

**ANALISIS METODE PURIFIKASI DALAM
MENDAUR ULANG MINYAK TRAFO DI
LINGKUNGAN PT. PLN (PERSERO)**

TUGAS AKHIR



DORIS SANDI

1700825201064

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BATANGHARI
JAMBI
2022**

**ANALISIS METODE PURIFIKASI DALAM
MENDAUR ULANG MINYAK TRAFKO DI
LINGKUNGAN PT. PLN (PERSERO)**

TUGAS AKHIR



DORIS SANDI

1700825201064

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BATANGHARI
JAMBI
2022**

**ANALISIS METODE PURIFIKASI DALAM
MENDAUR ULANG MINYAK TRAFKO DI
LINGKUNGAN PT. PLN (PERSERO)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



DORIS SANDI

1700825201064

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BATANGHARI
JAMBI
2022**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS PEMANFAATAN METODE PURIFIKASI DALAM
MENDAUR ULANG MINYAK TRAFIK DI LINGKUNGAN
PT. PLN (PERSERO)**

TUGAS AKHIR

Oleh:

DORIS SANDI
NPM : 1700825201064

Dengan ini dosen pembimbing Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi, menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul dan penyusun sebagaimana tersebut diatas telah disetujui sesuai dengan prosedur, ketentuan kelaziman yang berlaku pada Program Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi.

Pembimbing I


Menik Kasman, ST, M.Eng.sc

NIDN: 0003088001

Jambi, September 2022
Pembimbing II


Anggrika Riyanti, ST, M.Si

NIDN: 1010028704

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PEMANFAATAN METODE PURIFIKASI DALAM
MENDAUR ULANG MINYAK TRAFKO DI LINGKUNGAN
PT. PLN (PERSERO)

Tugas akhir ini telah dipertahankan pada Sidang Tugas Akhir
Komprehensif Program Studi Lingkungan Fakultas Teknik Universitas
Batanghari.

Nama : Doris Sandi
NPM : 1700825201064
Hari / Tanggal : Jum'at / 19 Agustus 2022
Tempat : Ruang FT.07

TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Ketua:

1. Peppy Herawati, ST, MT
NIDN. 101227402

Anggota:

2. Anggrika Riyanti, ST, M.Si
NIDN. 1010028704

3. Mouik Kasman, ST, M.Eng.Sc
NIDN. 0003088001

4. Hadrah, ST, MT
NIDN. 1020088802

5. Drs. G. M. Saragih, M.Si
NIDN. 001126110

Disahkan Oleh

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. H. Fakhrol Rozi Yamali, ME
NIDN. 101512501

Ketua Program Studi Teknik
Lingkungan

Martuani, ST, M.Si
NIDN. 1008038002

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN



Nama: Doris Sandi

NPM : 1700825201064

Judul : Analisis Metode Purifikasi dalam
Mendaur ulang Minyak Trafo Di
Lingkungan PT. PLN (Persero)

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir saya merupakan karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan / *plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan / *plagiat* dalam Laporan Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Batanghari sesuai aturan yang berlaku.

Demikian Pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa ada paksaan dari siapapun.

Jambi, September 2022

Doris Sandi

ABSTRAK

ANALISIS METODE PURIFIKASI DALAM MENDAUR ULANG MINYAK TRAFU DI LINGKUNGAN PT. PLN (PERSERO)

Doris Sandi, Dibimbing Oleh Pembimbing I Monik Kasman ST, M.Eng.Sc dan Pembimbing II Anggrika Riyanti, ST, M.Si

ABSTRAK

Minyak trafo daya berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak trafo daya merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis, yaitu parafinik, naphthanik, dan *aromatic*, dengan kondisi minyak trafo daya yang baik di harapkan mampu melindungi trafo daya dari gangguan. PT PLN (Persero) UPT Jambi ULTG Aurduri memiliki trafo daya sebanyak 13 unit, disetiap trafo daya memiliki kemampuan operasi yang bermacam-macam, untuk di lingkungan ULTG Aurduri memiliki kemampuan daya mulai dari 30-60 MVA dan memiliki batas beban maksimum untuk beroperasi, disetiap trafo daya memiliki umur manufaktur dan operasi yang berbeda-beda. Saat trafo daya dalam keadaan beroperasi trafo daya dilengkapi dengan sistem keamanan tersendiri dalam menopang kemampuan arus beban listrik yaitu ada minyak isolasi, dan sistem proteksi, Minyak isolasi yang ada didalam trafo daya memiliki fungsi yang sangat penting, tanpa adanya minyak maka trafo tersebut tidak akan dapat beroperasi, Begitupun dengan relel proteksi memiliki peranan penting dalam dalam mengamankan trafo daya pada saat beroperasi. Setelah dilakukan pengukuran tegangan tembus pada minyak trafo yang belum dan telah di purifikasi, maka didapatkan perbandingan hasil tegangan tembus sebelum purifikasi yaitu sebesar 24,9 kV dan setelah 80,1 kV. Hasil tegangan tembus yang diperoleh setelah purifikasi telah memenuhi batas tegangan tembus yang diizinkan untuk tegangan peralatan sebesar 80,1 kV yaitu ≥ 50 kV.

Kata Kunci : Metode Purifikasi, Minyak trafo

ABSTRACT

ANALYSIS OF PURIFICATION METHODS IN RECYCLING TRANSFORMATION OIL IN THE ENVIRONMENT OF PT PLN (Persero)

Doris Sandi, Supervised by Supervisor I Monik Kasman ST, M.Eng.Sc and Supervisor II Anggrika Riyanti, ST, M.Si

ABSTRACT

Power transformer oil works as an insulating medium, cominyakng and protecting the windings from oxidation. Power transformer insulating oil is mineral oil which is generally divided into three types, namely paraffinic, napthanic, and aromatic, with a good power transformer insulating oil condition is expected to be able to protect the power transformer from interference. PT PLN (Persero) UPT Jambi ULTG Aurduri has a power transformer of 13 units, each power transformer has various operating capabilities, for the ULTG Aurduri environment has power capabilities ranging from 30-60 MVA and has a maximum load limit to operate, every time power transformers have different manufacturing and operating lives. When the power transformer is in operation the power transformer is equipped with its own security system to support the strength of the electric load current, namely there is insulating oil, and a protection system. The insulating oil in the power transformer has an important function, without oil the transformer will not be able to operate. Likewise, the protection relay has an important role in the operation of the power transformer while operating. After measuring the breakdown voltage on the transformer oil that has not been and has been purified, the comparison of the breakdown voltage results before purification is 24.9 kV and after 80.1 kV. The voltage results obtained after purification have met the permissible limits for equipment voltage of 80.1 kV, namely 50 kV.

Keywords: Purification Method, Transformer Insulating Oil

PRAKATA

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT, atas karunia dan rahmatnya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Analisis metode purifikasi dalam mendaur ulang minyak trafo daya di Lingkungan PT. PLN (Persero). Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mengerjakan Tugas Akhir pada program Strata-1 di program studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Batanghari Jambi.

Penulis menyadari dalam penyusunan tugas akhir ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. H. Fakrul Rozi Yamali, M.E selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi.
2. Bapak Marhadi, S.T, M.Si. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan.
3. Ibu Monik Kasman, S.T, M.Eng,Sc selaku pembimbing I dan Ibu Anggrika Riyanti, ST, M,Si. selaku pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan.
4. Kedua orang tua yang memberikan do'a dan semangat.
5. Rekan-rekan Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Batanghari angkatan 2017 yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, serta semua pihak yang ikut memberikan semangat, dukungan dan saran.

Akhir kata Penulis berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk bahan pembelajaran serta tambahan ilmu pengetahuan bagi semua pihak. Penulis

mohon maaf, apabila dalam penulisan Proposal Tugas Akhir ini terdapat kekeliruan, serta Penulis mohon semoga Allah SWT selalu melimpahkan taufiq, rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, *Aamiin*.

Jambi, September 2022

Penulis

Doris Sandi

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini:

Nama : Doris Sandi

NPM : 1700825201064

Judul : Analisis Metode Purifikasi dalam Mendaur ulang Minyak Trafo Di Lingkungan PT. PLN (Persero)

Memberikan izin kepada pembimbing dan Universitas Batanghari untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding Author*).

Demikian Pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Jambi, September 2022

Doris Sandi

DAFTAR ISI

	Hal
Halaman Judul	i
Halaman Persetujuan.....	iv
Halaman Pengesahan	v
Halaman Pernyataan Keaslian	vi
Abstrak	vii
Prakata.....	ix
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi	xi
Daftar Isi.....	xii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Tabel	xv
Daftar Lampiran	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Trafo Daya	7
2.2 Minyak Trafo daya Digunakan Sebagai Isolator Cair	20
2.3 Karakteristik Minyak Trafo daya.....	23
2.4 Pengujian Tegangan Tembus	25
2.5 Purifikasi Minyak Trafo daya	25
2.6 Mobil Purifikasi	29
2.7 Dissipation Factor (Tan Delta)	33
2.8 Limbah B3	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian.....	39
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	39
3.3 Data Penelitian	40
3.4 Alur Penelitian	41
3.5 Pengumpulan data	43
3.6 Analisis Data	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak Trafo Sebelum Purifikasi	49
4.2 Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak Trafo Setelah	

Purifikasi	50
4.3 Perbandingan Hasil Tegangan Tembus Sebelum dan Setelah Purifikasi	61
4.4 Pengujian Tan Delta	62
4.5 Analisis Reduksi Limbah B3 Minyak Trafo Daya.....	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
1.1 Kesimpulan	65
1.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	66

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Rangkaian Ekvivalen sebuah trafo daya	7
Gambar 2.2 Grafik rugi histrisis terhadap ϕ	19
Gambar 2.3 Arah arus pusaran pasa logam inti	20
Gambar 2.4 Minyak pada trafo daya	21
Gambar 2.5 Mobil purifikasi	29
Gambar 2.6 Diagram alir purifikasi	30
Gambar 2.7 Diagram mobil purifikasi	31
Gambar 2.8 Diagram proses pemurnian minyak.....	33
Gambar 3.1 Bagan alur penelitian.....	41
Gambar 4.1 Tegangan tembus setelah purifikasi ke-1	51
Gambar 4.2 Tegangan tembus setelah purifikasi ke-2.....	52
Gambar 4.3 Tegangan tembus setelah purifikasi ke-3.....	53
Gambar 4.4 Tegangan tembus setelah purifikasi ke-4.....	54
Gambar 4.5 Tegangan tembus setelah purifikasi ke-5	55
Gambar 4.6 Tegangan tembus setelah purifikasi ke-6.....	56
Gambar 4.7 Tegangan tembus setelah purifikasi ke-7	57
Gambar 4.8 Tegangan tembus setelah purifikasi ke-8.....	58
Gambar 4.9 Tegangan tembus setelah purifikasi ke-9.....	59
Gambar 4.10 Rekapitulasi tegangan tembus sebelum dan sesudah purifikasi. 60	

DAFTAR TABEL

Hal

Tabel 2.2 Tipe pendinginan trafo daya	11
Tabel 4.1 Nilai tegangan tebus sebelum purifikasi	49
Tabel 4.2 Standar/ batas pngujian (SK DIR 520)	50
Tabel 4.3 Nilai tegangan tebus setelah purifikasi ke-1	51
Tabel 4.4 Nilai tegangan tebus setelah purifikasi ke-2	52
Tabel 4.5 Nilai tegangan tebus setelah purifikasi ke-3	53
Tabel 4.6 Nilai tegangan tebus setelah purifikasi ke-4	54
Tabel 4.7 Nilai tegangan tebus setelah purifikasi ke-5	55
Tabel 4.8 Nilai tegangan tebus setelah purifikasi ke-6	56
Tabel 4.9 Nilai tegangan tebus setelah purifikasi ke-7	57
Tabel 4.10 Nilai tegangan tebus setelah purifikasi ke-8	58
Tabel 4.11 Nilai tegangan tebus setelah purifikasi ke-9	59
Tabel 4.12 Perbandingan hasil tegangan tembus minyak trafo daya sebelum dan setelah purifikasi	60
Tabel 4.13 Perbandingan hasil tan delta sebelum dan setelah purifikasi	61

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : SK Tugas Akhir
- Lampiran 2 : Lembar Asistensi Tugas Akhir Pembimbing Satu
- Lampiran 3 : Lembar Asistensi Tugas Akhir Pembimbing Dua
- Lampiran 4 : SK Penunjukan Dosen Penguji Tugas Akhir

- Lampiran 5 : Undangan Sebagai Penguji Tugas Akhir
- Lampiran 6 : Surat Keterangan Lulus
- Lampiran 7 : Surat Keterangan Bebas Biaya SPP dan Bebas Pustaka
- Lampiran 8 : Surat Keterangan Nilai Hasil Tugas Akhir
- Lampiran 9 : Lembar Originality Report
- Lampiran 10 : Formulir Pengujian FR-TRS-BOT-201
- Lampiran 11 : Formulir Pengujian FR-TRS-BOT-121
- Lampiran 12 : Formulir Pengujian IK-PLB-OPH-054
- Lampiran 13 : Formulir pengujian IK-TRS-BOT-002
- Lampiran 14 : Formulir pengujian IK-TRS-BOT-146
- Lampiran 15 : Hasil Pengujian Tan Delta Sebelum Purifikasi
- Lampiran 16 : Hasil Pengujian Tan Delta Setelah Purifikasi
- Lampiran 17 : Formulir Rekomendasi FR-TRS-RNV-042
- Lampiran 18 : Formulir IK-TRS-LKK-003
- Lampiran 19 : Unit Trafo Daya 2 60 MVA
- Lampiran 20 : Nameplate Trafo Daya dan Nameplate Mobil Purifikasi
- Lampiran 21 : Alat Pengujian Tegangan Tembus Minyak
- Lampiran 22 : Display Alat Uji Tegangan Tembus
- Lampiran 23 : Proses Pengujian Tegangan Tembus
- Lampiran 24 : Hasil Uji Tegangan Tembus
- Lampiran 25 : Mobil Purifikasi
- Lampiran 26 : Indikasi Mobil Purifikasi
- Lampiran 27 : Rangkaian Purifikasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Trafo daya merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, trafo daya digunakan untuk menaikkan /meningkatkan tegangan (*Step Up*) pada sistem kelistrikan.

PT. PLN (Persero) UPT Jambi Unit Layanan Transmisi Gardu Induk Aurduri memiliki trafo daya sebanyak 13 unit, dimana trafo daya memiliki kemampuan operasi yang berbeda-beda. Kemampuan daya di lingkungan Unit Layanan Transmisi Gardu Induk Aurduri berkisar antara 30-60 MVA dan memiliki batas beban maksimum untuk beroperasi. Setiap trafo daya memiliki umur manufaktur dan operasi yang berbeda-beda. Saat trafo daya dalam keadaan beroperasi trafo daya dilengkapi dengan sistem keamanan tersendiri dalam menopang kemampuan arus beban listrik yaitu ada minyak isolasi, dan sistem proteksi. Minyak isolasi yang ada di dalam trafo daya memiliki fungsi yang sangat penting, tanpa adanya minyak maka trafo tersebut tidak akan dapat beroperasi.

Semakin tua usia dan tingginya beban trafo daya mengakibatkan minyak yang terdapat dalam trafo daya tersebut akan mengalami penurunan, Apabila minyak trafo daya yang sudah mengalami penurunan kualitas tetapi tidak dilakukan pemeliharaan akan mengakibatkan berbagai macam kerugian misalnya terjadinya kegagalan operasi trafo daya, rusaknya trafo daya, dan timbulnya limbah B3 minyak trafo daya dengan jumlah besar.

Minyak trafo daya yang sudah tidak terpakai akan menjadi limbah B3 dan selanjutnya perlu pengolahan limbah B3, untuk itu tertuang dalam ISO 14001:2015, dengan nomor prosedur PR-K3L-PLH-05. Prosedur ini mencakup kegiatan dalam melakukan pengelolaan limbah B3 yang dihasilkan dari kegiatan operasional dan pemeliharaan instalasi antara lain: Minyak trafo bekas (B105d), baterai bekas non aset (A102d), majun bekas (B110d), dan limbah terkontaminasi B3 (A108d) di lingkungan PT PLN (Persero).

Untuk itu, Unit Layanan Transmisi Gardu Induk Aurduri memiliki metode purifikasi pada minyak trafo daya untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada minyak trafo daya. Metode purifikasi minyak trafo daya untuk mengurangi kontaminasi yang ada pada minyak trafo daya. Metode ini merupakan salah satu pekerjaan pemeliharaan trafo daya pada bagian *Shutdown measurement*. Metode purifikasi hanya dilakukan apabila kondisi minyak trafo daya mengalami penurunan kualitas yang diperoleh dari pengukuran awal melalui pengujian tegangan tembus. Untuk menjaga keandalan trafo daya agar tetap bisa beroperasi sebagaimana mestinya diperlukan minyak yang memiliki nilai tegangan tembus yang memenuhi standar yang ada di lingkungan PT. PLN (Persero). Jika kondisi minyak yang ada didalam trafo daya tidak memenuhi standar maka akan terjadi kegagalan.

Kegagalan minyak trafo daya terjadi akibat trafo daya tersebut dipakai dalam kondisi beban yang tinggi secara terus menerus, maupun minyak yang sudah kotor atau sudah terkontaminasi dengan partikel-partikel pengotor didalam trafo tersebut. Minyak trafo daya ini jika tidak dapat digunakan lagi akan menjadi

limbah beracun dan berbahaya (B3). Untuk itu, minyak trafo daya tersebut perlu dipurifikasi untuk mengurangi timbulnya limbah B3. Penelitian ini akan menganalisis pemanfaatan metode purifikasi untuk mendaur ulang minyak trafo daya dalam rangka mengurangi timbulnya limbah B3.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini bagaimana efektivitas pemanfaatan metode purifikasi sebagai upaya mendaur ulang minyak trafo di lingkungan PT. PLN (Persero) untuk menekan timbulan limbah B3.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui efektivitas metode purifikasi minyak trafo daya dalam menekan timbulan limbah B3 di lingkungan PT. PLN (Persero).

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari kegiatan ini adalah agar timbulan Limbah B3 Di Lingkungan PT. PLN (Persero) UPT Jambi Unit Layanan Transmisi Gardu Induk Aurduri dapat diminimalisir dengan baik dengan Metode Purifikasi Minyak trafo sehingga PT. PLN (Persero) dapat menekan biaya untuk pembelian minyak trafo yang baru.

1.5. Batasan Masalah

Dari rumusan masalah di atas, maka permasalahan dalam penelitian ini dibatasi pada:

1. Purifikasi minyak trafo daya dilakukan di lingkungan PT. PLN (Persero) UPT Jambi ULTG Aurduri.
2. Kondisi minyak isolasi diuji dengan metode pengujian tegangan tembus minyak, dan pengujian tan delta, untuk mengetahui kondisi penurunan kualitas tahanan isolasi pada trafo daya.
3. Sampel penelitian adalah Trafo daya #2 60 MVA merek XIAN di Gardu Induk Payo Selincah, dikarenakan usia trafo daya sudah mencapai 28 tahun dengan beban sebesar 939A

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penjelasan tentang isi dari tiap-tiap bab dalam skripsi ini akan diuraikan sistematika penulisan dari lima bab sebagai berikut :

I. PENDAHULUAN

Bab ini dimulai dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang teori yang berkaitan dengan analisis metode purifikasi dalam mendaur ulang minyak trafo di lingkungan PT. PLN (Persero).

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan tentang jenis penelitian, waktu dan tempat penelitian, data penelitian, alur penelitian, pengumpulan data, analisa data dan jadwal penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Pembahasan menggambarkan hasil penelitian dan pembahasan, tergantung topik penelitian. Hasil dan pembahasan dapat disajikan dalam bentuk narasi, tabel, foto dan peta dari segi data primer dan sekunder. Argumen harus tajam dan tidak boleh melewati batas tujuan dan masalah penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

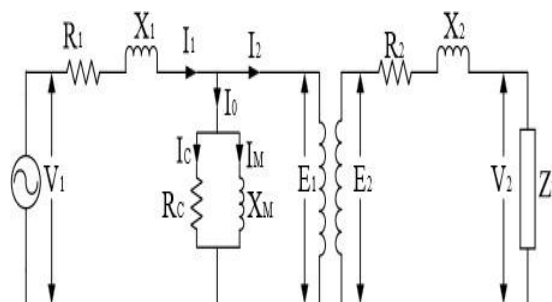
Kesimpulan berisi ringkasan implementasi dan hasil pengujian dan harus jelas dan tidak ambigu. Saran berisi saran-saran bagaimana cara lebih lanjut untuk memecahkan masalah yang diteliti.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Trafo daya

2.1.1 Pengertian Trafo daya

Trafo daya adalah perangkat statis yang dirancang untuk mentransfer energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian lain dengan mengubah tegangan (menambah tegangan atau menurunkan tegangan) tanpa mengubah frekuensi. Trafo daya terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder. Prinsip kerja trafo daya adalah ketika kumparan primer dihubungkan ke catu daya tegangan AC, kumparan membentuk jaringan tertutup, sehingga terjadi *fluks* magnet bolak-balik pada inti. Karena *fluks* magnet pada kumparan primer, efek induktif dari kumparan primer menyebabkan induksi pada kumparan sekunder, dan ketika rangkaian sekunder berarus, arus sekunder mengalir, energi listrik dapat ditransmisikan (dimagnetisasi) secara keseluruhan meningkat. Rangkaian sederhana sebuah trafo daya ditunjukkan pada gambar 2.1 .



Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalen Sebuah Trafo Daya.
(<https://agesa21.wordpress.com>)

Dimana :

V_1 = Tegangan sisi primer

I_1 = Arus sisi primer

N_1 = Jumlah lilitan pada sisi primer

V_2 = Tegangan sisi sekunder

I_2 = Arus sisi sekunder

N_2 = Jumlah lilitan pada sisi sekunder

2.1.2 Kemampuan dan Klasifikasi Trafo daya

Setiap negara memiliki kemampuan trafo daya berdasarkan kemampuannya untuk menyalurkan daya pada tingkat tegangan dan frekuensi tertentu dalam kondisi operasi normal tanpa melebihi suhu internal yang terbatas. Suhu di mana isolasi dapat mencapai kondisi di bawah kriteria operasi maksimum digunakan untuk menentukan daya keluaran trafo daya, yang disebut kVA. Trafo daya dirancang untuk membatasi nilai suhu sesuai dengan kebutuhan beban, kenaikan suhu belitan rata-rata, titik panas kenaikan suhu belitan, dan batas suhu fluida/minyak atas. Untuk mendapatkan nilai suhu mutlak dari nilai di atas, kita perlu menambahkan nilai suhu ke suhu ambien (suhu lingkungan).

Umur trafo daya umumnya diperkirakan sekitar 30 tahun bila dioperasikan pada kapasitas pengenal. Namun, dalam kondisi tertentu, kelebihan beban dan pengoperasian di luar kapasitas yang tersedia dapat memperpendek umur trafo daya. Berdasarkan kemampuannya, trafo daya secara umum dapat dibagi menjadi tiga bagian utama:

- a. Trafo daya kecil : 150-7500 kVA

- b. Trafo daya sedang : 7500 kVA-100 MVA
- c. Trafo daya besar : di atas 100 MVA

Pemeliharaan trafo daya diperlukan untuk menjaga trafo daya dalam kondisi baik dan untuk memastikan pasokan listrik yang andal. Pemeliharaan mencakup inspeksi saat digunakan, pengukuran saat digunakan, dan pengukuran *shutdown*.

a) *In service inspection*

In service inspection adalah kegiatan pemeriksaan yang dilakukan pada saat trafo daya dalam keadaan *service* atau bekerja. Tujuan pemeriksaan pemakaian adalah untuk mendeteksi kelainan yang mungkin terjadi pada trafo daya secara dini dengan menggunakan panca indera saja tanpa mematikan daya.

b) *In service measurement*

In service measurement adalah kegiatan pengukuran atau pengujian yang dilakukan saat trafo daya berada pada tegangan atau dalam operasi. Tujuan dari pengukuran *in-service* adalah untuk melihat lebih dalam kondisi trafo daya tanpa menggunakan alat uji untuk mematakannya.

c) *Shutdown measurement*

Shutdown measurement adalah pekerjaan pengujian yang dilakukan pada saat trafo daya dalam keadaan padam. Pekerjaan ini dilakukan pada saat pekerjaan rutin maupun pada saat investigasi ketidaknormalan peralatan.

2.1.3 Komponen - komponen trafo daya

1. Bagian Utama

a) Inti Besi

Berfungsi untuk memudahkan lewatnya *fluks* magnet yang dihasilkan oleh arus yang mengalir melalui kumparan. Diproduksi dari plat besi tipis dengan isolasi.

b) Kumparan trafo daya

Kumparan trafo daya terdiri dari banyak lilitan kawat berisolasi yang membentuk kumparan. Kumparan terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder berisolasi. Baik isolasi ke inti maupun isolasi antara kumparan dilakukan dengan isolasi padat seperti karton, perak, dll. Kumparan bertindak sebagai alat untuk mengubah tegangan dan arus.

c) Minyak trafo daya

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti trafo daya direndam dalam minyak trafo daya, terutama trafo daya yang memiliki kapasitas besar.

d) *Bushing*

Bushing adalah konduktor tertutup isolator yang bertindak sebagai isolator antara konduktor dan tangki trafo daya. Soket berupa colokan biasanya terdapat di antara kumparan trafo daya dan jaringan luar.

e) Tangki Konservator

Umumnya bagian-bagian trafo daya yang direndam dalam minyak trafo ditampung. Tangki dilengkapi dengan tangki ekspansi untuk memperhitungkan ekspansi minyak trafo.

2. Peralatan Bantu

a) Pendingin trafo daya

Trafo daya umumnya diisi minyak sebagai bahan penyekat antara kumparan dan kumparan berkaki. Trafo daya umumnya dilengkapi dengan sistem pendingin yang dirancang untuk memungkinkan trafo daya beroperasi dalam kemampuan yang dinyatakan dalam spesifikasinya. Trafo daya dengan pendingin adalah yang memiliki kapasitas lebih besar dari 10 MVA. Mode pendinginan trafo daya adalah alami dan dipaksakan, menggunakan pita (sirip), radiator, dan alat bantu motor untuk meniupkan udara. Jumlah pita atau motor yang dipasang tergantung pada peringkat trafo daya dan luas permukaan yang diperlukan. Sistem drainase (sirkulasi) dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- 1) Alamiah (*natural*)
- 2) Tekanan/Paksaan (*forced*)

Tabel 2.2. Tipe Pendinginan Trafo daya

No	Simbol	Arti	Deskripsi
1.	A.N	<i>Air Natural</i>	Udara sekitar digunakan untuk pendinginan. Metode ini biasanya digunakan untuk trafo tipe kering hingga 1,5 MVA.
2	A.F	<i>Air Force</i>	Metode ini juga digunakan pada trafo kering. Udara didorong di atas permukaan tangki untuk meningkatkan laju pemanasan, menyalakan kipas pendingin ketika suhu belitan melebihi batas yang diizinkan. Metode ini banyak digunakan

3	O.N.A.N	<i>Oil Natural Air Natural</i>	pada trafo daya hingga 30MVA. Trafo daya dirancang dengan sirip untuk sirkulasi minyak alami.
4	O.N.A.F	<i>Oil Natural Air Force</i>	Metode ini diadopsi secara luas pada trafo daya dengan kapasitas daya 30MVA dan 60MVA, dan menggunakan pendingin bersirip dengan kipas pendingin yang menyalakan kipas pendingin hanya pada beban tinggi.
5	O.F.A.F	<i>Oil Force Air Force</i>	Metode ini digunakan untuk trafo daya dengan nilai di atas 60 MVA. Minyak dielektrik disirkulasikan melalui pendingin menggunakan pompa dan setiap pendingin memiliki kipas pendingin untuk mentransfer panas dari minyak ke udara.
6	O.F.W.F	<i>Oil Force Water Force</i>	Panas dipindahkan dengan mensirkulasikan minyak dan air yang dipompa melalui saluran pembuangan panas dan digunakan dalam kondisi lingkungan tertentu. B. Suhu lingkungan tinggi di pabrik baja, ruang bawah tanah, dll.

Sumber: IEC/1976

Keterangan:

A = Air (udara)

O = *Oil* (minyak)

N = *Natural* (alamiah)

F = *Forced* (paksaan/tekanan)

Ketika trafo daya dibebani, kumparan dan minyak di dalam trafo daya memanas saat beban meningkat. Panas yang dihasilkan dalam koil ditransfer secara konduksi ke minyak trafo daya, yang bertindak sebagai pendingin. Minyak koil dan trafo daya memiliki batas operasi termal yang dapat diterima. Isolasi kumparan kertas kraft memiliki batas termal yang diijinkan sesuai dengan kelas isolasi spesifikasi trafo daya. Demikian pula, minyak trafo daya memiliki batas suhu yang dapat diterima. Panas yang berlebihan merusak isolasi dan merusak seluruh trafo daya.

b) Pengaruh Panas Pada Trafo daya

Panas berlebih pada trafo daya memiliki pengaruh yang buruk pada trafo daya, baik pada sistem isolasi maupun minyak trafo. Besi maupun tembaga umumnya tidak berpengaruh.

1) Kertas Selulose

Isolasi dapat menyusut dan menjadi sangat rapuh. Efek sekunder dari panas berlebih juga sangat penting, seperti pembentukan gas dan uap air selama dekomposisi bahan papan pres dan kertas. Kelembaban sisa mempercepat dekomposisi isolasi. Jika gas tidak dapat keluar dari belitan selama proses pembongkaran, area bertekanan listrik tinggi dapat menggelembung dan menggantikan minyak, menyebabkan kegagalan. Oleh karena itu, tegangan surja dan beban lebih pada trafo daya harus dibatasi tidak lebih dari 140 °C dari suhu *hotspot*, karena trafo daya tidak dapat menahan hubung singkat.

2) Minyak Mineral

Isolasi dapat menyusut dan menjadi sangat rapuh. Efek sekunder dari panas berlebih juga sangat penting, seperti pembentukan gas dan uap air selama dekomposisi bahan papan pres dan kertas. Kelembaban sisa mempercepat dekomposisi isolasi. Jika gas tidak dapat keluar dari belitan selama proses pembongkaran, area bertekanan listrik tinggi dapat menggelembung dan menggantikan minyak (mengganti minyak), menyebabkan kegagalan. Oleh karena itu, tegangan surja dan beban lebih trafo daya harus dibatasi tidak lebih dari 140 °C dari suhu hotspot, karena trafo daya tidak dapat menahan hubung singkat.

3) *Polymeric Wire Coating*

Untuk beberapa jenis *coating polymeric* konduktor temperatur yang diperbolehkan adalah yang mencapai 120°C. Untuk temperatur yang lebih tinggi lagi dapat menghasilkan rugi-rugi dielektrik yang signifikan.

c) *Tap Changer*

Tap Changer adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (diinginkan) dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah. *Tap changer* yang hanya bisa beroperasi untuk memindahkan *tap* trafo daya dalam keadaan trafo daya tidak berbeban disebut "*Off Load Tap Changer*" dan hanya dapat dioperasikan manual. *Tap Changer* yang dapat beroperasi untuk memindahkan *tap* trafo daya, dalam keadaan trafo daya berbeban disebut

“*On Load Tap Changer*” dan dapat dioperasikan secara manual atau otomatis. Ada dua cara kerja *tap changer*:

- 1) Mengubah tap dalam keadaan trafo daya tanpa beban
- 2) Mengubah tap dalam keadaan trafo daya berbeban (*On Load Tap Changer/OLTC*).

Trafo daya yang terpasang di gardu induk pada umumnya menggunakan *tap changer* yang dapat dioperasikan dalam keadaan trafo daya berbeban dipasang di sisi primer. Sedangkan trafo daya penaik tegangan dipembangkit atau pada trafo daya kapasitas kecil, umumnya menggunakan *tap changer* yang dioperasikan hanya pada saat tenaga beban *OLTC* terdiri dari:

- 1) *Selector Switch*.
- 2) *Divener Switch*, dan
- 3) *Transisi Resistor*.

Untuk mengisolasinya dari badan trafo daya dan mengurangi panas selama transmisi keran, *OLTC* direndam dalam minyak isolasi yang biasanya dipisahkan dari minyak isolasi utama trafo daya (ada beberapa trafo daya dengan pemegang Char utama). Karena ketika mentransfer koneksi katup ke minyak, fenomena listrik, mekanik, kimia dan termal terjadi, kualitas minyak isolasi *OLTC* akan menurun dengan cepat, tergantung pada beban kerja dan adanya kelainan pada *OLTC*. Alat Pernapasan (*Air Breather*)

Tabung pernapasan adalah pipa knalpot. Solusi pembakaran sempurna. *Air Breather* alias *Filter minyak Breather* pada dasarnya adalah

filter yang ditempatkan di atas motor (kipas engkol). Pengaruh fluktuasi beban trafo dan udara luar menyebabkan temperatur minyak berfluktuasi tergantung pada kondisi minyak. Saat temperatur minyak tinggi maka minyak akan memuai dan mendorong udara pada permukaan minyak keluar dari wadah, jika temperatur minyak turun maka minyak akan berkontraksi, maka udara luar akan masuk ke tangki. Kedua proses di atas dikenal sebagai pernapasan trafo. Karena pernapasan trafo, permukaan minyak akan selalu bersentuhan dengan udara luar. Udara luar yang lembap akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak trafo, sehingga untuk menghindari hal tersebut pada ujung sambungan udara luar dipasang alat bantu pernafasan yang bagian bawahnya berbentuk seperti tabung yang berisi kristal-kristal zat *higroskopis* Indikator

Untuk mengawasi selama trafo daya beroperasi, maka perlu adanya indikator pada trafo daya sebagai berikut:

- 1) Indikator suhu minyak
- 2) Indikator permukaan minyak
- 3) Indikator sistem pendingin
- 4) Indikator kedudukan *tap*

3. Peralatan Proteksi

a) Relai *Differensial*

Berfungsi mengamankan trafo daya dari gangguan didalam trafo daya antara lain, *Flash Over* antara kumparan atau kumparan dengan tangki atau belitan dengan belitan didalam kumparan ataupun beda kumparan.

b) Relai *Over Current*

Berfungsi mengamankan trafo daya dari arus yang melebihi dan dari arus yang telah di perkenankan lewat dari trafo daya tersebut dan arus lebih ini dapat terjadi oleh karena beban lebih atau gangguan hubung singkat.

c) Relai *Restricted Earth Fault*

Berfungsi untuk mengamankan trafo daya bila ada hubung singkat antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan pada trafo daya.

d) Relai *Ground fault*

Berfungsi untuk mengamankan trafo daya bila terjadi gangguan satu fasa ke tanah.

e) Relai Termis

Berfungsi untuk mencegah dan mengamankan trafo daya dari kerusakan isolasi kumparan, akibat adanya panas lebih yang ditimbulkan arus lebih. Besarnya yang diukur di dalam relai ini.

2.1.4 Rugi-rugi Pada Trafo daya

1. Rugi Histeresis

Yaitu kerugian yang disebabkan oleh gesekan antar molekul yang melawan arah aliran gaya magnet dalam inti besi sehingga menimbulkan panas. Panas yang dihasilkan menunjukkan kerugian energi yang dikarenakan sebagian kecil energi listrik tidak dapat dipindahkan, dan terperangkap menjadi

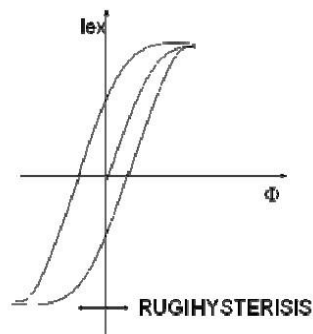
energi panas. Sebuah trafo didesain untuk bekerja pada rentang frekuensi tertentu. Menurunnya frekuensi arus listrik dapat menyebabkan meningkatnya rugi-rugi histerisis dan menurunkan kapasitas (VA) trafo.

$$P_h = K_h f B_{maks}^{1,6}$$

Dimana :

P_h = Konstanta

B_{maks} = Fluks maksimum (weber)

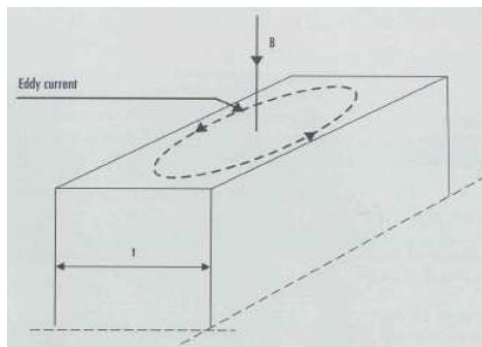


Gambar 2.2 Grafik Rugi Histeresis Terhadap ϕ .

2. Rugi-rugi Arus Eddy (*Eddy Current*)

Rugi Arus Eddy atau arus pusar merupakan rugi-rugi yang disebabkan oleh aliran sirkulasi arus yang menginduksi logam inti besi yang dikarenakan aliran *fluks* disekitar inti besi. *Eddy current* dapat menyebabkan kerugian daya pada trafo daya karena pada saat terjadi induksi arus listrik pada inti besi, maka sejumlah energi listrik akan berubah menjadi energi panas. Rugi-rugi ini terjadi karena inti besi terlalu tebal sehingga terjadi perbedaan tegangan antara sisinya maka mengalir arus yang berputar-putar di sisi

tersebut. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi rugi *Eddy Current* yaitu dengan membuat inti trafo menjadi berlapis-lapis (laminasi) sehingga dapat memecah induksi pada logam inti. Arus pusar adalah arus yang mengalir pada material inti karena tegangan yang diinduksi oleh *fluks*. Arah pergerakan arus pusar adalah 90° terhadap arah arus *fluks* seperti ditunjukkan gambar 2.3.



Gambar 2.3 Arah Arus Pusaran Pada Logam Inti.

$$P_e = K_e f^2 B^2_{maks}$$

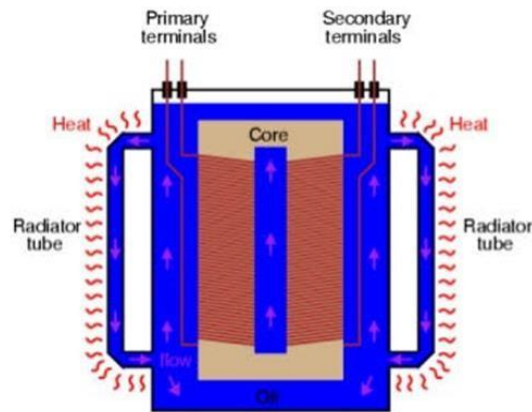
Dimana :

P_{he} = Konstanta

B_{maks} = *Fluks* maksimum (weber)

2.2 Minyak trafo daya digunakan sebagai isolator cair

Isolator merupakan sifat dari suatu bahan untuk menghambat atau tidak menghantarkan arus listrik. Minyak sebagai isolator pada trafo daya berfungsi sebagai pemisah antar *winding*, pemadam ketika terjadi busur api, maupun sebagai pelindung trafo daya dari kerusakan yang bersifat korosif seperti karat seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Minyak Pada Trafo daya

Penggunaan trafo daya secara kontinu menimbulkan kenaikan suhu pada trafo daya, termasuk pada minyak trafo daya di tanki utama. Pada dasarnya minyak isolasi trafo daya mengandung unsur hidrokarbon yang terlarut didalam minyak, akibat kenaikan suhu pada minyak trafo daya, dapat mengakibatkan meningkatnya kadar gas yang mengandung hidrokarbon pada minyak trafo. Kenaikan kadar gas yang terlarut dalam minyak trafo daya dapat menimbulkan kegagalan pada trafo daya tersebut.

Maka dari itu perlu dilakukannya pemantauan dan perawatan minyak trafo daya sehingga minyak selalu dalam keadaan standar yang berlaku. Berikut adalah karakteristik minyak trafo daya :

a. Kejernihan

Minyak harus bebas dari gumpalan atau kotoran lainnya. Semakin banyak endapan pada minyak, semakin buruk minyak tersebut. Minyak yang digunakan dalam trafo daya biasanya jernih.

b. Massa Jenis

Massa jenis minyak harus lebih kecil dari massa jenis air. Kepadatan dibatasi sehingga air tidak dapat terpisah dari minyak isolasi dan tidak mengapung.

c. Viskositas Kinematika

Viskositas memegang peranan penting dalam Pendinginan, yakni untuk menentukan kelas minyak. Semakin tinggi nilai viskositas minyak maka semakin maksimal proses pemindahan panas *thermal* pada minyak isolasi trafo daya

d. Titik Nyala

Titik nyala yang rendah pada minyak menunjukkan adanya indikasi kontaminasi zat gabar yang mudah terbakar.

e. Titik Tuang

Titik tuang digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi.

f. Angka Kenetralan

Angka kenetralan adalah angka yang menunjukkan penyusutan asam pada minyak dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan percobaan kimia atau indikasi percobaan kimia dalam bahan tambang.

g. Korosi

Korosi dapat terjadi dengan adanya belerang bebas yang tidak stabil atau senyawa belerang dalam minyak isolasi . Korosi atau disebabkan oleh adanya uap air yang terperangkap di dalam minyak.

h. Tegangan Tembus

Breakdown Voltage Minyak Trafo Daya mempengaruhi kapasitas isolasi minyak. Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminan seperti air, kotoran, atau partikel konduktif dalam minyak.

i. Kandungan Air

Kandungan air dalam minyak mengurangi tegangan tembus dan resistansi minyak, sehingga mempercepat kinerja kerusakan trafo daya atau . standar spesifikasi minyak trafo tenaga ke IS 335 - 1983 dan BS 148 - 1972.

2.3 Karakteristik Minyak trafo daya

Menurut Suherman dan Akbar (2020:94) karakteristik pada minyak trafo daya antara lain sebagai berikut:

a. Tegangan tembus yang tinggi

Tegangan tembus minyak trafo daya adalah tentang kemampuan minyak untuk menahan tegangan tembus tanpa kerusakan, sehingga harus diukur. Tegangan tembus dapat diukur dengan memasukkan dua elektroda bulat (*hemispherical*) ke dalam minyak yang akan diukur. Jika diperoleh tegangan tembus yang rendah, maka dapat dikatakan minyak trafo daya terkontaminasi.

b. Faktor kebocoran dielektrik yang rendah

Energi yang hilang selama operasi trafo daya disebabkan oleh energi yang hilang menjadi panas dari dekomposisi molekul. Hal ini dapat mencemari minyak dan menghasilkan kotoran berupa logam alkali, koloid bermuatan, dll.

c. Viskositas yang rendah

Viskositas adalah resistensi cairan untuk mengalir terus menerus dan seragam tanpa adanya turbulensi atau kekuatan lain. Viskositas minyak biasanya diukur dari waktu aliran minyak pada volume tertentu dan kondisi yang ditetapkan. Viskositas minyak trafo daya merupakan faktor penting dalam konveksi perpindahan panas. Viskositas juga digunakan sebagai dasar untuk mengklasifikasikan minyak.

d. Titik nyala yang tinggi

Artinya minyak dapat dipanaskan sampai suhu tertentu sebelum asap yang dihasilkan menjadi api yang berbahaya.

e. Massa jenis yang rendah

Massa jenis adalah perbandingan antara massa dengan volume zat cair pada volume dan suhu yang sama. Massa jenis minyak trafo lebih kecil dari air, sehingga keberadaan air dalam minyak trafo daya mudah dipisahkan karena air jatuh ke dasar, sehingga memudahkan untuk mengeluarkan minyak trafo dari tangki atau waduk. tangki pemutus daya.

f. Kestabilan kimia dan penyerapan gas yang baik

Stabilitas ini sangat penting sehubungan dengan oksidasi, memungkinkan kecenderungan minyak untuk membentuk asam dan kontaminan padat untuk dievaluasi. Asam dan kotoran padat yang dibentuk oleh oksidasi mengurangi kemampuan minyak trafo daya untuk menahan tegangan tembus. Air dan asam juga menimbulkan korosi pada logam dalam trafo daya, dan kotoran padat menghambat perpindahan panas dalam proses pendinginan trafo daya.

g. Resistivitas

Resistansi adalah kemampuan partikel materi untuk menghantarkan (konduktor). Resistivitas rendah menunjukkan minyak terkontaminasi.

2.4 Pengujian Tegangan Tembus

Pengujian tegangan tembus diperlukan untuk menentukan titik kritis isolasi minyak trafo daya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya tegangan tembus minyak trafo daya setelah terpapar tegangan tinggi AC dan DC pada temperatur minyak 500 °C, 700 °C dan 900 °C. Pengujian juga harus memeriksa apakah minyak trafo bekas masih dapat digunakan. Tegangan tembus adalah salah satu uji perawatan prediktif yang dilakukan pada minyak isolasi, bersama dengan uji DGA (*dissolved gas analyzer*) dan uji Furan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan isolasi minyak untuk tegangan tertentu. Nilai BDV yang tinggi berarti minyak trafo tidak mudah

ditembus tegangan (isolasinya baik), sehingga dapat kita asumsikan minyak trafo dalam kondisi baik jika nilai BDV-nya tinggi.

2.5 Purifikasi minyak trafo daya

Pembersihan minyak trafo daya adalah salah satu perawatan trafo daya untuk menghilangkan kembali minyak dari endapan debu/kotoran, untuk menghilangkan uap air, dan untuk menghilangkan minyak. Untuk trafo daya, prinsip kerja dari pembersihan atau minyak trafo dipanaskan proses akhir suhu dijaga konstan. Pemanas ini dimaksudkan untuk memisahkan air dari minyak, mengubah air menjadi uap dan melepaskannya ke udara. Setelah minyak dipanaskan, minyak diatomisasi dari menjadi yang memisahkan antara minyak dan uap. Minyak menjadi dalam vakum pada tekanan 0,68 bar dan uap air dan kandungan asam dipisahkan dalam trafo daya minyak.

Minyak Pembersihan dilakukan dalam vakum Minyak Minyak Trafo untuk mencegah gelembung udara. tes tegangan tembus pada minyak dilakukan lagi ya putih tegangan tembus minyak setelah dibersihkan. FR-TRS-BOT-201 dielektrik minyak trafo sudah rusak minyak trafo perlu diganti dengan barang baru. Perusahaan listrik tertentu memiliki peringkat tegangan tembus standar yang dapat diterima dan dapat menunda penggantian minyak pada trafo daya. Proses pemurnian minyak trafo merupakan proses yang berulang. Menurut Standar PLN dalam manual produk trafo daya, hanya diperlukan beberapa siklus untuk proses pembersihan minyak baru. Untuk minyak lama, membutuhkan 4-6 siklus. Lamanya proses pembersihan tergantung pada kapasitas minyak trafo. Dibutuhkan

sekitar 17 menit untuk 1 liter minyak bersirkulasi. Membersihkan membutuhkan waktu sekitar 34-51 menit untuk minyak baru dan sekitar 68-102 menit untuk minyak lama.

Selain menjadi pendingin, minyak trafo daya juga berfungsi sebagai isolator cair pada trafo. Dalam hal nya minyak sebagai isolator cair, kekuatan dielektrik dari minyak harus selalu dalam standar FR-TRS-BOT-201 . Untuk mendapatkan tegangan tembus yang sesuai standar, perlu dilakukan *treatment* pada minyak trafo daya yang berupa purifikasi / pemurnian.

Sebelum dilakukan pemurnian minyak hendaknya dilakukan pengujian tegangan tembus minyak trafo untuk mengetahui nilai tengangan tembus minyak tersebut. Apabila nilai tegangan tembus minyak dari hasil uji tegangan tembus sudah dibawah standar FR-TRS-BOT-201, maka perlu dilakukan purifikasi minyak. Purifikasi pada minyak trafo daya tidak merubah nilai gas-gas terlarut hasil pengujian tegangan tembus dan tan delta secara tetap. Apabila trafo daya dalam keadaan terindikasi kegagalan, maka dengan di purifikasi nilai-nilai *fault gas* akan menurun, dan akan kembali naik dikarenakan kegagalan trafo daya yang masih terjadi. Diperlukan pemantauan khusus dan perbaikan pada trafo agar nilai *fault gas* menurun secara tetap. minyak trafo merupakan sebuah campuran kompleks dari molekul-molekul hidrokarbon, dalam bentuk linear atau siklis, yang mengandung kelompok molekul CH₃, CH₂ dan CH yang terikat. Pemecahan beberapa ikatan antara unsur C-H dan C-C sebagai hasil dari kegagalan termal ataupun elektrik akan

menghasilkan fragmen-fragmen ion seperti H^* , CH_3^* , CH_2^* , CH^* atau C^* , yang nantinya akan berkombinasi dan menghasilkan molekul-molekul gas seperti hidrogen ($H-H$), metana (CH_3-H), etana (CH_3-CH_3), etilen ($CH_2=CH_2$) ataupun asetilen ($CH\equiv CH$). Gas-gas ini dikenal dengan istilah *fault gas*. Semakin banyak jumlah ikatan karbon (ikatan tunggal, ganda, rangkap tiga) maka semakin banyak pula energi yang dibutuhkan untuk menghasilkannya. Hidrogen (H_2), metana (CH_4) dan etana (C_2H_6) terbentuk oleh fenomena kegagalan dengan tingkat energi yang rendah, seperti *partial discharge* atau *corona*. Etilen (C_2H_4) terbentuk oleh pemanasan minyak pada temperatur menengah, dan asetilen (C_2H_2) terbentuk pada temperatur yang sangat tinggi.

Secara garis besar, cara kerja purifikasi minyak trafo adalah mensirkulasikan minyak trafo yang akan dipurifikasi. Prosesnya dengan cara minyak disedot kedalam alat purifikasi untuk dimurnikan. Kemudian minyak yang sudah bersih tersebut dipompa untuk dimasukkan lagi kedalam trafo daya. Metode proses pemurnian minyak trafo dapat dilaksanakan dengan dua cara, yaitu:

1. Metode *off line*

Perawatan ini dilakukan pada saat trafo tidak bekerja atau trafo dalam keadaan mati.

Kelebihan metode purifikasi minyak trafo dengan metode *off line* adalah:

- a) Metode yang paling efektif dan aman dalam sisi pekerjaan dan personil.
- b) Perakitan pelatan dan perlengkapan lebih mudah dan aman.

Kelemahan metode purifikasi minyak trafo

- a) Diperlukannya padam trafo daya sehingga perlu melakukan manuver pemindahan beban.
- b) Membutuhkan waktu yang cukup lama dalam komunikasi antara UPT, UP2B, dan UP2D.

2. Metode *on line*

Treatment dengan cara *on line* dilakukan ketika trafo dalam keadaan sedang bekerja (masih ada aliran listrik).

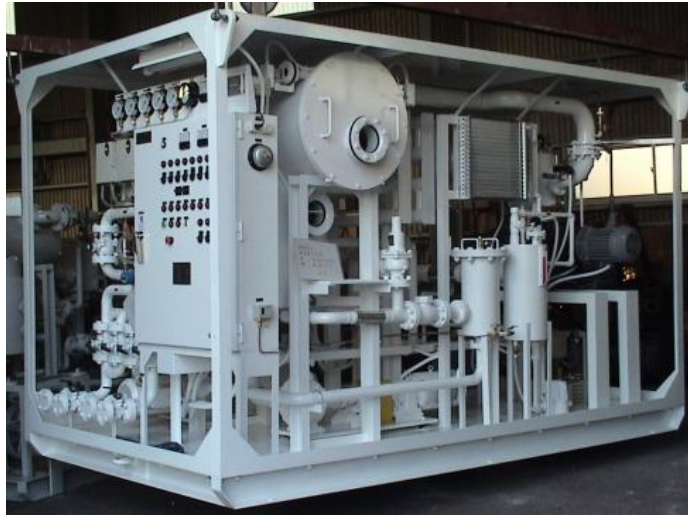
Kelebihan metode purifikasi minyak trafo adalah:

- a) Tidak diperlukannya manuver beban trafo daya,
- b) Trafo daya tidak perlu padam sehingga kemungkinan *over load* kecil terjadi.

Kelemahan metode purifikasi minyak trafo

- a) Kurangnya tingkat keamanan baik untuk peralatan maupun personil,
- b) Adanya indikasi trip trafo daya sehingga menimbulkan kerugian yang lebih besar karena padamnya trafo dan pelanggan.

2.6 Mobil Purifikasi

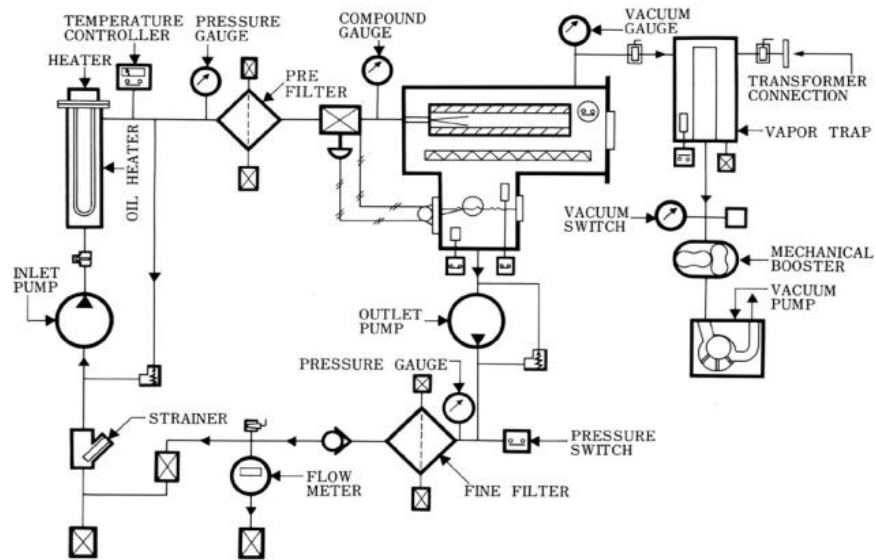


Gambar 2.5 Mobil purifikasi (*Manual Book serial No.E-5476A/B/C,2016*)

2.6.1 Komponen utama

- a) *Stainer*, 60 saringan
- b) *Oil inlet pump* (M3), dengan *supply* 3 phasa dengan tegangan 380V
- c) *Oil Outlet pump* (M4), dengan *supply* 3 phasa dengan tegangan 380V
- d) *Flow switch*
- e) *Electric heater*, dengan tipe 72kW (24Kw x 3 buah) lengkap dengan *thermostat* dan *Thermometer*
- f) *Pre filter*
- g) *Fine filter*
- h) *Flow control valve*
- i) *Vaccum chamber*
- j) *Vapor trap*
- k) *Vaccum pump* (M1)
- l) *Mechanical booster* (M2)

- m) Control panel board (vacuum gauge, compound gauge, thermometer, volt meter, ampere meter, lamps and switches)

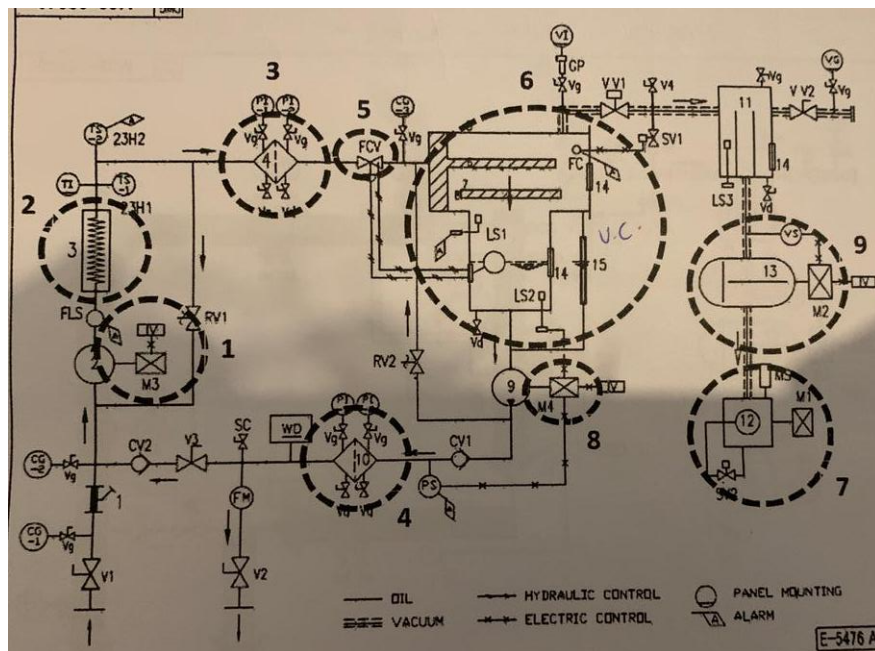


Gambar 2.6 Diagram Alir Purifikasi (*Manual Book serial No.E-5476A/B/C,2016*)

2.6.2 Fungsi komponen

- a) *Oil inlet pump* berfungsi untuk menyuplai minyak kkedalam mesin purifikasi
- b) *Heater* untuk memanaskan minyak didalam mesin sampai ke suhu tertentu
- c) *Pre filter* untuk menyaring kotoran atau sedimen pada minyak tahap awal sebelum *vacuum treatment*
- d) *Fine filter* berfungsi untuk penyaringan kotoran dan sedimen pada minyak tahap terakhir sebelum minyak kembali trafo
- e) *Flow control valve* untuk menyeimbangkan volume oil didalam *vacuum chamber*

- f) *Vacuum chamber* berfungsi sebagai ruang vakum untuuk mengekstrak uap air pada minyak
- g) *Vacuum pump* berfungsi sebagai pompa vakum
- h) *Oil outlet pump* berfungsi uuntuk memompa minyak keluar dari *vaccum chamber*
- i) *Mechanical booster* berfungsi untuk menambah kekuatan pompa pada saat 2260 Pa



Gambar 2.7 Diagram Mobil purifikasi (*Manual Book serial No.E-5476A/B/C,2016*)

2.6.3 Diagram proses puurifikasi

- a) Minyak masuk melalui *inlet valve* (V1), yang dimanna kotoran serta sedimen kasar pada minyak akan tersaring oleh *strainer*.

- b) Minyak kemudian dipompa oleh *inlet pump* (M3) menuju *heater* membantu proses pemurnian, mengurangi kadar air, menjaga kondisi suhu minyak, setelah itu melalui proses pemanasan, minyak langsung menuju ke *pre filter* untuk kembali difiltrasi dengan *cartridge* 0,5/10 micron.
- c) Melalui *flow control valve* (FCV) minyak masuk ke dalam *vacuum chamber*, dibagian inilah, uap air diekstrak oleh *Vacuum pump* dan *Mechanical Booster*.

Vacuum chamber dilengkapi olehh:

- *Level Switch High (LS 1)*

Mendeteksi volume maksimum minyak pada *vacuum chamber* memberi *signal* pada FCV yang akan mengalihkan minyak agar tidak masuk kedalam *vacuum chamber* sehingga mengurangi volume minyak yang berlebih didalam *vacuum chamber*.

- *Level Switch High (LS 2)*

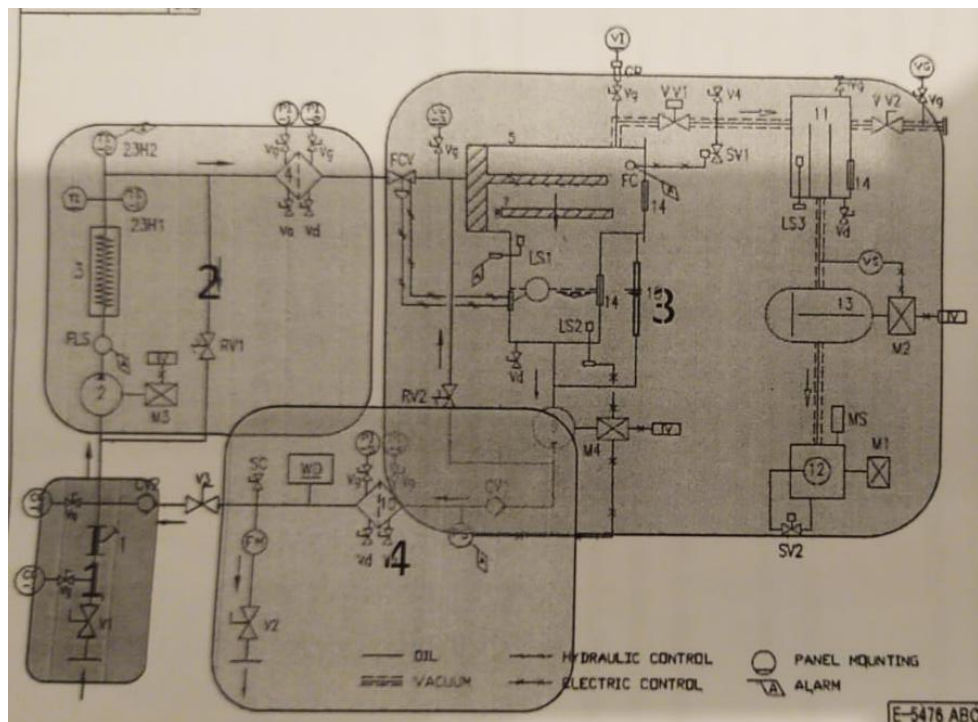
Mendeteksi volume minimum minyak pada *vacuum chamber* berfungsi memberi *signal* "OFF" pada *outlet pump* sehingga volume minyak dapat bertambah kembali di dalam *vacuum chamber*.

- *Foam Control System*

Beberapa jenis minyak trafo dapat menimbulkan "foam" di dalam *vacuum chamber*. Untuk mengatasi hal tersebut, *vacuum chamber* dilengkapi dengan sensor yang dapat mendeteksi *foam* jika

foaming terjadi, sensor akan memberikan *signal* kepada *solenoid valve (SV1)* untuk terbuka dan akan mengurangi *foam* tersebut.

- d) Dengan bantuan dari *outlet pump (M2)*, Minyak dengan kondisi baik akan keluar dari *vaccum chamber* menuju *fine filter* untuk filtrasi tahap akhir. Filtrasi dengan *cartridge 0,5 micron* ini akan memastikan minyak yang kembali ke dalam trafo tidak mengandung kotoran atau sedimen yang dapat merusak komponen trafo.



Gambar 2.8 Diagram proses pemurnian minyak (*Manual Book serial No.E-5476A/B/C,2016*)

2.7 Dissipation Factor (Tan Delta)

Pengukuran tan delta dimaksudkan untuk mengetahui kualitas isolasi peralatan listrik. Oleh karena itu peralatan listrik baru perlu mengetahui hasil uji tan delta, yang nantinya menjadi acuan untuk pengukuran tan delta selanjutnya yang akan dilakukan secara berkala, sehingga diperoleh grafik penurunan tahanan isolasi alat tersebut. Plot hasil uji tan delta menunjukkan pengaruh penuaan pada resistansi isolasi perangkat dari awal hingga penggunaan. Dengan menggunakan data ini, dimungkinkan untuk menentukan kapan harus melakukan pemeliharaan dan pembaruan peralatan, dan untuk mencegah kerusakan yang tidak terduga. Ini juga memastikan keamanan dan stabilitas catu daya.

Salah satu pengujian yang dilakukan pada minyak isolasi adalah uji tan delta. Uji tan delta juga dikenal sebagai uji faktor daya. Faktor daya adalah perbandingan arus fasa (hambatan) terhadap arus total. Nilai tangen delta itu sendiri berbanding lurus dengan nilai faktor daya dan sama hingga 20%, tetapi dapat digambarkan berbeda di atas 20%. Besarnya nilai tan delta dipengaruhi oleh pengotor polar, produk aging, dan koloid yang terlarut dalam minyak. Hasil Uji Tan Delta Menunjukkan Bagaimana Minyak Trafo Terdegradasi.

Dinamakan isolasi yang bagus/baik bila bersifata kapasitif sempurna yang diserupakan seperti sebuah isolator yang diposisikan di antara dua buah elektroda pada sebuah kapasitor. dalam kapasitor yang sempurna/baik, tegangan dan arus fasa bergeser pada sudut 90° serta arus yang mau melalui isolasi yaitu nilai kapasitif. apabila terdapat kontaminasi atau cacat, sehingga nilai tahanan dari isolasi menurun serta berpengaruh apabila tingginya nilai arus resisitif yang

melalui isolasi maka disebut tidak lagi kapasitor yang baik/sempurna. Arus akan beralih kurang dari 90° derajat. Mengindikasikan fase kontaminasi yang terjadi pada isolasi. sehingga semakin buruk kondisi isolasi maka semakin besar sudut.

2.8 Limbah B3

2.8.1 Pengertian Limbah B3

Menurut Permen LHK No. 6 Tahun 2021, limbah B3 adalah zat yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau kuantitasnya merusak lingkungan hidup dan/atau membahayakan kesehatan dan kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya. limbah bahan berbahaya dan beracun (selanjutnya disebut B3) adalah residu operasional dan pengelolaan limbah B3 meliputi pengurangan, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, daur ulang, pengolahan dan/atau penyimpanan. setiap orang atau badan, baik berbadan hukum maupun tidak berbadan hukum, wajib memiliki SPPL atau pernyataan kesanggupan untuk mengelola dan mengendalikan lingkungan perusahaan dan/atau perusahaan dan/atau kegiatan eksternalnya memerlukan UPL.

2.8.2 Sifat dan Karakteristik Limbah B3

Limbah Beracun adalah limbah yang mengandung pencemar yang bersifat racun bagi manusia dan lingkungan yang dapat menyebabkan kematian atau sakit yang serius apabila masuk kedalam tubuh melalui pernafasan, kulit, dan mulut. Indikator racun yang digunakan adalah *TCLP (Toxicity Characteristics Leaching Procedure)*. Dimana pada peraturan menteri lingkungan hidup dan kehutanan

republik indonesia nomor 6 tahun 2021 tentang tata cara dan persyaratan pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun menjelaskan pada pasal 4 ayat 2 uji karakteristik limbah B3 sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi:

1. Mudah meledak
2. Mudah terbakar
3. Reaktif
4. Infeksius
5. Korosif
6. Beracun
 - a) Uji TCLP;
 - b) Uji toksikologi LD₅₀; dan
 - c) Uji toksikologi sub-kronis.

2.8.3 Pengelolaan Limbah B3

Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan dan makhluk hidup termasuk manusia. Memastikan lingkungan hidup selalu dalam keadaan baik sangat penting bagi kelangsungan kehidupan manusia serta makhluk hidup lain. Maka dari itu, perlu adanya upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup yang baik. Untuk menciptakan hal tersebut, Pemerintah Indonesia melalui Pasal 22 Undang-Undang Cipta Kerja mencoba menyempurnakan pengaturan mengenai perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Selain itu, telah diterbitkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PP

22/2021) sebagai peraturan pelaksana. Pemerintah telah mengeluarkan aturan baru pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dan non-B3. Aturan tersebut tercantum dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. PP ini merupakan salah satu turunan Undang-Undang No.11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja. Dengan terbitnya PP 22/2021 maka mencabut sekaligus lima aturan sebelumnya yaitu PP 101/2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun, PP 27/2012 tentang Izin Lingkungan, PP 82/2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air, PP 41/1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara dan PP 19/1999 tentang Pengendalian Pencemaran Dan/Atau Perusakan Laut. Kemudian, aturan baru tersebut juga mengubah PP 46/2017 tentang Instrumen Ekonomi Lingkungan Hidup.

Pengelolaan Limbah B3 wajib dilakukan oleh setiap orang yang menghasilkan Limbah B3. Penghasil Limbah B3 juga diwajibkan untuk melakukan pengurangan Limbah B3. Pelaksanaan pengurangan limbah B3 dilaporkan secara tertulis kepada Menteri Lingkungan Hidup secara berkala paling sedikit 1 kali dalam 6 bulan. Pengurangan Limbah B3 dilakukan dengan cara:

1. substitusi bahan, dengan mengganti bahan baku dan/atau bahan penolong yang tidak mengandung B3;
2. modifikasi proses, dengan cara pemilihan dan penerapan proses produksi yang lebih efisien; dan/atau
3. penggunaan teknologi ramah lingkungan

Sedangkan pengelolaan Limbah non-B3 dilakukan oleh setiap orang yang menghasilkan Limbah non-B3. Dalam melaksanakan pengelolaan Limbah non-B3 terdapat larangan-larangan, yakni:

1. Dumping (Pembuangan) Limbah non-B3 tanpa Persetujuan dari Pemerintah Pusat;
2. pembakaran secara terbuka (open burning);
3. pencampuran Limbah non-B3 dengan Limbah B3; dan
4. melakukan penimbunan Limbah non-B3 di fasilitas tempat pemrosesan akhir.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif pada hakikatnya merupakan jenis penelitian yang menggunakan pendekatan induktif deduktif. Pada penelitian ini akan menguji efektifitas metode purifikasi dalam mendaur ulang minyak trafo daya melalui pengujian tan delta dan tegangan tembus.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

A. Tempat Penelitian

Untuk melaksanakan penelitian ini tentunya dibutuhkan data pendukung. Pengambilan data penelitian ini berlokasi di PT. PLN (Persero) UPT Jambi ULTG Aurduri Gardu Induk Payo Selincah pada Trafo daya 2 60 MVA merek XIAN. Alasan pengambilan sampel pada trafo daya 2 di Gardu Induk Payo Selincah dikarenakan usia trafo yang sudah tua dan hasil pengujian kualitas minyak trafo daya pada tahun sebelumnya dengan hasil yang buruk.

B. Waktu Penelitian

Adapun penelitian dilakukan pada bulan Januari tahun 2022 hingga bulan Juni tahun 2022

3.3 Data Penelitian

A. Data Primer

Data primer dalam penelitian ini meliputi hasil pengukuran terhadap objek yang diteliti yaitu pengukuran pengujian sifat elektrik pada minyak trafo.

Pengukuran yang dilakukan pada sifat elektrik adalah:

1. Pengujian tegangan tembus pada minyak trafo bekas sebelum purifikasi,
2. Pengujian tegangan tembus pada minyak saat purifikasi, dan
3. Pengujian tegangan tembus pada minyak setelah purifikasi,
4. Pengujian tan delta setelah purifikasi.

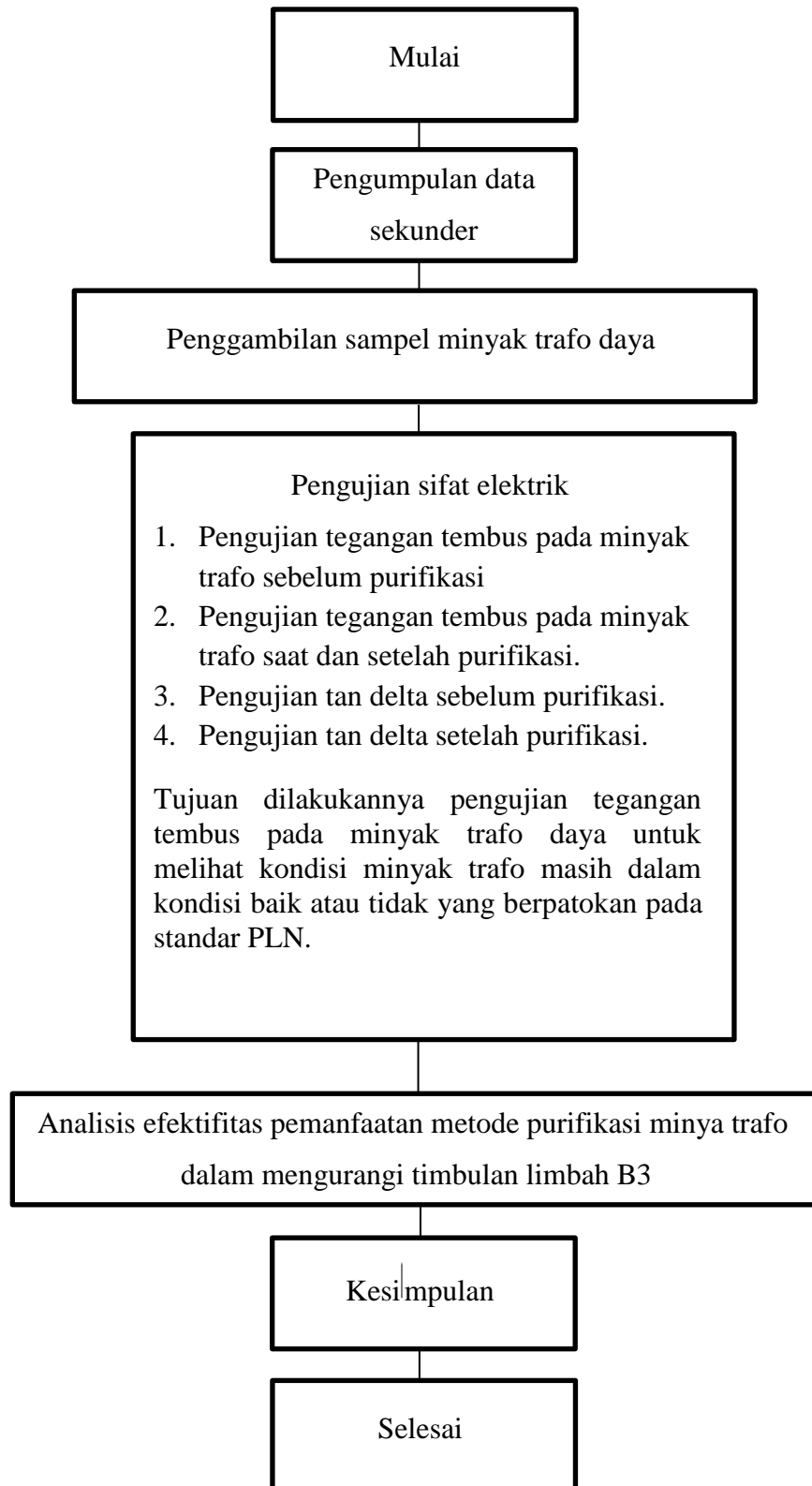
Tujuan dilakukannya pengujian tegangan tembus pada minyak trafo daya untuk melihat kondisi minyak trafo masih dalam kondisi baik atau tidak yang berpatokan pada standar PLN.

B. Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari sumber hasil pengujian tegangan tembus dan tan delta tahun 2020, data karakteristik minyak trafo daya tahun 2020, dan referensi yang berhubungan dengan metode purifikasi, minyak trafo daya, serta limbah B3.

3.4 Alur Penelitian

Alur penelitian adalah alur kegiatan penelitian. Alur penelitian adalah untuk memahami langkah-langkah untuk memajukan proses penelitian peneliti dengan lancar. Proses penelitian dimulai dengan tujuan peneliti yang ingin dicapai, pengumpulan data, dan analisis yang dilakukan untuk mendapatkan hasil penelitian dan rekomendasi penelitian. Secara sistematis, alur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar: 3.1 Bagan alur penelitian

3.5 Pengumpulan data

Metode pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- a. Pengukuran dan pengujian dilakukan terhadap beberapa sifat elektrik dengan menggunakan metode pengujian dan pengukuran berdasarkan standar IEC, dan SPLN.
- b. Melakukan pengamatan dan observasi data primer dari alat-alat ukur laboratorium dan instalasi pengujian tegangan tinggi.
- c. Hasil pengukuran dan pengujian dari sampel, kemudian dibandingkan dengan spesifikasi standar yang telah ditetapkan.

3.5.1 Metode Pengujian Tegangan Tembus

Metode pengujian tegangan tembus minyak trafo daya dengan menggunakan alat *breakdown voltage OTS 80 AF*

1. Persiapkan alat uji *BDV OTS 80 AF* dan perlengkapan lainnya
2. Pasang gap elektroda sesuai standar yang diinginkan,
3. Bersihkan semua bagian alat uji *BDV* dan mangkuk *oil vassel*
4. Pasang kabel *Grounding* alat uji pada pentanahan yang ada,
5. Ambil sampel dengan menuangkan secara perlahan hingga sampel minyak memenuhi pada *oil vassel* sebanyak (400 ml) . stirer bar telah berada pada mangkuk *oil vassel*, ukur dan catat temperatur minyak sampel yang akan diuji jangan sampai timbul gelembung pada minyak yang akan diuji,

6. Lalu tutup mangkuk *oil vassel* dengan tutupnya sampai rapat,
7. Hubungkan kabel daya dan hidupkan alat uji *BDV OTS 80 AF*
8. Setelah mangkuk oil vassel berada dalam alat uji *BDV OTS 80 AF*, lalu tutup alat uji tersebut,
9. Alat uji *BDV OTS 80 AF* akan menguji sebanyak 6 kali setiap 1 kali sampel pengujian,
10. *Print* hasil uji tegangan tembus dan lakukan pengujian secara berulang.
11. Setelah itu bersihkan alat uji dari minyak yang ada
12. Pengujian selesai.

3.5.2 Alat yang digunakan dalam proses purifikasi:

Alat yang digunakan dalam proses purifikasi yaitu:

a. Tabung vakum

Di tabung ini berisi heater atau alat pemanas untuk memanaskan minyak sehingga kontaminan seperti air dan gelembung gas akan menguap.

b. Indikator permukaan minyak dalam tabung vakum

Indikator ini berupa sensor infrared yang ditembakkan dari satu ujung tabung ke ujung tabung yang lain, yang berfungsi sebagai pengatur ketinggian permukaan minyak dalam tabung vakum

c. Filter

Filter berfungsi untuk menyaring minyak dari kontaminan pada minyak trafo yang sudah dipanaskan. Sehingga minyak dapat mempercepat tegangan tembus.

d. Motor vakum

Motor vakum digunakan untuk memvakumkan atau menyedot udara keluar dari tabung vakum.

e. Motor induksi 3 fasa

Motor ini berfungsi untuk menyedot minyak memasuki alat purifikasi dan memompa minyak yang sudah bersih ke trafo daya.

3.5.3 Metode Purifikasi

Alur pelaksanaan purifikasi minyak trafo menggunakan Merk KATO elektrik KLVC-5AXC-IAH adalah sebagai berikut:

1. Siapkan Mobil Purifikasi minyak Merk KATO, dan perlengkapan lainnya.
2. Koordinasi dengan UP2B untuk proses pemadaman BAY Trafo #2 60 MVA.
3. Koordinasi dengan UP2D untuk proses *manuver* penyulang.
4. Menghubungkan sakelar pentanahan untuk membuang tegangan sisa dengan menghubungkan antara phasa ke *ground*.
5. Sambungkan kabel supply dengan MCB 380 VAC dengan lalu *ON*kan MCB pada mobil kato
6. Pastikan bahwa mesin KATO beroperasi.

7. Memeriksa secara visual kondisi trafo ; tingkat korosi, baut-baut penguat, packing dan bantalan, tingkat keretakan dan perubahan pada dudukannya.
8. Membersihkan bagian trafo dan ruangnya.
9. Mengukur tahanan isolasi antar belitan trafo sebelum dilakukan sirkulasi.
10. Pengujian minyak trafo dengan alat uji (*Breakdown Voltage*) sebelum dilakukan purifikasi.
11. Sambungkan selang *inlet* pada mobil purifikasi pada pada bottom trafo, dan untuk selang *outlet* disambungkan pada *top* trafo.
12. Lalu buka *valve* pada *bottom* dan *top*
13. Lalu buka *valve inlet* dan *outlet* pada mobil purifikasi
14. Proses sirkulasi (Purifikasi minyak trafo) yang dilakukan selama $\pm 3 \times 24$ jam.
15. Pengujian minyak trafo setelah dilakukan secara berkala selama sirkulasi berlangsung.
16. Setelah berlangsung $\pm 3 \times 24$, maka dilakukan persiapan penormalan.
17. Lepas semua selang yang terhubung pada *top* dan *bottom* trafo.
18. Lalu pasang kembali packing pada pada *top* dan *bottom* trafo.
19. Mengukur tahanan isolasi antar belitan trafo setelah dilakukan sirkulasi
20. Pengukuran tahanan isolasi kabel XLPE (*Cross Link Polyethylene*) trafo kubikel setelah dilakukan purifikasi.
21. Pemasangan kabel dan pengoperasian kembali.
22. Pekerjaan purifikasi trafo selesai.

23. Komunikasi kepada UP2B dan UP2D terkait penormalan konfigurasi awal.
24. Pekerjaan selesai.

3.5.4 Metode Pengujian Tan Delta

Metode pengujian tan delta menggunakan alat uji Megger Delta 4000

1. Siapkan peralatan yang diperlukan saat pengujian tan delta berlangsung.
2. Rangkai alat uji tan delta merk megger delta 4000 , lalu koneksikan semua kabel pada alat uji yaitu: kabel *ground* untuk alat uji ,kabel *jumper ground jumper HV power,jumper HV control,switch pengaman/ interlock 1 dan 2 power source*, kabel *USB* ke laptop
3. *Jumper* semua *bushing* sisi *primer* (R,S,T,N)
4. *Jumper* semua *bushing* sisi *sekunder* (R,S,T,N)
5. Hubungkan kabel *HV* ke belitan *primer*,kabel *red* ke belitan *sekunder*, kabel *blue* ke belitan *tersier* dan kabel *ground* ke pentanahan Trafo daya
6. Setelah semua kabel di alat uji telah terangkai dengan benar, lalu hidupkan alat uji dengan menekan tombol *ON* pada sisi kanan alat uji
7. Setelah itu koneksikan alat uji ke laptop uji , lalu pilih mode pengujian
8. Lalu lakukan pengujian sesuai dengan form yang telah disediakan
9. Setelah itu pastikan kembali dari hasil pengujian
10. Apabila hasiil uji telah sesuai dengan standar yang ada pada PLN
11. Matikan alat uji dengan menekan tombool *OFF* pada alat uji

12. Setelah itu lepas semua *jumper* yang terpasang di setiap bushing *primer* dan *sekunder*,
13. Bereskan semua peralatan yang ada dan pastikan tidak ada yang tertinggal diatas trafo daya,
14. Pengujian selesai

3.6 Analisis Data

Setelah mendapatkan data atau terkumpulnya data yang diperlukan, maka dapat dilakukan pengolahan data dengan melalui beberapa tahap diantaranya:

1. Analisis Hasil Pengujian

Analisis hasil pengujian dapat dilakukan dengan pengujian secara elektrik dengan tujuan sebagai berikut:

- a) Mengetahui efektifitas metode purifikasi terhadap minyak trafo daya bekas,
- b) Membandingkan hasil minyak trafo daya setelah purifikasi terhadap minyak trafo daya baru.

2. Analisis Pemanfaatan

Analisis pemanfaatan dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu:

a) Secara kuantitatif

Analisis data dapat dilakukan dengan pemakaian kembali setelah pengujian purifikasi minyak isolasi trafo daya dilakukan.

b) Secara Efisien

Menganalisis bagaimana pemanfaatan metode purifikasi minyak isolasi trafo daya dilakukan secara tepat dan menggunakan sumber daya yang sesuai dengan kebutuhan lapangan.

c) Reduksi Limbah B3 Minyak trafo

Menganalisis hasil metode purifikasi minyak trafo dengan limbah B3 yang ditimbulkan setelah pengujian dilakukan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian minyak trafo daya maka didapatkan hasil sebagai berikut:

4.1 Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak Trafo Sebelum Purifikasi

Pengujian tegangan tembus bahan isolasi cair minyak jarak pada berbagai konfigurasi elektroda dengan menggunakan minyak trafo sebagai pembanding, bertujuan untuk mempelajari kekuatan isolasi minyak jarak terhadap tegangan tembus, dengan variasi temperatur dan jarak sela. Berdasarkan dari pengujian sesuai dengan formulir pengujian minyak trafo daya. Hasil dari tegangan tembus diperoleh dengan hasil 29,5 kV dengan keterangan, yang dilakukan pada tanggal 24 Juni 2020. Sebelum dilakukan proses purifikasi menggunakan alat yang telah dirancang, maka dilakukan pengukuran tegangan tembus terhadap minyak trafo daya yang digunakan. Adapun hasil tegangan tembus yang di dapatkan dari minyak trafo sebelum dilakukan proses purifikasi sebanyak 6 hasil uji untuk mendapatkan hasil rata-rata tegangan tembus yang dilakukan pada jam 13.16 wib, ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai Tegangan Tembus Sebelum Purifikasi

I	II	III	IV	V	VI	Rata-Rata	Nilai Standar
30,6 kV	34,1 kV	22,2 kV	21,0 kV	20,7 kV	20,8 kV	24,9 kV	>50 kV

Sumber: : Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Daya, 2020

* SK DIR 520

Berdasarkan hasil pengujian tegangan tembus pada minyak trafo daya sebelum purifikasi jika melihat dari pengukuran karakteristik minyak trafo daya dengan nomor dokumen FR-TRS-BOT-021 dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata yaitu sebesar 24,9 kV, dengan ini menunjukkan bahwa nilai tegangan tegangan tembus sebelum purifikasi dinyatakan buruk karena <50 kV.

Tabel 4.2 Batas / Standar Pengujian (SK DIR 520)

Pengujian	Rating Tegangan	Baik	Cukup	Buruk
Tegangan Tembus (BDV)	A (275 kV)	>60	50-60	<50
	B (150 kV)	>50	40-50	<40
	C (70 kV)	>40	30-40	<30
Tan Delta	B	<0,10	0,10-0,50	>0,50

Sumber: PT PLN Persero UIP3B Sumatera

* SK DIR 520

Berdasarkan tabel diatas atau standar pengujian (SK DIR 520) tegangan tembus menunjukkan bahwa tegangan tembus dapat dikatakan baik apabila pada rating tegangan A (275 kV) >60, B (150 kV) >50 dan C (70 kV) >40 sedangkan untuk tange delta pada rating tegangan B <0,10. Dikatakan cukup apabila pada rating tegangan A (275 kV) 50-60, B (150 kV) 40-50 dan C (70 kV) 30-40 sedangkan untuk tange delta pada rating tegangan B 0,10-0,50. Dikatakan buruk apabila pada rating tegangan A (275 kV) <50, B (150 kV) <40 dan C (70 kV) <30 sedangkan untuk tange delta pada rating tegangan B >0,50.

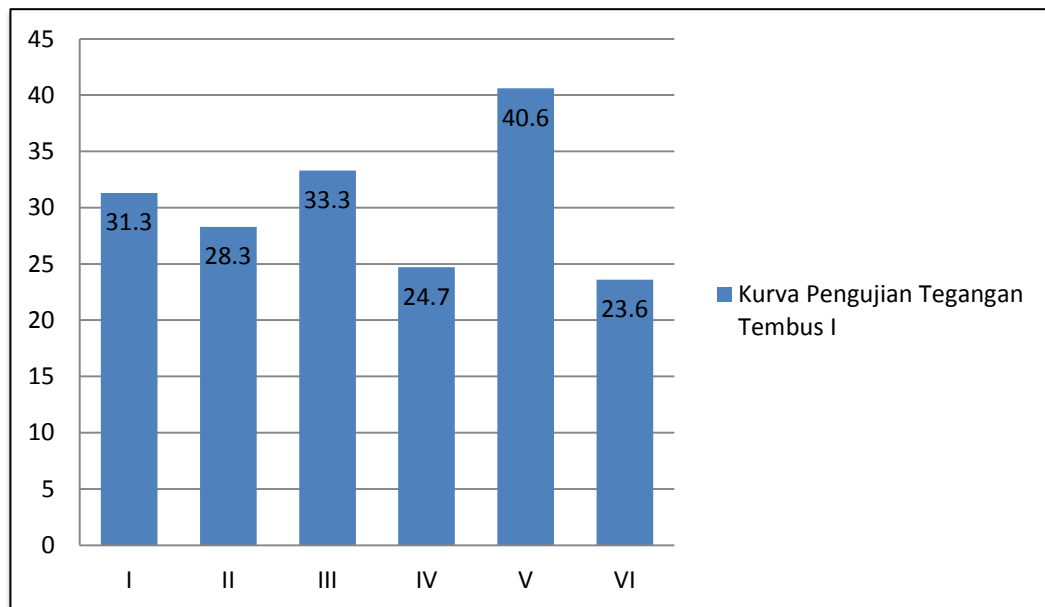
4.2 Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak Trafo Saat Purifikasi

Setelah proses purifikasi terhadap minyak trafo daya selesai dilakukan dengan menggunakan suhu 35°C dan waktu proses purifikasi, maka didapatkan nilai tegangan tembus untuk suhu 35°C dan waktu proses purifikasi, pengujian dilakukan <80 kV hal ini dikarenakan batas tegangan tembus alat yang digunakan adalah <80 kV sehingga purifikasi dilakukan dengan standar 50 kV. Adapun nilai tegangan tembus yang didapatkan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Nilai Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-1

I	II	III	IV	V	VI	Rata-Rata	Nilai Standar
31,3 kV	28,3 kV	33,3 kV	24,7 kV	40,6 kV	23,6 kV	30,3 kV	>50 kV

Sumber: Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Daya, 2022
* SK DIR 520



Gambar 4.1. Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-1

Pengujian tegangan tembus pertama dilakukan pada jam 14.10 WIB, berdasarkan hasil pengujian tegangan tembus pada minyak trafo daya pada pengujian pertama purifikasi melihat dari pengukuran karakteristik minyak trafo daya dengan nomor dokumen FR-TRS-BOT-021 dapat disimpulkan bahwa nilai

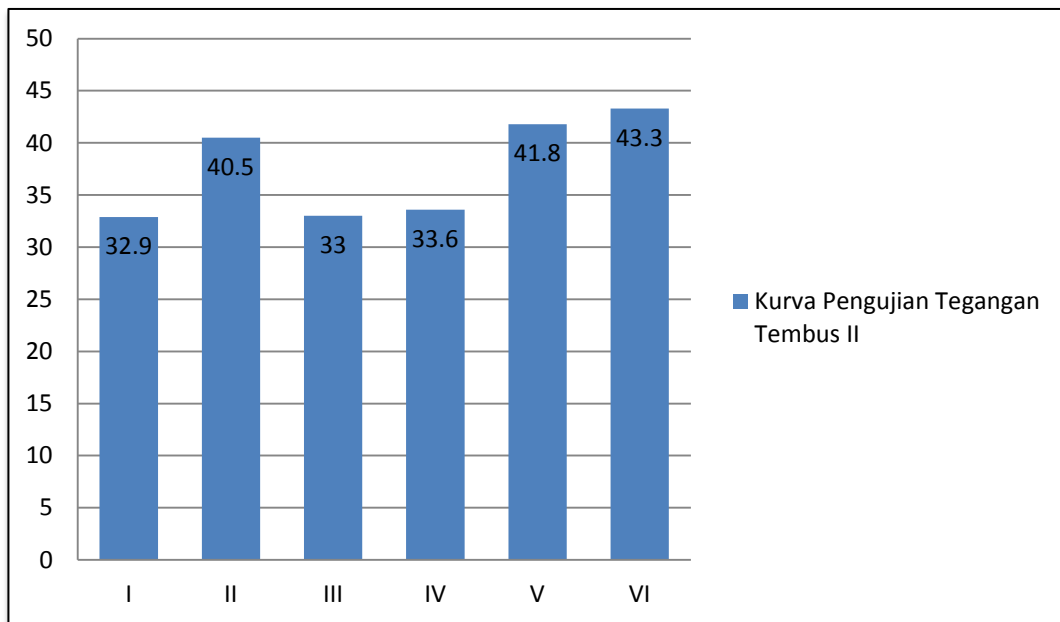
rata-rata yaitu sebesar 30,3 kV, dengan ini menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus pada pengujian pertama ini masih dibawah nilai standar dan dinyatakan buruk karena <50 kV.

Tabel 4.4 Nilai Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-2

I	II	III	IV	V	VI	Rata-Rata	Nilai Standar
32,9 kV	40,5 kV	33,0 kV	33,6 kV	41,8 kV	43,3 kV	37,5 kV	>50 kV

Sumber: Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Daya, 2022

* SK DIR 520



Gambar 4.2. Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-2

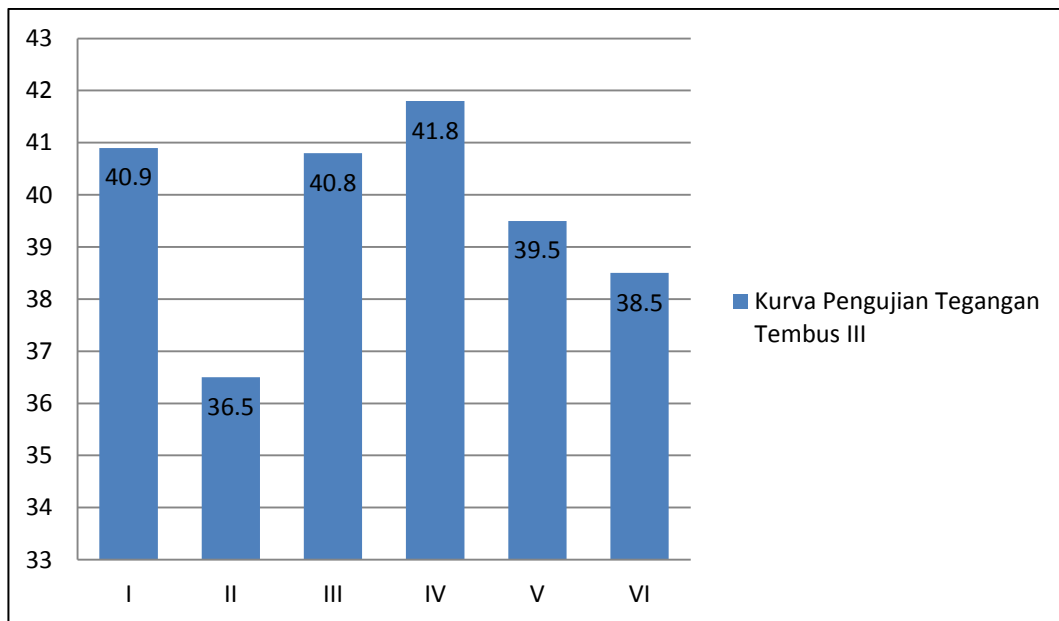
Pengujian tegangan tembus setelah purifikasi yang kedua dilakukan pada jam 21.56 WIB, berdasarkan hasil pengujian tegangan tembus pada minyak trafo daya pada pengujian kedua purifikasi melihat dari pengukuran karakteristik minyak trafo daya dengan nomor dokumen FR-TRS-BOT-021 dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata yaitu sebesar 37,5 kV, dengan ini menunjukkan bahwa nilai

tegangan tembus pada pengujian kedua ini masih dibawah nilai standar dan dinyatakan buruk karena <50 kV.

Tabel 4.5 Nilai Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-3

I	II	III	IV	V	VI	Rata-Rata	Nilai Standar
40,9 kV	36,5 kV	40,8 kV	41,8 kV	39,5 kV	38,5 kV	39,6 kV	>50 kV

Sumber: Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Daya, 2022
* SK DIR 520



Gambar 4.3 Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-3

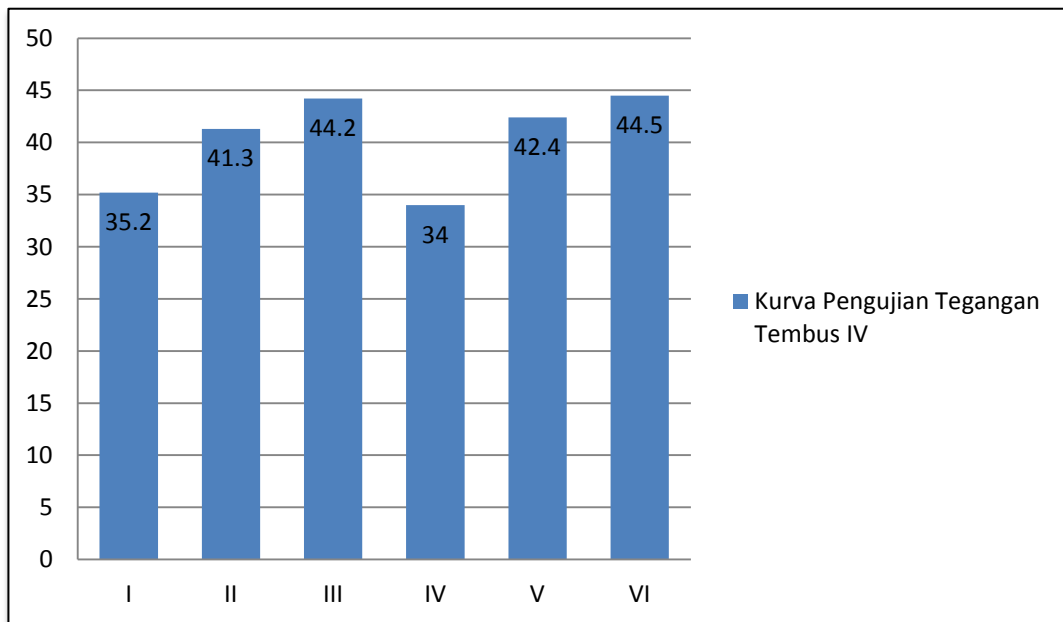
Pengujian tegangan tembus setelah purifikasi yang ketiga dilakukan pada jam 15.10 WIB, berdasarkan hasil pengujian tegangan tembus pada minyak trafo daya pada pengujian ketiga purifikasi melihat dari pengukuran karakteristik minyak trafo daya dengan nomor dokumen FR-TRS-BOT-021 dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata yaitu sebesar 39,6 kV, dengan ini menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus pada pengujian ketiga ini masih dibawah nilai standar dan dinyatakan buruk karena <50 kV.

Tabel 4.6 Nilai Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-4

I	II	III	IV	V	VI	Rata-Rata	Nilai Standar
35,2 kV	41,3 kV	44,2 kV	34,0 kV	42,4 kV	44,5 kV	40,3 kV	>50 kV

Sumber: Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Daya, 2022

* SK DIR 520



Gambar 4.4 Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-4

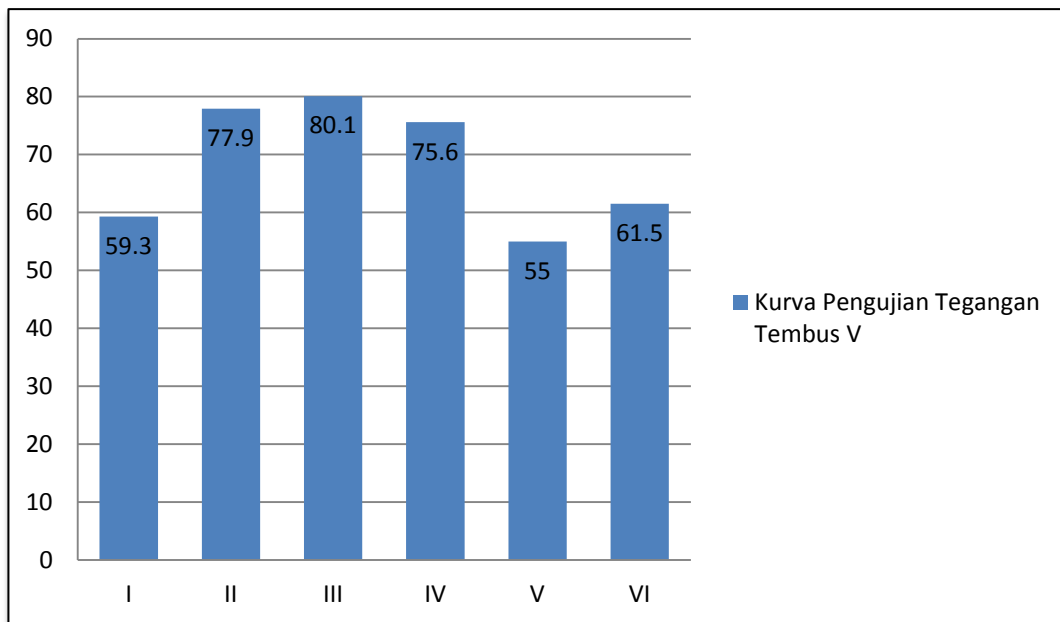
Pengujian tegangan tembus setelah purifikasi yang keempat dilakukan pada jam 08.39 WIB, berdasarkan hasil pengujian tegangan tembus pada minyak trafo daya pada pengujian ketiga purifikasi melihat dari pengukuran karakteristik minyak trafo daya dengan nomor dokumen FR-TRS-BOT-021 dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata yaitu sebesar 40,3 kV, dengan ini menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus pada pengujian keempat ini masih dibawah nilai standar dan dinyatakan buruk karena <50 kV.

Tabel 4.7 Nilai Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-5

I	II	III	IV	V	VI	Rata-Rata	Nilai Standar
59,3 kV	77,9 kV	80,1 kV	75,6 kV	55,0 kV	61,5 kV	68,2 kV	>50 kV

Sumber: Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Daya, 2022

* SK DIR 520



Gambar 4.5 Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-5

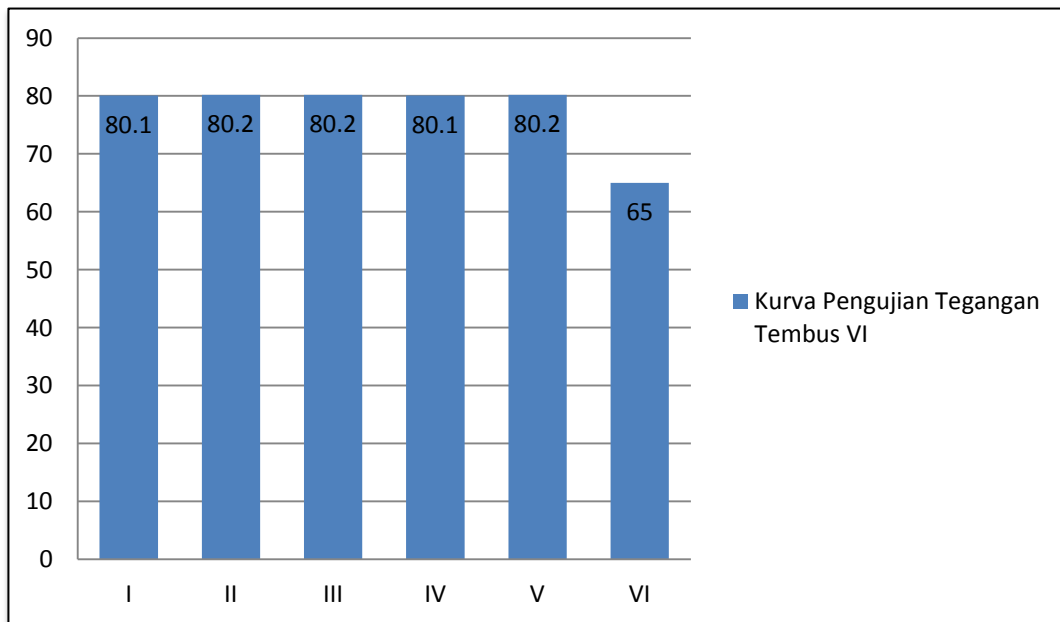
Pengujian tegangan tembus setelah purifikasi yang kelima dilakukan pada jam 14.19 WIB, berdasarkan hasil pengujian tegangan tembus pada minyak trafo daya pada pengujian kelima purifikasi melihat dari pengukuran karakteristik minyak trafo daya dengan nomor dokumen FR-TRS-BOT-021 dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata yaitu sebesar 68,2 kV, dengan ini menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus pada pengujian kelima ini sudah menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus sudah diatas standar dan dinyatakan baik karena >50 kV, tetapi

masih belum mencapai nilai tegangan maksimum pada alat uji, maka diperlukan pengujian selanjutnya.

Tabel 4.8 Nilai Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-6

I	II	III	IV	V	VI	Rata-Rata	Nilai Standar
80,1 kV	80,2 kV	80,2 kV	80,1 kV	80,2 kV	65,0 kV	77,6 kV	>50 kV

Sumber: Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Daya, 2022
* SK DIR 520



Gambar 4.6 Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-6

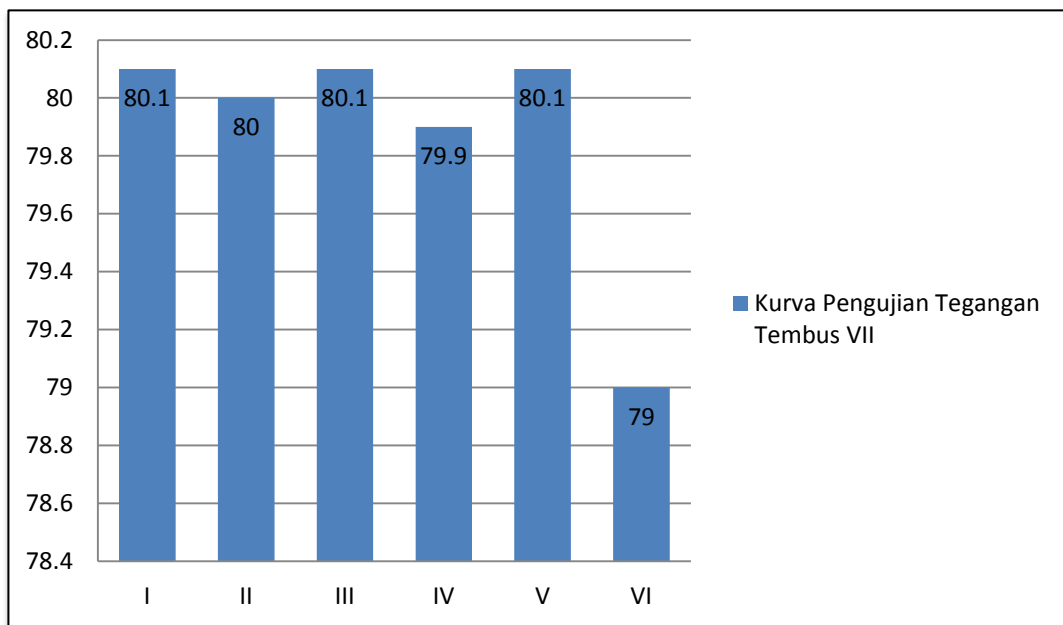
Pengujian tegangan tembus setelah purifikasi yang enam dilakukan pada jam 17.32 WIB, berdasarkan hasil pengujian tegangan tembus pada minyak trafo daya pada pengujian keenam purifikasi melihat dari pengukuran karakteristik minyak trafo daya dengan nomor dokumen FR-TRS-BOT-021 dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata yaitu sebesar 77,6 kV, dengan ini menunjukkan bahwa nilai

tegangan tembus pada pengujian kelima ini sudah menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus sudah diatas standar dan dinyatakan baik karena >50 kV, tetapi masih belum mencapai nilai tegangan maksimum pada alat uji, maka diperlukan pengujian selanjutnya.

Tabel 4.9 Nilai Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-7

I	II	III	IV	V	VI	Rata-Rata	Nilai Standar
80,1 kV	80,0 kV	80,1 kV	79,9 kV	80,1 kV	79,0 kV	79,9 kV	>50 kV

Sumber: Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Daya, 2022
* SK DIR 520



Gambar 4.7 Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-7

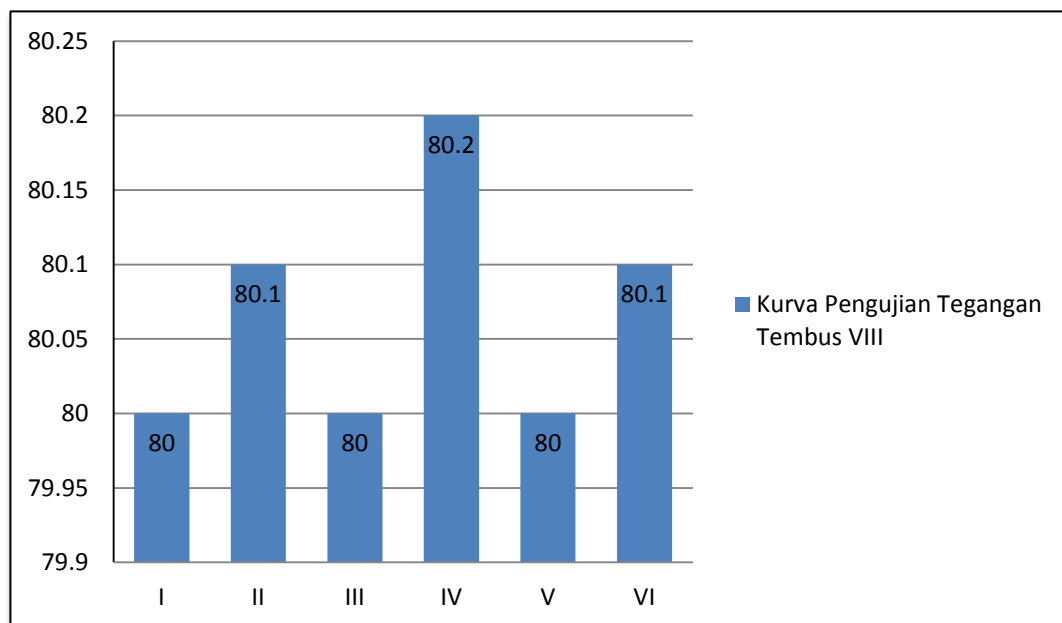
Pengujian tegangan tembus setelah purifikasi yang ketujuh dilakukan pada jam 21.49 WIB, berdasarkan hasil pengujian tegangan tembus pada minyak trafo daya pada pengujian ketujuh purifikasi melihat dari pengukuran karakteristik minyak trafo daya dengan nomor dokumen FR-TRS-BOT-021 dapat disimpulkan

bahwa nilai rata-rata yaitu sebesar 79,9 kV, dengan ini menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus pada pengujian kelima ini sudah menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus sudah diatas standar dan dinyatakan baik karena >50 kV, tetapi masih belum mencapai nilai tegangan maksimum pada alat uji, maka diperlukan pengujian selanjutnya.

Tabel 4.10 Nilai Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-8

I	II	III	IV	V	VI	Rata-Rata	Nilai Standar
80,0 kV	80,1 kV	80,0 kV	80,2 kV	80,0 kV	80,1 kV	80,1 kV	>50 kV

Sumber: Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Daya, 2022
* SK DIR 520



Gambar 4.8 Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-8

Pengujian tegangan tembus setelah purifikasi yang kedelapan dilakukan pada pukul 03.21 WIB, berdasarkan hasil pengujian tegangan tembus pada minyak

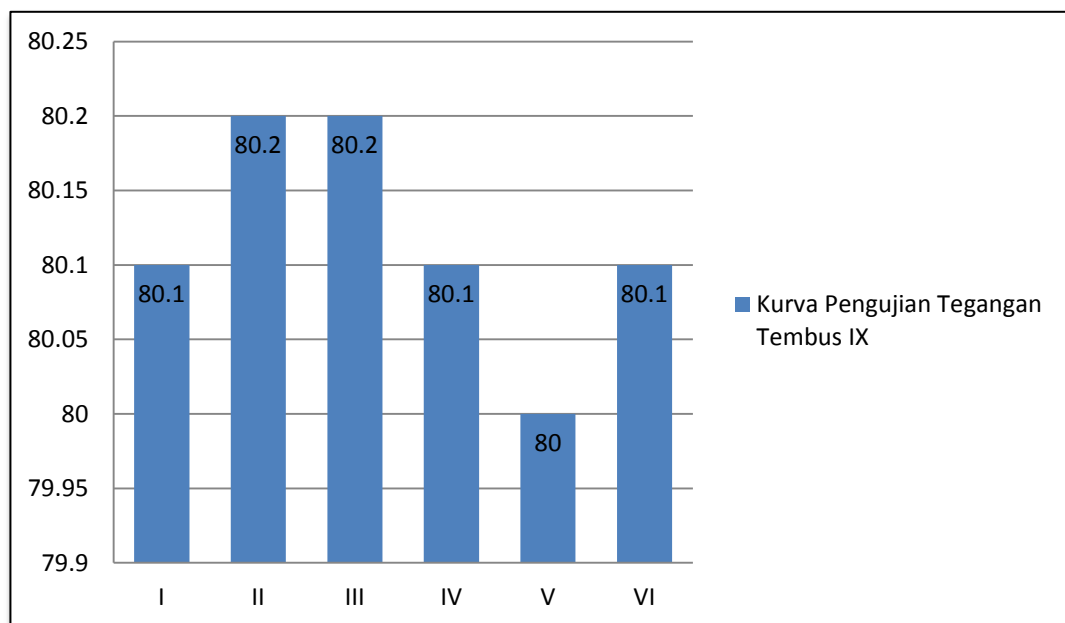
trafo daya pada pengujian keenam purifikasi melihat dari pengukuran karakteristik minyak trafo daya dengan nomor dokumen FR-TRS-BOT-021 dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata yaitu sebesar 80,1 kV, dengan ini menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus pada pengujian kelima ini sudah menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus sudah diatas standar dan dinyatakan baik karena >50 kV, tetapi masih belum mencapai nilai tegangan maksimum pada alat uji, maka diperlukan pengujian selanjutnya.

Tabel 4.11 Nilai Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-9

I	II	III	IV	V	VI	Rata-Rata	Nilai Standar
80,1 kV	80,2 kV	80,2 kV	80,1 kV	80,0 kV	80,1 kV	80,1 kV	>50 kV

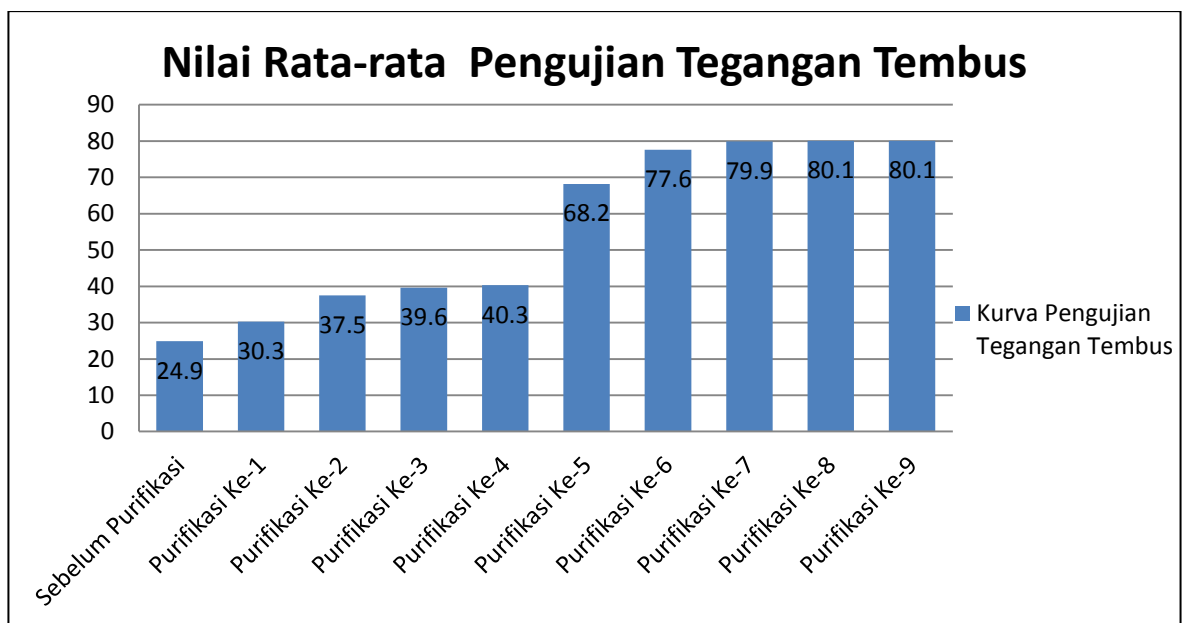
Sumber: Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Daya, 2022

* SK DIR 520



Gambar 4.9 Tegangan Tembus Setelah Purifikasi Ke-9

Pengujian tegangan tembus setelah purifikasi yang kesembilan dilakukan pada pukul 09.00 WIB, dari pengujian ini diperoleh rata-rata 80,1 kV. Berdasarkan hasil uji tegangan tembus setelah dilakukan purifikasi jika melihat dari pengukuran karakteristik minyak trafo daya dengan nomor dokumen FR-TRS-BOT-021 dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata yaitu sebesar 80,1 kV, dengan ini menunjukkan bahwa nilai tegangan tegangan tembus sebelum purifikasi dinyatakan baik karena >50 kV.



**Grafik 4.10 Rekapitulasi Tegangan Tembus
Sebelum dan Setelah Purifikasi**

Dari gambar diatas dapat kita lihat bahwa pengujian tegangan tembus pada setiap tahap mengalami kenaikan yang menunjukkan bahwa proses purifikasi berjalan sebagaimana mestinya dan menunjukkan bahwan purifikasi dapat meningkatkan nilai tegangan tembus minyak trafo daya sehingga minyak masih bisa digunakan.

4.3 Perbandingan Hasil Tegangan Tembus Sebelum dan Setelah Purifikasi

Setelah dilakukan pengukuran tegangan tembus pada minyak trafo daya yang belum dan telah dipurifikasi, maka didapatkan perbandingan hasil tegangan tembus. Adapun perbandingan hasil tegangan tembus minyak trafo daya sebelum dan setelah purifikasi ditunjukkan pada Tabel 4.12 berikut ini :

Tabel 4.12 Perbandingan Hasil Tegangan Tembus Minyak Trafo Daya Sebelum Dan Setelah Purifikasi

Tahapan	Tegangan Tembus (k V)
Sebelum Purifikasi	24,9 kV
Setelah Purifikasi	80,1 kV

Sumber: Pengujian Minyak Trafo Daya, 2022

Hasil tegangan tembus yang diperoleh setelah purifikasi telah memenuhi batas tegangan tembus yang diizinkan untuk tegangan peralatan sebesar 80,1 kV yaitu ≥ 50 kV. Terjadi perbedaan yang sangat jauh pada hasil minyak trafo daya sebelum dan sesudah di purifikasi. Minyak trafo daya yang dipanaskan dapat memisahkan kandungan air yang terdapat pada minyak. Uap air menghilang sewaktu dipanaskan yang menyebabkan hasil tegangan tembus yang sesuai dengan standar nya. Dan juga setelah proses pemanasan terjadi proses filtrasi yang berfungsi untuk menyaring kotoran-kotoran yang terdapat pada minyak trafo daya bekas. Selain itu terjadinya proses sirkulasi yang berulang.

4.4 Pengujian Tan Delta

Pengukuran tangen delta lebih ditujukan untuk mengetahui laju penurunan kualitas tahanan isolasi suatu peralatan atau efek penuaannya. Oleh karena itulah pengukuran tangen delta memerlukan nilai awal sebagai referensi untuk pengukuran selanjutnya yang dilakukan secara berkala. Pengujian Purifikasi dirasa hasil yang didapatkan telah sesuai dengan standar yang ada dan telah berkoordinasi dengan SPV Har GI, *Manager* ULTG, serta tim rencana dan evaluasi UPT Jambi maka proses purifikasi sesuai dengan hasil uji sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, setelah itu dilakukan pengujian Tan Delta pada minyak trafo daya yang telah di purifikasi dimana hasil sebelumnya didapt hasil buruk yaitu:

Tabel 4.13 Pengujian Tan Delta Sebelum Purifikasi

No	Isolasi yang diuji	Mode Pengukuran yang digunakan	Tegangan Pengujian	Sebelum	Setelah	Standar Pengujian
1	CH _G + CHL	GST _G - B	10 kV	0,95	0,43	<0,10
2	CH _G	GST _G - RB	10 kV	0,76	0,45	
3	CHL	UST - R	10 kV	1,03	0,41	

Sumber: Pengujian Tan Delta Trafo Daya, 2020

* SK DIR 520

Berdasarkan hasil uji Tan Delta sebelum purifikasi berdasarkan FR-TRS-BOT-021 dapat disimpulkan bahwa nilai *measurement* >0,50 hal ini menunjukkan bahwa pengujian tan delta sebelum purifikasi dinyakatan buruk. Setelah dilakukan purifikasi dapat dilihat bahwa nilai *measurement* terletak diantara 0,10-0,50 hal ini menunjukkan bahwa pengujian tan delta setelah purifikasi dinyakatan cukup.

4.5 Analisis Reduksi Limbah B3 Minyak trafo daya

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada minyak trafo daya di gardu induk Payo Selincih yang berkapasitas sebesar 31000 Kg, dengan jumlah minyak yang sangat besar apabila tidak menggunakan metode purifikasi maka akan menimbulkan limbah minyak trafo sebesar 31000 Kg, dan harus mengganti minyak trafo baru sebesar 31000 Kg, dari hasil pengujian lapangan dengan menggunakan metode purifikasi dapat dilihat bahwa metode ini sangat efektif dalam upaya mendaur ulang minyak trafo untuk menekan timbulan limbah B3, sehingga tidak ada pengurangan dan penambahan minyak trafo daya. Akan tetapi beberapa kasus yang terjadi pada dua unit trafo daya yaitu TD# 1 60 MVA Gardu Induk Payo Selincih dan TD#2 60 MVA Gardu Induk Aurduri yang memiliki nilai pengujian tegangan tembus minyak yang melebihi nilai standar dan beberapa jenis pengujian yang memiliki nilai melebihi baku mutu yang berlaku dilingkungan PT.PLN (Persero), serta mengalami kebocoran di beberapa titik sehingga dua unit trafo tersebut diganti dengan unit yang baru.

Dari penggantian unit trafo tersebut akan menimbulkan timbulan minyak trafo daya yang sudah tidak terpakai, untuk disetiap unit memiliki kapasitas minyak dengan jumlah yang berbeda untuk unit TD# 1 60 MVA di Gardu Induk Payo Selincih memiliki kapasitas minyak sebesar 31000 kg, sedangkan untuk unit TD# 2 60 MVA di Gardu Induk Aurduri memiliki kapasitas minyak sebesar 43000 Kg. Dari dua kasus yang terjadi ini dapat dilihat apabila minyak trafo daya yang telah mengalami penurunan kualitas tetapi tidak dilakukan pemeliharaan menggunakan metode purifikasi akan menimbulkan limbah minyak yang sangat

banyak, dapat dilihat dari dua unit trafo daya menimbulkan limbah minyak sebesar 74000 Kg, dari limbah minyak yang ditimbulkan diperlukan pengelolaan yang sesuai dengan peraturan yang berlaku.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, efektivitas metode purifikasi minyak trafo daya sangat baik dalam menekan timbulan limbah B3 di lingkungan PT.PLN(Persero) hal ini dimulai dari :

1. Tegangan tembus pada minyak trafo daya yang belum dan telah di purifikasi didapatkan perbandingan hasil tegangan tembus sebelum purifikasi yaitu sebesar 24,9 kV dengan nilai buruk dan setelah 80,1 kV dengan nilai baik.
2. Hasil uji Tan Delta yang telah dilakukan sebelum purifikasi memiliki nilai 0,97; 0,76; dan 1,03 dengan kategori buruk, setelah purifikasi hasilnya mengalami penurunan dengan nilai 0,43; 0,45; dan 0,41 dimana memenuhi standar pengujian.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan oleh penulis pada penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengukur variabel lain yang belum seperti Kejernihan, Massa jenis, Viskositas kinematika, Titik nyala, Angka kntralan, dan korosi.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai metode daur ulang minyak trafo yang lebih beragam untuk membandingkan metode yang lebih efektif dalam kegiatan daur ulang minyak trafo.

DAFTAR PUSTAKA

- Andy Saputra Manurung. 2011. *Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah Dan Kualitas Limbah Cair Rumah Sakit Umum Daerah Dr. H. M. Ansari Saleh Di Kota Banjarmasin*. Program Studi Pasca Sarjana Ilmu Lingkungan Universitas Sebelas Maret.
- Destario Yan P. 2018. *Purifikasi Minyak Trafo daya Kapasitas 400 KVA*. Jurnal Universitas Diponegoro Semarang.
- Eri Suherman. 2020. *Analisis Karakteristik Minyak Trafo daya Starlite 400 Kva Terhadap Tegangan Tembus*. Program Studi Teknik Elektro no
- Galih Mustiko Aji. 2017. *Pengujian Tembus Dielektrik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Pengganti Isolasi Pada Minyak trafo*. Jurusan Teknik Elektronika Pminyakteknik Negeri Cilacap. Jurnal Ecotipe, Volume 4, Nomor 1.
- Karnoto dan Destario. 2015. *Purifikasi Minyak Trafo daya Kapasitas 400 Kva*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Munandar. 2014. *Studi Pengaruh Perubahan Temperatur Terhadap Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Isolasi Nynas*. Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Pendidikan Indonesia. Prosiding Seminar Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia.
- Prayoga, Aditya. 2010. *Trafo daya, Teknik Tenaga Listrik*, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik. Universitas Indonesia: Depok.
- Rahmat H. 2008. *Deteksi dan Analisis Indikasi Kegagalan Trafo daya Dengan Metode Analisis Gas Terlarut*. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia: Depok.
- Wayan Gede Ariastina. 2019. *Studi Tegangan Tembus Minyak Trafo daya*. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana. Jurnal SPEKTRUM Vol. 6, No. 3.