aman atau tidaknya insulasi dielektrik oli saat trafo mencapai suhu tinggi. Jika trafo rusak maka distribusi listrik akan mengalami gangguan. Proses perbaikan trafo memakan waktu biaya yang tidak sedikit. Oleh sebab itu, kehati-hatian harus dilakukan saat menyervis trafo untuk menghindari kerusakan atau kegagalan operasional. Pemeliharaan tidak hanya melibatkan kerja fisik langsung pada peralatan yang bersangkutan, namun juga memerlukan perencanaan dan pengawasan yang efektif terhadap pelaksanaannya. [10][11].

Paparan suhu tinggi yang terlalu lama dapat menyebabkan minyak trafo mengalami titik didih sehingga mengakibatkan keluarnya uap air ke langit-langit trafo. Setelah minyak dipanaskan, uap air yang dihasilkan selanjutnya akan turun ke minyak transformator dan mengendap pada inti isolator dan inti transformator. Peningkatan suhu serta keberadaan air berdampak pada kinerja isolasi minyak transformator. Tentu saja faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi penurunan tegangan tembus minyak trafo. [12].

Tegangan Rusak minyak isolasi transformator berkurang sebagai kadar air meningkat. Kadar air yang tinggi ditambah dengan gas terlarut yang memiliki

tekanan lebih tinggi dari tekanan sekitar juga menyebabkan efek seperti terjadinya uap gelembung di transformator. Oleh karena itu pemantauan kelembaban dalam minyak merupakan prosedur perawatan rutin [13].

Berbagai jenis partikel kontaminan seperti karbon, selulosa, tembaga dan besi merupakan partikel kontaminan yang paling umum ditemukan dalam minyak isolasi transformator. Kehadiran partikel logam seperti tembaga dan besi sering menjadi penyebab degradasi pada konduktor, karbonisasi cairan isolasi dapat dihasilkan karena *internal arcing* atau pelepasan listrik karena adanya partikel logam yang dihasilkan selama proses manufaktur [14].

Pengujian yang dilakukan mengikuti IEC 60156. Pengaturan menggunakan jarak celah 2,5 mm antara dua elektroda. Sel uji adalah diisi dengan kurang lebih 500 ml minyak. Bergantung pada tegangan pengenalan trafo, nilai terukur harus memenuhi 30 kV, 40 kV atau 50 kV untuk tegangan tertinggi [15].

Minyak trafo diharapkan dapat mengurangi panas yang dihasilkan di dalam trafo. Kualitas minyak trafo pada akhirnya akan menurun seiring dengan penggunaan atau pengoperasian yang terus menerus. Fenomena ini mungkin timbul karena adanya oksidasi dan kontaminasi minyak transformator dengan bahan kimia lain, sehingga mengakibatkan penurunan karakteristik isolasinya. Sifat minyak isolasi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitasnya untuk melindungi transformator [16].

Oleh karena itu dalam memastikan parameter kinerja isolator cair, pengujian kekuatan tembus adalah salah satu prosedur terpenting yang digunakan, karena partikel asing atau kontaminan lainnya memiliki kecenderungan kuat untuk secara signifikan mengurangi tegangan tembus cairan isolasi. Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk menguji dan membandingkan karakteristik kerusakan yang terjadi pada minyak trafo.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana menguji koefisien korelasi tegangan tembus pada minyak trafo?
2. Bagaimana pengaruh dari kontaminasi terhadap tegangan tembus pada minyak trafo berdasarkan regresi linier?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian berdasarkan rumusan masalah yaitu:

1. Menguji korelasi tegangan tembus pada minyak trafo
2. Menganalisis pengaruh kontaminan terhadap tegangan tembus pada minyak trafo dengan menggunakan metode regresi linier

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi pendidikan, dapat digunakan untuk memberikan wawasan serta ilmu pengetahuan terkait tegangan tembus (*break down voltage*)
2. Bagi akademisi, hasil dari analisis minyak pada trafo dapat digunakan sebagai referensi dalam perawatan minyak isolator yang berfungsi dalam trafo.
3. Bagi masyarakat, supaya penyaluran listrik terhadap masyarakat selalu lancar dan tidak terjadi kendala seperti pemadaman listrik akibat gangguan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada pada penelitian ini yaitu:

1. Pengujian pada kontaminan hanya menggunakan metode TDCG
2. Penelitian dilakukan untuk menentukan kuatnya korelasi kontaminan dengan tegangan tembus pada minyak trafo
3. Pengujian dilakukan pada minyak isolasi pakai.
4. Data tegangan tembus yang diambil di PT. Geodipa Energi sesuai dengan standar PLN

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan yang terdapat pada laporan ini disusun dengan ketentuan yang ada dimana terdiri dari 5 bab, susunan tersebut antara lain:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan pendekatan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menyajikan teori-teori yang diperoleh dari penelitian tentang dampak tegangan tembus terhadap minyak pada transformator dan memberikan informasi pendukung penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang alur penelitian, komponen penelitian, metode penelitian, spesifikasi objek penelitian serta data penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini memaparkan tentang kajian analisis penelitian yang telah dilakukan.

BAB V PENUTUPAN

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan hasil penelitian, dan sebagai sarana pemberian saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suherman A. dan E. Puspitasari, “Pengaruh Kontaminan Air Terhadap Tegangan Tembus Pada Minyak Transformator Dan Minyak Kelapa Murni,” *Gravity J. Ilm. Penelit. dan Pembelajaran Fis. GRAVITY*, vol. 2, no. 2, pp. 99–111, 2016.
- [2] Suherman E. dan M. Akbar, “Analisis Karakteristik Minyak Transformator STARLITE 400 kVA Terhadap Tegangan Tembus,” *Tek. Elektro Univ. Darma Persada*, vol. x, no. 1, pp. 91–99, 2020.
- [3] Christiono, M. Reza Hidayat, dan W. Bagus, “Analisis Kemampuan Minyak Isolasi Transformator Daya Merek Unindo Dengan Pengujian Dissolved Gas Analysis dan Breakdown Voltage di Gardu Induk Serpong,” *J. Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 18, no. 3, pp. 100–106, 2020.
- [4] Badaruddin dan F. Agung Firdianto, “Analisa Minyak Transformator Pada Transformator Tiga Fasa,” *J. Teknol. Elektro, Univ. Mercu Buana*, vol. 7, no. 2, pp. 75–83, 2016.
- [5] Widyastuti C. dan R. Alvin Wisnuaji, “Analisis Tegangan Tembus Minyak Trasnformator Di PT. PLN(PERSERO) Bogor,” *Elektron J. Ilm.*, vol. 11, no. 75–78, 2019.
- [6] Saribu D.H.D dan Firdaus, “Analisis Karakteristik Breakdown Voltage Pada Dielektrik Minyak Transformator 45 MVA Dengan Suhu Operasi yang Bervariasi di Pusat Listrik Kota Panjang,” *J. Jom FTEKNIK*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 2017.
- [7] Rahayu S., R. Okvasari, dan R. A. Diantari, “Pengujian Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator 60 MVA Di GIS Kebun Jeruk,” *J. Ilm. SUTET*, vol. 9, no. 1, pp. 46–55, Jun. 2019, doi: 10.33322/sutet.v9i1.495.
- [8] Akca H., C. Kocatepe, dan R. Ayaz, “Breakdown Strength Analysis Of The Transformer Insulation Oil Due To Different Standards” in *Yildiz Technical University, Department of Electrical Engineering, Istanbul, Turkey*, 2015.
- [9] Wijonarko B., “Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur Dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator,” *Tek. Elektro, Univ. Muhammadiyah Yogyakarta*, pp. 1–5,

- 2018.
- [10] Wang X. dan Z. Wang, "Particle Effect on Breakdown Voltage of Mineral and Ester Based Transformer Oils," *J. Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenom.*, vol. 1, pp. 598–602, 2008.
- [11] Syakur A. dan W. Lazuardi, "Penerapan Metode Interpretasi Rasio Roger, Segitiga Duval, Breakdown Test, dan Water Content Test untuk Diagnosis Kelayakan Minyak Transformator," *TEKNIK*, vol. 40, no. 1, pp. 63–68, 2019, doi: 10.14710/teknik.v40n1.22056.
- [12] Hadinata R., "Analisa Pengaruh Water Content Terhadap Kekuatan Dielektrik Breakdown Voltage pada Minyak Tranformator 500kV di PLTU Paiton Menggunakan Metode Korelasi," *J. Tek. Elektro FT Univ. Muhammadiyah Jember*, vol. 1, pp. 1–9, 2019.
- [13] Suleiman A. A., N. A. Muhamad, N. Bashir, N. S. Murad, Y. Z. Arief, dan B. T. Phung, "Effect of moisture on breakdown voltage and structure of palm based insulation oils," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 21, no. 5, pp. 2119–2126, Oct. 2014, doi: 10.1109/TDEI.2014.004431.
- [14] Maneerot S. dan N. Pattanadech, "Effect of contaminant on breakdown characteristics of mineral oil and commercial natural ester," *ECTI-CON 2018 - 15th Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Telecommun. Inf. Technol.*, pp. 688–691, 2019, doi: 10.1109/ECTICon.2018.8619864.
- [15] Mueller A. dan S. Tenbohlen, "Assesment Of Oil Analysis Data For Medium Voltage Distribution Transfomer," *J. Int. Symp. High Volt. Eng. XVII*, vol. 17, pp. 22–26, 2011.
- [16] Andayani N., *et al.*, "Analisis Water Content dan Breakdown Voltage Pada Isolasi Minyak Nynas Nytro Libra Dengan Variasi Zat Aditif Fenol," *Jur. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 1–12, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/42560>
- [17] Tondok Y. P., Lily Setyowaty Patras, dan F. Lisi, "Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 8, no. 83–92, 2019.
- [18] Widiyantoro B., "Analisis Kemampuan Minyak Isolasi Transformator Daya Merk Unindo Dengan Pengujian *Dissolved Gas Analysis* dan *Breakdown*

- Voltage Di Gardu Induk Serpong,” Skripsi Inst. Teknol. PLN, 2020.*
- [19] PLN, *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero), 2014.
- [20] Doloksaribu Y. F., “Deteksi Gangguan Transformator Dengan Analisa Gas Terlarut Dengan Menggunakan Gas Chromatograph Di Unit Pembangkit Namora I Langit Sarulla Operation Ltd,” *Skripsi Univ. Sumatera Utara*, 2021.
- [21] Soehardi, “Pemeliharaan Trafo 1 Phasa 50 Kva,” *Power Elektron.*, vol. 2, no. 3, p. 159764, 2017.
- [22] Thoriq Maulana M., M. Hilmi Habibullah, Sunandar, N. Sholihah, M. Ainul Rifqi L. P., dan F. Fahrudin, “Pemeliharaan Transformator Daya 30 MVA Di PLTP Lahendong,” *Lap. Akhir*, vol. 1, no. 201310200311137, pp. 78–79, 2015.
- [23] Patoral Sihombing A., Z. Tharo, dan A. D. Tarigan, “Pengoperasian Transformator Dengan Menggunakan Tap Changer Aplikasi Gardu Induk Denai,” *J. Electr. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 2502–3624, 2020.
- [24] Novia Anggraini I. dan M. Khairul Amri Rosa, “Analisa Tegangan Tembus Minyak Nabati Dengan Perlakuan Pemanasan Berulang,” *J. Amplif.*, vol. 5, no. 2, pp. 62–69, 2020.
- [25] Rosyidi N., “Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak Trafo,” *J. Sinusoida*, vol. 23, no. 2, pp. 21–30, 2021.
- [26] Nugroho D., “Kegagalan Isolasi Minyak Trafo,” *Media Elektr. ISSN 1979-7451*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2010.
- [27] Wattanawongpitak S. dan C. Suwanasri, “*Condition Evaluation of Power Transformers Using Dissolved Gas Analysis and Dielectric Breakdown Voltage Test*,” *J. Int. Electr. Eng. Congr. 5th*, vol. 1, pp. 1–4, 2017.
- [28] Kunto Wibowo W. , “Analisis Karakteristik *Breakdwon Voltage* Pada Dielektrik Minyak Shell Diala B Pada Suhu 30° C-130° C,” *Tek. Elektro Univ. Diponegoro*, vol. 03, no. 1, pp. 1–11, 2021.
- [29] Siswanto A., A. Rohman, S. Suprijadi, M. Baehaqi, dan A. Arifudin, “Analisis Karakteristik Minyak Transformator Menggunakan Pengujian *Dissolved Gas Analysis (Dga)* Pada Ibt 1 Gardu Induk,” *Foristek*, vol. 12,

- no. 1, pp. 30–42, 2022, doi: 10.54757/fs.v12i1.142.
- [30] Anonim, “Shell Diala S4 ZX-I Sicherheitsdate,” pp. 5–7, 2018.
- [31] Oksa Winanta I.N., A. A. N. Amrita, dan W. G. Ariastina, “Studi Tegangan Tembus Minyak Transformator,” *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 3, p. 10, 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i03.p02.
- [32] Purba D. dan M. Purba, “Aplikasi Analisis Korelasi dan Regresi menggunakan Pearson Product Moment dan Simple Linear Regression,” *Citra Sains Teknol.*, vol. 1, no. 2, pp. 97–103, 2022.
- [33] Janna N.M. dan Herianto, “Konsep Uji Validitas Dan Reliabilitas dengan menggunakan SPSS” *J. Darul Dakwah Wal-Irsyad*, no. 18210047, pp. 1–12, 2021.
- [34] Ilahi G.U., E. T. Hardi, J. Napitupulu, dan J. Sinaga, “Analisis Prakiraan Masa Pakai Transformator Berdasarkan Beban Menggunakan Metode Regresi Linier,” vol. 12, no. 1, pp. 51–61, 2023.
- [35] Suripto, “Pengujian Karakteristik Minyak Transformator Gedung 72 Batan Serpong,” *PRIMA*, vol. 13, no. November, pp. 19–28, 2016..