

SKRIPSI

**PEMANFAATAN FENOL DAN *BUTYLATED*
HYDROXYTOLUENE SEBAGAI MEDIA PEMURNIAN
LIMBAH MINYAK TRANSFORMATOR BEKAS**



**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh:

MUHAMMAD DASROL FITRISYAH

03041282025026

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN FENOL DAN *BUTYLATED HYDROXTOLENE*
SEBAGAI MEDIA PEMURNIAN LIMBAH MINYAK
TRANSFORMATOR BEKAS



SKRIPSI

Disusun Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Oleh:

MUHAMMAD DASROL FITRISYAH
03041282025026

Palembang, 08 November 2024

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Ir. M. Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU.

NIP. 197108141999031005

Menyetujui,

Dosen Pembimbing

M. Irfan Jambak, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP. 197110012006041001

LEMBAR PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Dasrol Fitriyah
NIM : 03041282025026
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan

Software iThenticate/Turnitin: 7%

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya yang berjudul **“Pemanfaatan Fenol Dan Butylated Hydroxtoulene Sebagai Media Pemurnian Limbah Minyak Transformator Bekas”** merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

Indralaya, 15 November 2024



Muhammad Dasrol Fitriyah
NIM.03041282025026

LEMBAR PERNYATAAN DOSEN

Saya sebagai pembimbing menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kuantitas skripsi ini mencukupi sebagai mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan



Pembimbing Utama

: M. Irfan Jambak, S.T., M.Eng., Ph.D.

Tanggal

: 08 November 2024

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Dasrol Fitriyah
NIM : 03041282025026
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

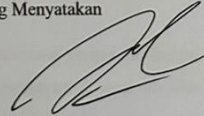
**PEMANFAATAN FENOL DAN BUTYLATED HYDROXTOLENE
SEBAGAI MEDIA PEMURNIAN LIMBAH MINYAK
TRANSFORMATOR BEKAS**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Palembang

Pada Tanggal: 15 November 2024

Yang Menyatakan



Muhammad Dasrol Fitriyah

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur Penulis panjatkan kepada Allah SWT karena-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul: **“PEMANFAATAN FENOL DAN BHT SEBAGAI MEDIA PEMURNIAN LIMBAH MINYAK TRANSFORMATOR BEKAS”**. Laporan proposal skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan dalam program Strata – 1 dalam Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

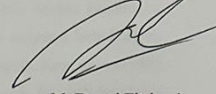
Penulis sangat menyadari bahwasannya dalam penyusunan proposal ini, tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karenanya, dalam kesempatan yang bahagia ini, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT karena berkat rahmat-Nya Penulis dapat menyusun dan menyelesaikan proposal ini.
2. Ayah, Ibu, Kakak, serta Keluarga yang telah memberikan dukungan selama perkuliahan maupun selama penyusunan proposal skripsi ini.
3. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D. IPU selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti, S.T., M.S. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Elektro dan Dosen Pembimbing Akademik.
5. Bapak M. Irfan Jambak S.T. M.Eng., Ph.D. selaku Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan nasehat dan saran yang membangun penulis dalam menyelesaikan laporan ini.
6. Seluruh Dosen, beserta staff Jurusan Teknik Elektro yang telah berkontribusi selama masa perkuliahan penulis.
7. Seorang mahasiswi Pendidikan kedokteran gigi dengan NIM 04031282126018 yang telah mendukung hingga terbentuknya skripsi ini.
8. Teman-teman 1 grup bimbingan yang saling membantu dan mendukung dalam proses penyusunan proposal.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan proposal skripsi ini banyak terdapat kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu saran dan kritik yang diberikan oleh berbagai pihak terhadap penyusunan proposal skripsi ini diharapkan penulis agar dalam penulisan proposal skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan

menambah wawasan pada bidang Pendidikan serta menjadi acuan untuk penulisan maupun penelitian selanjutnya agar dapat dikembangkan.

Palembang, 15 November 2024



M. Dasrol Fitriyah

ABSTRAK

PEMANFAATAN FENOL DAN BHT SEBAGAI MEDIA PEMURNIAN LIMBAH MINYAK TRANSFORMATOR BEKAS

(Muhammad Dasrol Fitriyah, 03041282025026, 69 Halaman)

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair dengan kandungan utama dalam minyak transformator melibatkan unsur atau senyawa hidrokarbon, termasuk senyawa hidrokarbon parafinik, naftenik, dan aromatik. Kontaminan yang ada dalam minyak trafo dapat membuat ketidakmurnian minyak. Penambahan fenol dan *Butylated Hydroxtoulene* (BHT) dapat mengurangi kandungan kontaminan. Penelitian dilakukan untuk mengetahui manfaat dan mengukur efektifitas penggunaan fenol dan BHT dalam memurnikan dan meningkatkan kualitas minyak transformator bekas. Penelitian ini dilakukan dengan studi literatur dan pengujian sampel minyak transformator yang ditambah dengan fenol dan antioksidan *Butylated Hydroxtoulene* (BHT). Hasil dari pengujian didapati bahwa zat aditif fenol mampu meningkatkan kualitas dari sample minyak, sedangkan penambahan *Butylated Hydroxtoulene* (BHT) dapat memperbaiki minyak transformator, sehingga dapat memperbaiki warna minyak trasformator bekas menjadi lebih jernih dan membuat nilai tegangan tembus minyak transformator menjadi lebih baik. Peningkatan nilai tegangan tembus yang sebelumnya 8,8kV meningkat kualitas minyak sebagai tegangan tembus mencapai 86% atau 16,4kV dari minyak transformator bekas semula sedangkan peningkatan kejernihan warna mencapai 67% dari minyak transformator semula.

Kata Kunci : Minyak Transformator, Fenol, *Butylated Hydroxtoulene*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN INTEGRITAS	i
LEMBAR PERNYATAAN DOSEN	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR.....	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.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Hipotesis	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Sistem Pembangkit	7
2.2 Sistem Transmisi	7
2.3 Sistem Distribusi	7

2.4	Transformator	8
2.5	Minyak Isolasi Transformator	11
2.5.1	Struktur Minyak transformator	13
2.5.2	Karakteristik Minyak Transformator	14
2.5.3	Jenis-Jenis Minyak Isolasi Tranformator	17
2.6	<i>Breakdown Voltage</i> (Tegangan Tembus)	19
2.7	Kontaminan Minyak Transformator.....	20
2.8	Fenol.....	21
2.9	<i>Butylated Hydroxtoulene</i> (BHT)	23
2.10	Oksidasi	25
2.11	Penelitian Sebelumnya.....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1.	Pendahuluan	29
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian	29
3.2.1	Alat.....	29
3.2.2	Bahan.....	30
3.3.	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	30
3.4.	Sampel Penelitian	30
3.4.1	Limbah Minyak Tranformator	30
3.4.2	Fenol.....	31
3.4.3	<i>Butylated Hydroxtoulene</i> (BHT)	32
3.5.	Rancangan Penelitian	32
3.6.	Diagram Alir Penelitian.....	33
3.7.	Tahapan Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1.	Pendahuluan	35

4.2.	Hasil Pengujian.....	35
4.2.1.	Nilai Absorbansi	37
4.2.2.	Nilai Tegangan Tembus	38
4.3.	Pembahasan	40
BAB V	PENUTUP.....	49
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN.....		54
LAMPIRAN.....		54
LAMPIRAN KHUSUS		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Transformator Daya	9
Gambar 2.2 Rangkaian Transformator [15]	10
Gambar 2.3 Skala Warna Standar Minyak Transformator [17]	12
Gambar 2.4 Struktur Kimia Fenol	22
Gambar 2.5 Antioksidan <i>Butylated Hydroxytoluene</i> (BHT)	24
Gambar 3.1 Diagram Alir	33
Gambar 4.1 Grafik Nilai Absorbansi	37
Gambar 4.2 Grafik Nilai Tegangan Tembus Sample	39
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Tegangan Tembus Penambahan Fenol 45 ml ..	40
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Tegangan Tembus Penambahan Fenol 90 ml ..	41
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Tegangan Tembus Penambahan Fenol 150 ml ..	41
Gambar 4.6 Grafik Peningkatan Tegangan Tembus	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Petunjuk Untuk Melihat Minyak Transformator [18].....	12
Tabel 2.2 Batasan Pengusahaan Minyak Transformator Sesuai Metoda ASTM [19]	18
Tabel 2.3 Spesifikasi Minyak Hyrax.....	18
Tabel 2.4 Standar IEC Terhadap Tegangan Tembus [20].....	20
Tabel 2.5 Sifat Fenol.....	22
Tabel 2.6 Karakteristik Antioksidan <i>Butylated Hydroxtoulene</i>	24
Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu	27
Tabel 3.1 Komposisi Kondisi Sampel Uji.....	32
Tabel 4.1 Nilai Absorbansi dan Nilai Tegangan Tembus	35
Tabel 4.2 Nilai Tegangan Tembus	38
Tabel 4.3 Persentase Kenaikan Nilai Tegangan Tembus.....	42
Tabel 4.4 Perhitungan Kenaikan Persentase Nilai absorbansi Warna Minyak.....	46

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada sistem pembangkit, sistem transmisi, maupun sistem distribusi dibutuhkan banyak komponen yang mendukung agar aliran listrik dapat mengalir dari sumber sampai ke konsumen. Salah satu komponen yang tersusun pada sistem tersebut adalah transformator [1] [2]. Fungsi utama dari transformator adalah untuk mengubah besaran listrik dalam suatu rangkaian, terutama dalam hal tegangan. Transformator bekerja dengan prinsip induksi elektromagnetik, di mana energi listrik yang masuk pada sisi primer akan ditransfer ke sisi sekunder dengan tegangan yang berbeda. Transformator berfungsi untuk menurunkan atau menaikkan tegangan listrik. Macam-macam transformator ada transformator daya, transformator arus, dan transformator tegangan [3]. Ada beberapa komponen utama yang tersusun pada transformator salah satunya minyak transformator.

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair dimana terdapat 4 fungsi utama, yaitu sebagai isolator (agar tidak terjadi loncatan bunga api/*arcing*), pendingin, pelindung, dan pelarut gas [4] [5]. Minyak transformator ada beberapa jenis dan pemilihan jenis menyesuaikan dengan lingkungan dimana tempat transformator berada [6]. Kandungan utama dalam minyak transformator melibatkan unsur atau senyawa hidrokarbon, termasuk senyawa hidrokarbon parafinik, naftenik, dan aromatik. Kualitas minyak transformator dapat dilihat dari beberapa parameter yang harus dipenuhi sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan, yaitu kejernihan, massa jenis, viskositas kinematic, *flash point*, titik tuang, angka kenetralan, tegangan tembus, kemantapan oksidasi, kandungan air, resistans jenis, tegangan permukaan, dan kandungan gas pada minyak transformator [5]. Jika kekuatan minyak transformator terhadap tegangan tembus sudah melewati batasan yang sudah ditentukan, yaitu endapan < dari 0,5 ppm, moisture < 120 ppm, *dielectric strength* < 30 kV maka minyak tersebut dapat dikatakan tidak layak pakai. Menurut standar IEC yang sudah ditetapkan, kekuatan minyak transformator terhadap tegangan tembus yaitu 30 kV pada minyak bekas dan 50kV pada minyak baru [7].

Seiring bertambahnya waktu dalam penggunaan minyak transformator sebagai minyak isolasi, maka akan menurun juga kualitas dari minyak tersebut. Dengan menurunnya kualitas minyak isolasi transformator, maka akan memicu terjadinya kegagalan isolasi yang dapat merusak komponen sekitar dan juga membahayakan lingkungan dan makhluk hidup sekitar. Penurunan kualitas pada minyak isolasi transformator disebabkan karena adanya kontaminan pada minyak. Salah satu masalah terbesar yang mengakibatkan penurunan kekuatan tegangan tembus pada minyak transformator adalah terdapat kandungan air yang terkontaminasi dengan minyak transformator karena air meningkatkan konduktivitas listrik dan menurunkan kekuatan dielektrik [8]. Selain itu terdapat keberadaan zat-zat kontaminan seperti gelembung udara, gas terlarut, partikel padat seperti karbon dan logam yang terlarut, endapan-endapan atau kotoran, debu, dan sebagainya merupakan penyebab menurunnya kualitas dari minyak transformator tersebut [9]. Kontaminan yang terdapat dalam minyak trafo dapat berperan sebagai jembatan konduktif, yang memicu terjadinya peristiwa banjir elektron pada minyak trafo. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya tegangan tembus, sehingga minyak trafo gagal menjalankan fungsinya sebagai isolator [10]. Ketidakmurnian minyak transformator dapat menyebabkan menurunnya kualitas minyak dan kekuatan minyak terhadap tegangan tembus [11].

Pada pengujian ini, dilakukan purifikasi minyak dengan tujuan memperbaiki 2 parameter yaitu skala warna dan tegangan tembus. Hal ini disebabkan bahwa perbaikan skala warna dapat diamati secara visual dengan mata terbuka. Sedangkan perbaikan parameter tegangan tembus disebabkan fungsi utama dari minyak transformator sebagai isolasi dan pengaman agar transformator berjalan dengan baik dan aman. Penambahan fenol dapat mengurangi kandungan kontaminan seperti air, gas terlarut, dan partikel padat dikarenakan fenol akan terlarut dengan air dan fenol akan bereaksi dengan gas terlarut dan akan mengurangi konsentrasi dari gas yang berkontaminasi dengan suatu minyak seperti hydrogen, karbon dioksida, karbon monoksida, metana (CH_4), etana (C_2H_6), etilen (C_2H_4), dan asetilen (C_2H_2) [12]. kemudian fenol juga akan membuat endapan karena fenol mengikat senyawa logam yang terkontaminasi dengan minyak [10]. Fenol juga dapat mengurangi kandungan asam dan sebagai penetralisir dari zat asam [13].

Selain penambahan fenol, *Butylated Hydroxtoulene* (BHT) juga sering ditemukan dalam produk teknis seperti minyak mineral/bumi, minyak organik, dan minyak sintetik. Bahan ini sering digunakan sebagai antioksidan dalam pelumas karena bahan ini membantu menunda terjadinya oksidasi. Oksidasi menyebabkan kondisi ketidakuntungan dan dapat menyebabkan penurunan kualitas suatu minyak. Penggunaan BHT dapat meningkatkan ketahanan oksidatif dan lebih stabil sehingga dapat mencegah terjadinya kerusakan yang mengakibatkan penurunan kualitas minyak dan memperpanjang usia dan minyak tersebut sehingga dapat dikatakan efektif dalam penggunaannya sebagai antioksidan [14].

Dengan adanya teori yang menjelaskan mengenai kontaminan minyak transformator yang dapat menurunkan kualitas dan kekuatan minyak transformator sebagai isolasi cair dan mengurangi pencemaran lingkungan yang terjadi akibat pengolahan minyak transformator bekas dan teori mengenai fenol yang dapat mengurangi beberapa kandungan kontaminan dari minyak transformator dan dapat memurnikan minyak serta peningkatan kualitas minyak, serta *Butylated Hydroxtoulene* (BHT) yang dapat mencegah terjadinya oksidasi dan memperpanjang umur minyak transformator, maka penulis menarik judul **“PEMANFAATAN FENOL DAN BHT SEBAGAI MEDIA PEMURNIAN LIMBAH MINYAK TRANSFORMATOR BEKAS”** sebagai judul tugas akhir skripsi.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, hanya menggunakan fenol sebagai bahan purifikasi dalam melakukan pemurnian minyak transformator yang sudah menurun kualitasnya sehingga menurunnya kekuatan minyak terhadap tegangan tembus [11]. Penurunan kualitas minyak transformator diakibatkan adanya kandungan kontaminan yang tercampur pada minyak. Adanya kandungan kontaminan dapat menyebabkan warna minyak transformator semakin gelap yang merupakan salah satu parameter penilaian kualitas minyak sudah memburuk. Dalam penelitian yang akan dilakukan, peneliti ingin melakukan percobaan untuk mendaur ulang minyak transformator yang sudah menurun kualitasnya dengan mencampurkan fenol dengan minyak dengan penambahan

Butylated Hydroxytoluene (BHT) sebagai media yang mencegah ataupun menghambat terjadinya oksidasi pada minyak dan kualitas minyak dapat meningkat dan dapat menurunkan kandungan kontaminan pada minyak sehingga minyak dapat menjadi lebih jernih dan memenuhi standar yang sudah ditentukan.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun berikut merupakan tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Memanfaatkan dan mengukur persentase kenaikan nilai tegangan tembus minyak transformator bekas sebelum dan sesudah dilakukannya pemurnian menggunakan fenol dan *Butylated Hydroxytoluene*.
2. Melakukan pemanfaatan kembali / *reusable* terhadap minyak transformator bekas dan mengukur kenaikan persentase perubahan warna minyak transformator bekas sebelum dan sesudah dilakukannya pemurnian menggunakan fenol dan *Butylated Hydroxytoluene*.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan ruang lingkup sebagai berikut:

1. Sampel uji yang digunakan adalah limbah minyak transformator bekas dengan penambahan fenol dan *butylated hidroxytoluene* (BHT).
2. Melakukan pengujian tingkat kekuatan tegangan tembus minyak transformator menggunakan alat *oil dielectric test*.
3. Penelitian dilakukan untuk mengetahui skala warna pada minyak transformator sebelum dan sesudah dilakukan penjernihan.

1.5 Batasan Masalah

1. Sampel uji yang digunakan adalah minyak transformator bekas dengan penambahan fenol dan antioksidan *butylated hydroxytoluene* (BHT).
2. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui peningkatan kualitas minyak transformator sebelum dan setelah dimurnikan.
3. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan skala warna tingkat kejernihan minyak transformator dan kekuatan tembus sebelum dan setelah dilakukan pemurnian minyak transformator.

1.6 Hipotesis

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan pengujian tegangan tembus terhadap minyak transformator bekas yang dilakukan purifikasi dengan menambahkan fenol sebagai media untuk pemurnian minyak transformator bekas [12]. Mengamati penelitian sebelumnya, peneliti ingin melakukan penambahan tahapan setelah mencampurkan fenol kedalam minyak transformator bekas dengan menambahkan zat aditif *Butylated Hydroxtoulene*. Hipotesa awal peneliti adalah dengan penambahan zat aditif *Butylated Hydroxtoulene* setelah melakukan pemurnian menggunakan fenol dapat lebih maksimal dibandingkan hanya menggunakan fenol saja.

1.7 Sistematika Penulisan

Setiap bab dalam penelitian ini memiliki pembahasan dan penjelasan yang berbeda. Berikut merupakan penjelasan pada setiap bab:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan yang terkait dan menjadi alasan pada penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan teori-teori yang mendukung dan memiliki kaitannya dengan penelitian akan dilakukan dalam penyusunan penulisan tugas akhir berdasarakan studi literatur.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang metode yang digunakan pada penelitian ini, objek dari penelitian, dan waktu dilakukannya penelitian.

BAB IV HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil dari penelitian yang telah dilakukan dengan mengolah data yang telah didapat sesuai dengan tujuan penelitian.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang didapat dengan melihat hasil dari penelitian, analisa, dan studi literatur yang telah dilakukan selama penelitian serta saran yang diberikan untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Syahputra, “Tenaga Listrik,” *Transm. Dan Distrib. Tenaga List.*, no. LP3M UMY, Yogyakarta, pp. 249–256, 2016.
- [2] A. W. Hasanah, A. Makkulau, Z. F. Fadhilah, T. Elektro, S. Tinggi Teknik-Pln, and A. Com, “Perencanaan Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Di Pulau Jawa,” / *J. Sutet*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2015.
- [3] Siburian Jhonson, “Karakteristik Transformator,” *J. Teknol. Energi Uda*, vol. VIII, no. 1, pp. 21–28, 2019.
- [4] H. T. Kurrahman and S. Abduh, “Studi Tegangan Tembus Minyak Kemiri Sunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator Daya,” *Jetri J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 13, pp. 11–28, 2016, doi: 10.25105/jetri.v13i2.492.
- [5] A. Chumaidy, “Analisis Kegagalan Minyak Isolasi Pada Transformator Daya Berbasis Kandungan Gas Terlarut,” *Sainstech J. Penelit. dan Pengkaj. Sains dan Teknol.*, vol. 22, no. 1, pp. 41–54, 2020, doi: 10.37277/stch.v22i1.577.
- [6] M. . Akbar, “Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator Daya 11Kva Menggunakan Metode Dga Dan Breakdown Voltage Pada Gardu Kilang Pertamina Ru-Ii Dumai,” *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2018.
- [7] M. M. Elbagir and K. H. Bilal, “LTE Radio Planning Using Atoll Radio Planning and Optimization Software,” *Int. J. Sci. Res.*, vol. 3, no. 10, pp. 1460–1464, 2014.
- [8] A. Mahardika, B. Winardi, and A. Syakur, “Perbaikan Parameter Dielektrik (Tegangan Tembus, $\tan \Delta$, Resistivitas Dan Water Content) Minyak Isolasi Transformator Dengan Metode Purifikasi (Boiling) Pada Suhu 26°C-100°C,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 6, pp. 186–187, 2017.
- [9] D. Nugroho, “Kegagalan Isolasi Minyak Trafo,” vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2010.
- [10] D. Supriyanto, A. Syakur, and A. Nugroho, “Analisis Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Trafo Sebelum Dan Sesudah Di Purifikasi Dengan Fenol,” *Dipenogoro Univ.*, pp. 1–3, 2016.
- [11] T. Koerniawan and T. R. Utami, “Pengaruh Zat Aditif Fenol dalam Memperbaiki Nilai Tegangan Tembus (Breakdown Voltage) Minyak

- Transformator Terkontaminasi,” *Pros. Sains Nas. dan Teknol.*, vol. 12, no. 1, p. 619, 2022, doi: 10.36499/psnst.v12i1.7262.
- [12] F. Pramudya, Fauzan, and Subhan, “Studi Proses Purifikasi Dan Rekonsiliasi Minyak Transformator Dengan Penambahan Senyawa Fenol Pada Pt. Pln (Persero) Upt Banda Aceh Uip3B Sumatera,” *J. Tektro*, vol. 05, no. 02, pp. 183–190, 2021.
- [13] A. wahyu ramadhan, “kinerja dielektrik minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol sebagai alternatif isolasi cair transformator daya,” pp. 1–45, 2019.
- [14] R. Alamsyah, M. Isyanti, and Peri, “mempelajari pengaruh penambahan butylated hydroxtoulene (BHT) terhadap mutu minyak jarak kasar hasil ekstraksi, degumming dan pemucatan,” *War. IHP/J. agro-based Ind.*, vol. 24, no. 2, pp. 23–31, 2007.
- [15] PT PLN (Persero), *Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*, vol. 53, no. 9. jakarta: PT PLN (Persero), 2014.
- [16] Y. Pasereng Tondok, L. S. Patras, and F. Lisi, “Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 8, no. 2, pp. 83–92, 2019.
- [17] H. Hermawan, “Studi Pengaruh Penuaan (Aging) Terhadap Laju Degradasi,” no. January, 2016.
- [18] PT PLN (Persero) P3B, “Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga,” *Demogr. Res.*, vol. 49, no. 0, pp. 1-33 : 29 pag texts + end notes, appendix, referen, 2003.
- [19] W. Conshohocken, “Standard Practice for Sampling Insulating Liquids for Gas Analysis and Determination of Water Content 1,” *Astm*, vol. 10, no. September, pp. 7–10, 1998.
- [20] R. Mackiewicz, “IEC Standards Status,” p. 35, 2012.
- [21] F. adi lestari, “Studi isolasi minyak randu dengan penambahan fenol pada medan listrik homogen dan non homogen,” 2015.
- [22] B. A. Nugroho and Syahrawadi, “Pengaruh Persentase Fenol Terhadap Kekuatan Dielektrik Minyak Jagung,” *Singuda Ensikom*, vol. 1, no. 2, pp. 35–40, 2013.

- [23] F. H. Krueger, *Industrial High Voltage*, vol. 01. Netherland: Delft University Press, 1992.
- [24] M. Abdillah, H. Qonit, and R. Indiarso, "A Review of Soybean Oil Lipid Oxidation and Its Prevention Techniques," *Artic. Int. J. Adv. Sci. Technol.*, vol. 29, no. 6, pp. 5030–5037, 2020.
- [25] M. Karthik, M. W. Iruthayarajan, and M. Bakruthen, "Investigation of vegetable oil blended with antioxidant," in *2015 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)*, Mar. 2015, pp. 1–7. doi: 10.1109/ICECCT.2015.7225935.
- [26] T. D. Ningsih, R. Farida, and R. A. Nugrahani, "Pengaruh Blending Minyak Nabati Pada Pelumas Dari Minyak Mineral Terhadap Stabilitas Oksidasi Dan Ketahanan Korosi," *J. Konversi*, vol. 6, no. 1, p. 7, 2017, doi: 10.24853/konversi.6.1.7-12.
- [27] I. Ramdhani, "Investigasi Karakteristik Tegangan Tembus Pada Minyak Kedelai Dengan Penambahan Antioksidan Butylated Hydroxytoulene Sebagai Alternatif Minyak Isolasi Transformator," 2022.
- [28] A. I. Pratiwi, K. Nurkamiden, and E. Putra, "Pengaruh Penambahan Fenol Terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator," vol. 8, pp. 77–81, 2020.
- [29] E. Nanlohy, "Analisa Total Bakteri Pada Ikan Tuna Asap Yang Direndam Dengan Asap Cair 'Waa Sagu' Selama Penyimpanan Pada Suhu Kamar," *BIOPENDIX J. Biol. Pendidik. dan Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 43–48, 2014, doi: 10.30598/biopendixvoll1issue1page43-48.