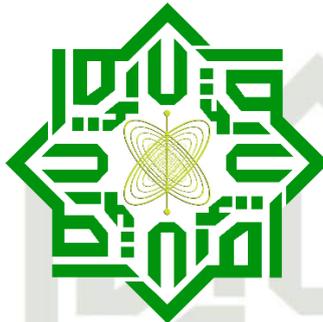




# PENGARUH PENAMBAHAN BENTONIT TERHADAP VISKOSITAS DAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRANSFORMATOR TERKONTAMINASI

## TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



UIN SUSKA RIAU

Oleh :

**WINDY MEITESA**  
**12050523181**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU**

**PEKANBARU**

**2024**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## LEMBAR PERSETUJUAN

### PENGARUH PENAMBAHAN BENTONIT TERHADAP VISKOSITAS DAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRANSFORMATOR TERKONTAMINASI

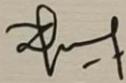
#### TUGAS AKHIR

oleh:

WINDY MEITESA  
12050523181

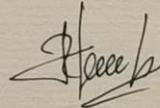
Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro  
di Pekanbaru, pada tanggal 20 Juni 2024

Ketua Prodi Teknik Elektro



Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.  
NIP. 19721021 200604 2 001

Pembimbing



Dr. Liliana, S.T., M.Eng.  
NIP. 19781012 200312 2 004

### LEMBAR PENGESAHAN

### PENGARUH PENAMBAHAN BENTONIT TERHADAP VISKOSITAS DAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRANSFORMATOR TERKONTAMINASI

#### TUGAS AKHIR

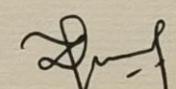
oleh:

**WINDY MEITESA**  
**12050523181**

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
di Pekanbaru, pada tanggal 20 Juni 2024

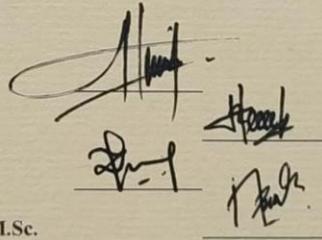
Pekanbaru, 20 Juni 2024  
Mengesahkan,

  
Ketua Fakultas Sains dan Teknologi  
  
**Dr. Hartono, M.Pd.**  
NIP. 19640301 199203 1 003

Ketua Prodi Teknik Elektro  
  
**Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.**  
NIP. 19721021 200604 2 001

#### DEWAN PENGUJI :

- Ketua : Ahmad Faizal, S.T., M.T.
- Sekretaris : Dr. Liliana, S.T., M.Eng.
- Anggota 1 : Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.
- Anggota 2 : Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc.





## LEMBAR ATAS HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL

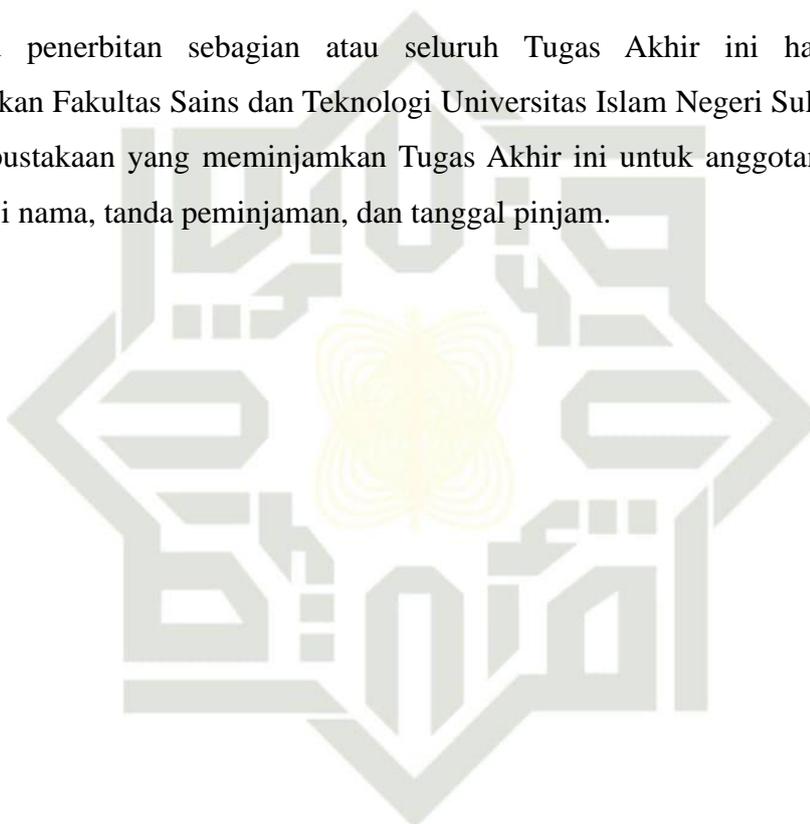
Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggunaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus mendapat izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman, dan tanggal pinjam.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperjualbelikan karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



UIN SUSKA RIAU

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Windy Meitesa  
NIM : 12050523181  
Tempat/Tgl. Lahir : Air Cama/20 Mei 2002  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Prodi : Teknik Elektro  
Judul Artikel :

**Pengaruh Penambahan Bentonit Terhadap Viskositas dan Tegangan Tembus Minyak  
Transformator Terkontaminasi**

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Penulisan artikel jurnal dengan judul sebagaimana tersebut diatas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu artikel jurnal saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat.
4. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan artikel jurnal saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

Pekanbaru, 27 Juni 2024

Yang membuat pernyataan



Windy Meitesa  
NIM. 12050523181



VOLT

Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro

Journal homepage: [jurnal.untirta.ac.id/index.php/VOLT](http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/VOLT)

Vol x, No. x, Oktober 2024, xx-xx



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumbernya.  
2. Dilarang menggunakan gambar dan mempublikasi sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumbernya.  
3. Dilarang menyalin, menduplikasi, atau mengunggah sebagian atau seluruh karya tulis ini ke platform digital tanpa izin dari penulis.  
4. Dilarang menjual atau menyewakan sebagian atau seluruh karya tulis ini kepada pihak lain tanpa izin dari penulis.  
5. Dilarang menggunakan sebagian atau seluruh karya tulis ini untuk tujuan komersial tanpa izin dari penulis.  
6. Dilarang menggunakan sebagian atau seluruh karya tulis ini untuk tujuan politik tanpa izin dari penulis.  
7. Dilarang menggunakan sebagian atau seluruh karya tulis ini untuk tujuan agama tanpa izin dari penulis.  
8. Dilarang menggunakan sebagian atau seluruh karya tulis ini untuk tujuan pendidikan tanpa izin dari penulis.  
9. Dilarang menggunakan sebagian atau seluruh karya tulis ini untuk tujuan penelitian tanpa izin dari penulis.  
10. Dilarang menggunakan sebagian atau seluruh karya tulis ini untuk tujuan lain tanpa izin dari penulis.

© Hak cipta milik Sarif Kasim Riau

### PENGARUH PENAMBAHAN BENTONIT TERHADAP VISKOSITAS DAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRANSFORMATOR TERKONTAMINASI

Windy Meitesa<sup>\*1</sup>, Liliana<sup>1</sup>, Zulfatri Aini<sup>1</sup>, Nanda Putri Miefthawati<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Jl. HR. Soebrantas km. 15, Pekanbaru, 28293, Indonesia  
E-mail: [12050523181@students.uin-suska.ac.id](mailto:12050523181@students.uin-suska.ac.id)

Diterima: xx bulan xxxx. Disetujui: xx bulan xxxx. Dipublikasikan: bulan xxxx

#### Abstrak

Kontaminasi berupa air hujan yang berpotensi memasuki celah transformator menyebabkan pemburukan pada minyak transformator. Salah satu zat aditif yang mampu menyerap kadar air ialah bentonit. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan viskositas dan tegangan tembus minyak transformator yang telah terkontaminasi air hujan dengan menggunakan bentonit. Pengukuran viskositas dan nilai tegangan tembus dilakukan pada tiga sampel minyak transformator, yaitu minyak transformator terkontaminasi tanpa penambahan bentonit, minyak transformator terkontaminasi dengan penambahan bentonit rasio 4%, dan minyak transformator terkontaminasi dengan penambahan bentonit rasio 6%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus dan viskositas yang sesuai standar hanya ditemukan pada minyak transformator terkontaminasi dengan penambahan bentonit rasio 6%. Sedangkan pada minyak transformator terkontaminasi dengan penambahan bentonit rasio 4% hanya memenuhi standar nilai tegangan tembus dan pada minyak transformator terkontaminasi tanpa penambahan bentonit tidak memenuhi kedua standar tersebut.

© 2024 Departement of Electrical Engineering Vocational Education, FKIP UNTIRTA

**Kata Kunci:** Bentonit, Minyak Transformator, Tegangan Tembus, Viskositas.



## PENDAHULUAN

Transformator adalah peralatan tegangan yang berperan dalam menyalurkan energi listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian lainnya dengan cara mengubah tegangan rendah ke tegangan tinggi maupun dari tegangan tinggi ke tegangan rendah tanpa mengubah frekuensi. Thahari et al., 2020; Wibowo et al., 2018). Transformator adalah peralatan yang krusial dalam proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen. Oleh karena itu, diharapkan bahwa suatu transformator memiliki kemampuan untuk beroperasi secara kontinuitas dengan aman. Pemburuan hingga kegagalan operasi berpotensi menjadi penyebab dari gagal operasi hingga rusaknya transformator (Ondrad et al., 2020).

Pengoperasian transformator secara terus menerus mengakibatkan transformator menjadi salah satu peralatan tenaga listrik yang paling sering mengalami gangguan. Sistem isolasi merupakan bagian terpenting dalam transformator yang berperan dalam memisahkan bagian yang bertegangan dan tidak bertegangan (Siburian et al., 2021). Salah satu isolasi yang digunakan pada transformator ialah minyak isolasi. Minyak isolasi berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi antar penghantarnya (Furqan & Suwarno, 2023). Minyak transformator dikatakan bagus apabila tegangan tembus dan viskositasnya memenuhi standarisasi. Sesuai standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982 suatu minyak transformator sebagai bahan isolasinya harus memiliki tegangan tembus minimal 40kV/25mm untuk transformator yang beroperasi dengan tegangan 70-170 kV (Meliansyah & Ariwibowo, 2020). Menurut standar IEC 60296-2003, minyak transformator yang

baik memiliki nilai viskositas maksimal 12 cSt (Jumardin et al., 2019). Oleh karena itu, menurunnya kemampuan minyak transformator dalam menahan tegangan tembus dan meningkatnya viskositas akan berdampak terhadap kegagalan isolasi.

Penurunan tegangan tembus pada minyak transformator dapat disebabkan oleh beberapa hal. Minyak transformator yang kotor atau terkontaminasi oleh partikel lain dapat menyebabkan kegagalan isolasi minyak (Christiono et al., 2022). Kontaminan dalam minyak transformator umumnya berupa uap air, asam, partikel logam (tembaga, besi, dan aluminium) dari belitan dan tubuh transformator serta partikel non logam (terutama karbon dan serat selulosa) yang bercampur dengan minyak selama pengoperasian transformator (Mehmood et al., 2020). Kontaminan cair yang terkandung dalam minyak transformator disebabkan oleh faktor internal hingga faktor eksternal. Contohnya yaitu ketika terjadi hujan maka air hujan dapat masuk ke dalam transformator dan apabila temperatur di dalam transformator lebih tinggi dibandingkan temperatur pada lingkungan sekitar maka akan menyebabkan terbentuknya uap air (Roza et al., 2019). Kualitas isolasi minyak transformator sangat dipengaruhi oleh tingkat air yang ada di dalamnya (Christiono et al., 2022). Selain itu, pembebanan yang tinggi pada transformator juga dapat menyebabkan kegagalan isolasi (Jahidi et al., 2020).

Terdapat berbagai zat yang dapat meningkatkan nilai tegangan tembus, yakni menggunakan bentonit teraktivasi, arang aktif, hingga fenol (Nasrat et al., 2011), (Jahidi et al., 2020), (Pratiwi & Asri, 2022), (Koerniawan & Utami, 2022). Pada penelitian dengan menambahkan bentonit teraktivasi pada minyak transformator dilakukan perbandingan nilai tegangan tembus yang dihasilkan ketika melakukan

pemurnian dengan menggunakan purifier dan ketika melakukan pemurnian dengan menambahkan bentonit. Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan tegangan tembus dengan menambahkan bentonit lebih tinggi dibandingkan dengan melakukan pemurnian menggunakan purifier. Peningkatan tegangan tembus yang terjadi yaitu dari 22 kV menjadi 68 kV atau terdapat peningkatan sebesar 309% dari nilai semula (Nasrat et al., 2011). Penambahan bentonit pada minyak transformator menghasilkan peningkatan nilai tegangan tembus paling tinggi dibandingkan dengan penambahan arang aktif dan fenol.

Pada penelitian ini ditawarkan solusi untuk meningkatkan nilai tegangan tembus minyak transformator dengan menambahkan bentonit. Bentonit ialah padatan yang berpori dengan kemampuannya yang tinggi sebagai adsorben (Saputro et al., 2023). Bentonit dipilih karena memiliki sifat yang memungkinkannya menyerap air dalam volume yang besar (Annisah et al., 2024). Selain itu, bentonit juga dipilih karena dari segi ekonomi memiliki biaya yang rendah serta banyak terdapat di alam (Amaliah Azis et al., 2023). Pada penelitian ini ditambahkan kontaminan berupa air hujan sebanyak 20 ml untuk menganalisis kemampuan bentonit dalam meningkatkan tegangan tembus minyak transformator yang telah terkontaminasi. Pada penelitian ini diberi perlakuan kepada 3 sampel minyak transformator dengan masing-masing volume sampel sebanyak 500 ml.

## METODE

Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Garuda Sakti dan Laboratorium Pendidikan Kimia Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Sampel Penelitian diperoleh dari transformator daya unit 1 yang terdapat pada

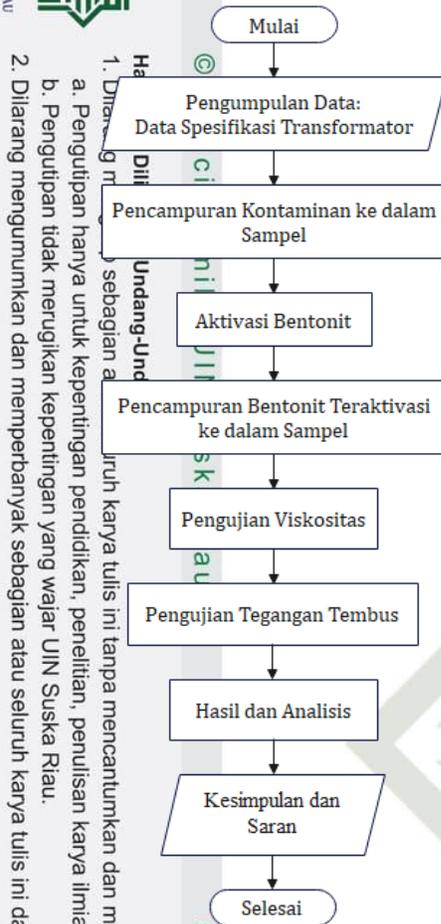
PT. PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Tenayan 2 x 110 MW yang beralamatkan di Jl. Abdul Rahman Hamid No. 1, Kelurahan Industri Tenayan, Kecamatan Tenayan Raya, Kota Pekanbaru, Provinsi Riau. Berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari PT. PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Tenayan 2 x 110 MW terjadi penurunan kemampuan isolasi dalam menahan tegangan tembus dari nilai sebesar 59 kV pada 17 Mai 2019 menjadi 58 kV pada 20 November 2019. Selain itu, juga terjadi penurunan dari nilai sebesar 58,2 kV pada 23 Juni 2020 menjadi 56,9 kV pada 23 November 2020 (PT PJB UBJOM TENAYAN, 2022). Penelitian ini dilakukan pada periode Desember 2023 hingga Januari 2024.

Penelitian ini diklasifikasikan sebagai penelitian kuantitatif yang menggunakan metode deskriptif. Data primer berupa hasil pengukuran yang diperoleh dari lokasi penelitian. Sedangkan data sekunder merupakan data yang diperoleh dari lokasi tempat pengambilan sampel penelitian. Data sekunder yang dibutuhkan berupa spesifikasi transformator daya unit 1 pada PT. PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Tenayan 2 x 110 MW.

Tabel 1. Spesifikasi Transformator Daya Unit 1

Unit ID	GT 1
Serial	Number 20120256
Rating	125 MVA
Voltage	150/13.8 Kv
Oil Volume	28.4 T
Manufacture	Chong Qing
Year (Age)	2012 (11)
Oil Brand	-
Sample Point	BMT
Oil Temperature °C	45 C

(Sumber data: PT. PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Tenayan 2 x 110 MW)



Gambar 1. Flowchart Penelitian.

### Pencampuran Kontaminan ke dalam Sampel

1. Persiapan Kontaminan  
Kontaminan yang ditambahkan berupa air hujan dengan volume 20 ml. Volume air akan diukur dengan menggunakan *beaker glass*. Kontaminan tersebut ditambahkan ke dalam ketiga sampel yang akan diuji.

2. Penambahan kontaminan air  
Kontaminan air sebanyak 20 ml ditambahkan ke dalam sampel minyak transformator 500 ml kemudian diaduk selama 3 jam menggunakan *magnetic stirrer*.

### Aktivasi Bentonit

Karakteristik yang dimiliki bentonit menjadikannya cocok untuk digunakan sebagai adsorben. Akan tetapi, apabila bentonit tidak melewati proses modifikasi maka hasil yang

diperoleh kurang maksimal ketika digunakan sebagai adsorben. Dari sifat mineralogi, bentonit memiliki permukaan yang luas sehingga mampu menukar ion dan memiliki kemampuan untuk melakukan adsorpsi (Amaliah Azis et al., 2023). Pada umumnya, bentonit diaktivasi agar luas permukaan serta kemampuannya sebagai adsorben mengalami peningkatan (Darmadinata et al., 2019). Karakteristik maupun kualitas bentonit yang terdapat di alam berbeda-beda sehingga diperlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum bentonit digunakan (Amaliah Azis et al., 2023).

Kemampuan bentonit sebagai adsorben dapat ditingkatkan dengan aktivasi fisik dan kimia. Secara kimia biasanya aktivasi dilakukan dengan senyawa asam seperti HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan HNO<sub>3</sub>. Penggunaan senyawa asam dalam aktivasi bentonit dapat memperbanyak gugus aktif serta meningkatkan keasaman permukaan sehingga menghasilkan bentonit dengan kapasitas adsorpsi yang makin besar. Bentonit yang teraktivasi dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dan pertukaran ion yang tinggi (Annisah et al., 2021).

### Alat dan Bahan Aktivasi Bentonit

Bahan yang digunakan pada penelitian ini untuk melakukan aktivasi bentonit antara lain (Amaliah Azis et al., 2023):

1. Aquadest,
2. Asam Klorida (HCl) 1 N, dan
3. Bentonit (100 gram)

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu (Amaliah Azis et al., 2023):

1. Neraca Digital,
2. Kertas pH,
3. Ayakan,
4. Oven elektrik,
5. *Magnetic stirrer*,
6. *Beaker glass*,
7. *Hot plate*,
8. Kertas Saring, dan
9. Desikator.

### Prosedur Aktivasi Bentonit

Adapun prosedur dalam melakukan aktivasi bentonit antara lain (Amaliah Azis et al., 2023):

1. Bentonit dengan berat 100 gram yang sudah disiapkan akan disaring menggunakan ayakan terlebih dahulu.



Gambar 2. Penyaringan bentonit.

2. Bentonit yang telah melewati proses penyaringan dengan ayakan kemudian dituangkan ke dalam bejana asam klorida (HCl) 1 N sebanyak 450 ml.



Gambar 3. Proses penambahan HCl.

3. Campuran bentonit dan HCl diaduk selama 3 jam.



Gambar 4. Proses pengadukan campuran bentonit dengan HCl.

4. Pada pH 3-4, bentonit dipisahkan dari filtratnya.



Gambar 5. Proses pemisahan bentonit dari filtrat

5. Bentonit dicuci dengan aquades panas hingga pH netral.
6. Setelah itu, bentonit dikeringkan di dalam oven elektrik pada suhu 110°C dengan waktu 2 jam.
7. Bentonit kemudian didinginkan di dalam desikator.

### Pencampuran Bentonit Teraktivasi ke dalam Sampel

#### 1. Persiapan bentonit

Sebelum bentonit ditambahkan pada sampel minyak transformator maka bentonit yang telah diaktivasi disaring kembali dengan menggunakan ayakan terlebih dahulu. Penyaringan dengan ayakan bertujuan agar besar serbuk bentonit yang akan digunakan pada penelitian sama rata.

#### 2. Penambahan Bentonit

Penambahan bentonit diberikan pada 2 sampel minyak transformator dengan variasi yang berbeda. Adapun variasi penambahan bentonit yaitu dengan rasio 4% dan 6%. Bentonit yang ditambahkan pada sampel dan diaduk selama 3 jam menggunakan stirrer.

Untuk menentukan berat variasi rasio bentonit yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Berat Bentonit (gr)} = \text{Rasio Bentonit (\%)} \times \text{Berat Sampel Minyak Trafo (gr)} \quad (1)$$

#### 3. Penyaringan Bentonit

Bentonit yang telah ditambahkan dan dicampurkan ke dalam minyak trafo akan disaring kembali menggunakan kertas saring untuk memisahkan minyak transformator dengan bentonit.

## Pengujian Viskositas Minyak Transformator

Pengujian viskositas dilakukan dengan menggunakan viskometer ostwald. Sebelum sampel minyak diuji viskositasnya dengan alat tersebut sampel perlu dipanaskan pada suhu 40 terlebih dahulu menggunakan oven elektrik. Sampel minyak yang telah melewati proses pemanasan diukur massa jenisnya menggunakan piknometer terlebih dahulu dengan menggunakan rumus (Koerniawan & Utami, 2022):

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V} \quad (2)$$

Keterangan:

- $\rho$  = massa jenis minyak (gr/ml)
- $m_1$  = massa piknometer tanpa minyak (gr)
- $m_2$  = massa piknometer dengan minyak (gr)
- $V$  = volume minyak pada piknometer (ml)

Setelah mendapatkan massa jenis dari sampel yang ingin diuji maka langkah selanjutnya adalah memasukkan sampel minyak ke dalam tabung viskometer ostwald hingga melebihi batas bawah. Lalu, volume minyak diatur hingga setengah bola dan sampai batas atas. Selanjutnya, catat waktu yang diperlukan sampel untuk mengalir dari batas atas menuju batas bawah. Rumus viskositas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\mu_{\text{sampel}} = \frac{t_{\text{sampel}} \times \rho_{\text{sampel}}}{t_{\text{air}} \times \rho_{\text{air}}} \mu_{\text{air}} \quad (3)$$

Keterangan:

- $\mu_{\text{sampel}}$  = viskositas dinamis (Cp)
- $t_{\text{sampel}}$  = waktu yang dibutuhkan minyak untuk mengalir (s)
- $\rho_{\text{sampel}}$  = massa jenis sampel minyak (g/ml)
- $\mu_{\text{water}}$  = viskositas air (0,899 cP)
- $t_{\text{water}}$  = waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir (s)
- $\rho_{\text{water}}$  = massa jenis air (1,00gr/ml)

$$vk = \frac{\mu_{\text{sampel}}}{\rho_{\text{sampel}}} \quad (4)$$

Keterangan:

- $vk$  = viskositas kinematik (cSt)
- $\mu_{\text{sample}}$  = viskositas dinamis sampel (cP)
- $\rho_{\text{sample}}$  = massa jenis sampel minyak (gr/ml)

## Pengujian Tegangan Tembus

Adapun prosedur pengujian tegangan tembus minyak transformator antara lain (Djafar et al., 2023):

1. Persiapan alat uji tegangan tembus  
Alat uji tegangan tembus yang digunakan adalah *breakdown voltage test megger*. Pada transformator daya unit 1 PT. PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Tenayan jenis minyak isolasi yang digunakan adalah minyak mineral. Standar pengujian tegangan tembus jenis minyak mineral yang digunakan adalah standar IEC 60156. Pada alat ini terdapat komponen berupa dua buah elektroda setengah bola, magnetic stirrer atau pengaduk dan pengatur jarak sela elektroda.



Gambar 6. Breakdown voltage tester.



Gambar 7. Komponen breakdown voltage tester.

Komponen-komponen pada alat uji dibersihkan terlebih dahulu menggunakan tisu kering. Selanjutnya, mengatur jarak elektroda sebesar 2,5 mm.

2. Persiapan sampel minyak  
Menyiapkan sampel minyak transformator sebanyak 400 ml di dalam botol kaca. Sampel yang diambil sebanyak 3 sampel. Sampel dikocok berulang kali pada bejana alat uji

kemudian sampel dikeluarkan dari bejana. Sampel yang baru dituangkan kembali ke dalam bejana alat uji.

3. Pengujian tegangan tembus  
Tegangan diberikan pada elektroda untuk pengujian dengan kenaikan konstan (konstan) mulai dari 1 V hingga sekitar 2,0 kV/dt ( $\pm 0,2$  kV/dt) hingga terdapat tegangan tembus. Pengujian dilakukan enam kali dengan jeda dua menit.

4. Pencatatan data  
Hasil pengujian sebanyak 6 kali dicatat dan dijumlahkan nilai rata-ratanya.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Variasi Massa Bentonit

Berat masing-masing sampel minyak transformator yang digunakan adalah 400 gr. Pada penelitian yang dilakukan, massa bentonit diberikan variasi. Adapun variasi massa bentonit tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

Tabel 2. Variasi Massa Bentonit

Rasio Bentonit	Massa Bentonit
4%	16 gr
6%	24 gr

Variasi massa bentonit dilakukan untuk mengetahui pengaruh massa bentonit yang ditambahkan untuk menghasilkan nilai tegangan tembus serta viskositas yang memenuhi standar Sapi. Pada penelitian (Yulanda et al., 2018) menunjukkan bahwa dengan melakukan penambahan massa bentonit yang semakin tinggi mampu menyerap kadar air yang semakin tinggi pula.

#### Rasio Bahan setelah Pencampuran

Adapun rasio bahan pada masing-masing sampel setelah dilakukan pencampuran ditunjukkan pada Tabel 3. berikut.

Tabel 3. Rasio Bahan setelah Pencampuran

Sampel	Massa Bentonit	Volume Minyak Transformator
Campuran tanpa bentonit	0 gr	500 ml
Campuran dengan bentonit 4%	16 gr	500 ml
Campuran dengan bentonit 6%	24 gr	500 ml

#### Viskositas Minyak Transformator

Nilai viskositas minyak trafo diperoleh dengan melakukan pengukuran massa piknometer tanpa minyak (m1) dan massa piknometer dengan minyak (m2) terlebih dahulu. Berikut hasil m1 dan m2 yang diperoleh pada setiap sampel:

Tabel 4. Hasil pengukuran m1 and m2

Massa (gr)	Bentonit 4%	Bentonit 6%	Tanpa Bentonit
m1	55,22 gr	55,22 gr	55,22 gr
m2	134,61 gr	134,85 gr	134,49 gr

Tabel 4. menunjukkan bahwa massa piknometer dengan minyak (m2) semakin meningkat ketika diberikan penambahan bentonit dengan rasio yang semakin tinggi. Sedangkan massa piknometer dengan minyak (m2) pada sampel yang tidak diberi penambahan bentonit memiliki nilai terendah. Hal ini dapat disebabkan oleh kandungan kontaminan air yang tinggi dengan penambahan massa bentonit yang rendah mengakibatkan kontaminan air tersebut tidak dapat diserap seluruhnya oleh bentonit. Hal ini sesuai dengan penelitian (Widyastuti et al., 2018), yakni semakin tinggi massa piknometer dengan minyak (m2), maka kadar air yang terkandung semakin rendah.

Setelah mendapatkan massa piknometer tanpa minyak (m1) dan massa piknometer dengan minyak (m2), maka langkah selanjutnya yakni menghitung massa jenis. Massa jenis yang diperoleh dengan melakukan perhitungan menggunakan menggunakan persamaan (2) yakni:

Tabel 5. Hasil Perhitungan Massa Jenis Sampel



Massa Jenis (gr/ml)	Bentonit 4%	Bentonit 6%	Tanpa Bentonit
	0,7939	0,7963	0,7927

Hasil perhitungan massa jenis sampel pada Tabel 6. menunjukkan bahwa massa jenis tertinggi terdapat pada minyak transformator terkontaminasi yang diberi penambahan bentonit dengan rasio 6%. Dari tabel tersebut juga dapat disimpulkan bahwa minyak transformator terkontaminasi yang diberi penambahan bentonit dengan rasio yang semakin tinggi akan menghasilkan nilai massa jenis yang juga semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian (Koerniawan & Utami, 2022), di mana semakin banyak volume zat aditif yang ditambahkan ke dalam minyak transformator akan menghasilkan massa jenis yang juga semakin tinggi.

Setelah memperoleh massa jenis dari masing-masing sampel, maka langkah selanjutnya yakni menghitung waktu yang dibutuhkan minyak untuk mengalir ( $t_{\text{sampel}}$ ) dan waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir ( $t_{\text{air}}$ ).

Tabel 6. Hasil Pengukuran  $t_{\text{sampel}}$  dan  $t_{\text{air}}$

Waktu (s)	Bentonit 4%	Bentonit 6%	Tanpa Bentonit
$t_{\text{sampel}}$	67,76 s	65,42 s	71,54 s
$t_{\text{air}}$	4,93 s	4,93 s	4,93 s

Tabel 6. menunjukkan hasil bahwa penambahan bentonit pada sampel memberikan pengaruh terhadap waktu yang dibutuhkan minyak untuk mengalir dari batas atas ke batas bawah pada viskosimeter ostwald. Penambahan bentonit dengan rasio yang semakin tinggi menghasilkan durasi waktu yang lebih singkat yang dibutuhkan oleh minyak untuk mengalir.

Tahap terakhir dalam memperoleh viskositas dari sampel yaitu melakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (4).

Tabel 7. Hasil Perhitungan Viskositas Kinematik

Bentonit 4%	Bentonit 6%	Tanpa Bentonit
12,36 cSt	11,93 cSt	13,05 cSt

Viskositas Kinematik (cSt)	12,36 cSt	11,93 cSt	13,05 cSt

Berdasarkan Tabel 7. diketahui bahwa nilai viskositas paling rendah terdapat pada minyak transformator terkontaminasi yang diberi penambahan bentonit dengan rasio 6%. Sedangkan nilai viskositas tertinggi berada pada minyak transformator terkontaminasi yang tidak diberi penambahan bentonit. Viskositas ialah ukuran kekentalan minyak. Viskositas minyak transformator diharapkan bernilai rendah agar dapat melakukan sirkulasi secara optimal dalam melaksanakan tugasnya sebagai pendingin (Hastuningtyas dan Respatiningsih, 2015). Menurut standar IEC 60296-2003, minyak transformator yang baik memiliki nilai viskositas maksimal 12 cSt (Jumardin et al., 2019). Dari pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa hanya viskositas minyak transformator terkontaminasi yang diberi penambahan bentonit dengan rasio 6% yang memenuhi standarisasi. Sedangkan untuk viskositas minyak transformator terkontaminasi yang diberi penambahan bentonit dengan rasio 4% dan viskositas minyak transformator terkontaminasi yang tidak diberi penambahan bentonit tidak memenuhi standarisasi. Hal ini dapat disebabkan karena kemampuan bentonit yang mampu menyerap air dalam volume yang besar sehingga kontaminasi pada sampel yang ditambahkan bentonit dapat terserap dan menurunkan nilai viskositasnya (Annisah et al., 2021). Minyak dapat menghantarkan panas dengan baik apabila memiliki viskositas yang rendah (Seniari et al., 2021). Viskositas yang lebih tinggi menghasilkan laju dan kecepatan aliran yang berkurang (Indarto et al., 2023). Viskositas yang tinggi menandakan terdapatnya kontaminan dalam jumlah yang tinggi pula. Hal ini sesuai dengan penelitian (Maulida & Rani, 2010) dimana semakin banyak kontaminan yang ditambahkan ke dalam minyak maka viskositasnya semakin tinggi.

### Tegangan Tembus

Berdasarkan pengujian tegangan tembus yang dilakukan, hasil tegangan tembus



pada ketiga sampel ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 8. Tegangan Tembus Minyak Transformator

Hak Sampel	Tegangan Tembus
Minyak Trafo Terkontaminasi dengan penambahan Bentonit 4%	57.4 kV/2.5 mm
Minyak Trafo Terkontaminasi dengan penambahan Bentonit 6%	62.1 kV/2.5 mm
Minyak Trafo Terkontaminasi dengan penambahan Bentonit	38.5 kV/2.5 mm

Berdasarkan Tabel 8. diketahui bahwa nilai tegangan tembus tertinggi diperoleh pada minyak trafo terkontaminasi dengan penambahan bentonit 6%. Tegangan tembus ialah besarnya tegangan yang mampu ditahan oleh minyak transformator (Wijaya et al., 2021). Standarisasi tegangan tembus minyak trafo untuk transformator dengan tegangan operasi 70 kV-170 kV menurut SPLN 49-1:1982 yakni 40 kV/2,5 mm (Meliansyah & Ardowo, 2022). Rendahnya tegangan tembus mengindikasikan terdapatnya gangguan pada minyak transformator sehingga perlu dilakukan perawatan lebih lanjut maupun penggantian dengan minyak yang baru (Mubarak, 2022). Nilai tegangan tembus minyak trafo terkontaminasi tanpa penambahan bentonit tidak memenuhi standarisasi. Tabel 8. juga menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio penambahan bentonit yang ditambahkan maka nilai tegangan tembus juga semakin meningkat. Sedangkan untuk minyak trafo terkontaminasi tanpa penambahan bentonit memiliki nilai tegangan tembus yang paling rendah. Hal ini dapat disebabkan karena terdapatnya kadar air yang tidak diserap oleh bentonit pada minyak trafo terkontaminasi tanpa penambahan bentonit. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin tinggi kadar air yang terkandung dalam

bentonit maka akan semakin rendah nilai tegangan tembusnya (Nirmalasari et al., 2022). Hasil yang ditemukan mengkonfirmasi penelitian (Christiono et al., 2022) di mana adanya kandungan air yang semakin tinggi pada minyak transformator akan semakin menurunkan nilai tegangan tembusnya. Kandungan air yang terdapat pada minyak transformator menyebabkan adanya potensi terjadinya ionisasi yang berdampak pada kerusakan minyak transformator (Oksa Winanta et al., 2019).

### PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada ketiga sampel minyak transformator menunjukkan bahwa penambahan bentonit pada minyak transformator terkontaminasi memiliki pengaruh terhadap nilai viskositas dan tegangan tembus minyak transformator. Semakin tinggi rasio bentonit yang ditambahkan ke dalam minyak transformator maka nilai tegangan tembus juga akan semakin tinggi. Sedangkan nilai viskositas akan semakin rendah jika ditambahkan rasio bentonit yang tinggi. Dari ketiga sampel yang diuji, nilai viskositas dan nilai tegangan tembus yang memenuhi standarisasi yakni pada minyak transformator terkontaminasi dengan penambahan bentonit 6%. Sedangkan pada minyak transformator terkontaminasi dengan penambahan bentonit 4% hanya memenuhi standarisasi untuk nilai tegangan tembusnya. Pada minyak transformator terkontaminasi tanpa penambahan bentonit menghasilkan nilai viskositas maupun tegangan tembus yang tidak sesuai standar.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah peneliti lain diharapkan dapat melakukan pengembangan baik dari segi pemilihan bahan maupun proses aktivasi yang lebih baik agar nilai viskositas dan tegangan tembus minyak trafo yang terkontaminasi dapat sesuai dengan standarisasi yang berlaku.



## DAFTAR PUSTAKA

- Amari, A., Azis, H., Mustam, M., Ramdani, N., Amin, I. I., Sari, N., & Gregorius, G. (2023). Penggunaan Adsorben Bentonit pada Proses Pencucian Kering dalam Pemurnian Biodiesel Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 12(2), 108-115.
- Anisah, A., Bahar, Y., & Husni, A. (2021). Pemanfaatan Bentonit Bekas sebagai Adsorben pada Proses Penurunan Kadar FA dan Warna Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Kimia*, 27(1), 29-37.
- Christiono, Fikri, M., Damiri, D. J., Safariansyah, M. R., Pratiwi, S., & Hidayat, M. R. (2022). Pengaruh Kontaminan Air terhadap Pemanfaatan Bentonit sebagai Alternatif Adsorben Minyak Transformator. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*, 21(1), 42-51.
- Darmadanta, M., Jumaeri, & Sulistyansih, T. (2019). Indonesian Journal of Chemical Science Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi Asam Sulfat sebagai Adsorben Anion Fosfat dalam Air. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 8(1), 1-8.
- Djafar, A., Wijaya, B., Bolilio, M. R., Tolango, A. I., & Anali, I. M. K. (2023). Analisis Perbandingan Minyak Kemiri dan Minyak Zaitun sebagai Pengganti Minyak Transformator. *Jurnal Multidisiplin Indonesia*, 2(4), 836-843.
- Fugarada, R. & Suwarno. (2023). Analisa Minyak Isolasi Transformator Daya dengan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Purifikasi (Studi Pada PT . Perta Arun Gas Lhokseumawe). *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 23(2), 441-449.
- Hastuningsy, S. S. & Respatiningsih, C. Y. (2015). Karakteristik Fisika Kimia Formulasi Minyak Lumas Trafo Inhibited. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi Lemigas*, 49(1), 3-8.
- Indarto, A., Bohra, A., Wahyudi, S., & Dharmanto, A. (2023). Trafo daya menggunakan minyak isolasi yang dapat terurai secara biologis. *Hexatec Jurnal Ilmiah Teknik*, 2(2), 49-55.
- Indra, R., Nasution, A. A., & Setiawan, H. (2019). Analisis Umur Minyak terhadap Temperatur Transformator 150 kV Akibat Penurunan Tegangan Tembus pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) 2.1 PT PLN (PERSERO) Unit Pelaksana Pembangunan Belawan. *Journal of Electrical and System Control Engineering*, 3(1), 1-12.
- Jahidi, S., Pratiwi, A. I., & Frengky, E. P. S. (2020). Perbaikan Nilai Tegangan Tembus Minyak Isolasi Trafo Nynas Lybra dengan Purifikasi Menggunakan Arang Aktif Tongkol Jagung. *SANTEI: Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informasi*, 77-86.
- Jumardin, Ilham, J., & Salim, S. (2019). Studi Karakteristik Minyak Nilam Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 1(2), 40-48.
- Koerniawan, T. & Utami, T., R. Pengaruh Zat Aditif dalam Memperbaiki Nilai Tegangan Tembus (Breakdown Voltage) Minyak Transformator Terkontaminasi. (2022). *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 12(1), 619-624.
- Maulida, R. H., & Rani, E. (2010). Analisis Karakteristik Pengaruh Suhu dan Kontaminan Terhadap Viskositas Oli Menggunakan Rotary Viscometer. *Jurnal Neutrino*, 3(1), 18-31.
- Mehmood, M. A., Nazir, M. T., Li, J., Wang, F., & Azam, M. M. (2020). Comprehensive Investigation on Service Aged Power Transformer Insulating Oil After Decades of Effective Performance in Field. *Arabian Journal for Science and Engineering*.

- UIN SUSKA RIAU
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- Meliansyah, P., & Aribowo, D. (2022). Uji Tegangan Tembus Minyak On Load Tap Changer di Gardu Induk 150 kV Rangka Baru. *Ocean Engineering: Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*, 1(4), 01-14.
- Mubandak, H. K. (2022). Analisis Pengaruh Efisiensi (Filtering ) terhadap Kualitas Tegangan Tembus Minyak Transformator. *Jurnal Elektro dan Teknologi Informasi*, (2), 37.
- Narret, A., Abdelwahab, M., & Ismail, G. (2011). Improvement of Used Transformer Oils with Activated Bentonite. *Engineering*, 3, 88-93.
- Nirmalasari, Ariwinoto, D., Amali, M. K., & Otago, A. I. (2022). Pengaruh Viskositas dan Kadar Air Terhadap Breakdown Isolasi Minyak Transformator Shell Diala B. *Electrichsan*, 11(2), 47-52.
- Ondrakadi, R., Situmeang, U., & Zulfahri. (2020). Analisis Pengujian Kualitas Isolasi Transformator Daya di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang. *SainETIn*, 4(2), 72-81.
- PT PJB UNOM TENAYAN. (2022). *Transformer Oil Analysis Report*. PLTU TENAYAN.
- Pratiwi, A., & Asri, M. (2022). Efektivitas Arang Sekam Padi dalam Memperbaiki Tegangan Tembus Minyak Transformator Bekas. *Jurnal Teknologi Terpadu*, 10(1), 61-66.
- Saputro, E. A., Bobsaid, A. A., Hutabarat, M. C., Aryanti, D., & Panjaitan, R. (2023). Pengembangan metode pemurnian bioetanol dari berbagai jenis bahan baku : Kajian Pustaka Abstrak, 29(1), 19-28.
- Semiari, N. M., Citarsa, I. B. F., & Ningsih, A. (2021). Korelasi Antara Sifat Listrik Dengan Sifat Fisika Dan Sifat Kimia Dari Minyak Transformator. *Dielektrika*, 8(2), 118-125.
- Siburian, J., M., & Buulolo, J., T., M. (2021). Studi Analisis Ketahanan Isolasi pada Transformator di Gardu Induk Labuhan. *Jurnal Darma Agung*, 29(3), 499-510.
- Tohari, M., Sukoco, B., & Haddin, M. (2020). Analisis Kondisi Transformator Daya 20 kV/150 kV dengan Metode Uji Dissolved Gas Analysis (DGA) di PT. PJB PLTU Rembang. *Prosiding Konferensi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU)*, 337-344.
- Wibowo, K. N., Nugroho, A., Pertiwi, N. I., & Irawan, A. (2018). Analisis Efek Viskositas Terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator. *Jurnal Teknologia*, 1(1), 16-21.
- Widyastuti, C., Handayani, O., & Darmana, T. (2018). Pengaruh Kadar Air terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator Distribusi. *Jurnal Energi & Kelistrikan*. 10(2), 129-136.
- Wijaya, N., Setiawan, H., & Warindi, W. (2021). The Effect Of Storage Duration On Transformer Oil Breakdown Voltage. *Dielektrika*, 8(2), 88-94.
- Winanta, I. N. O., Amrita, A. A. N., & Ariastina, W. G. (2019). Studi Tegangan Tembus Minyak Transformator. *Jurnal SPEKTRUM*, 6(3), 10-18.
- Yulanda, A., Wahyuni, L., Safitri, R., Bakar, A., & Supardan, M. D. (2018). Pemanfaatan Bentonit sebagai Penyerap Air pada Proses Transesterifikasi Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, 10(2), 14-19.



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI  
**UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**

FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO

Alamat : Jl. Ciwaru Raya No. 25 Kota Serang Telp. (0254) 280330 Fax. (0254) 281254

**LETTER OF ACCEPTANCE (LOA)**

Nomor: 25377/VOLT/A/IV/2024

Dewan Redaksi VOLT : Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, dengan ini menerangkan bahwa:

Nama : Windy Meitesa, Liliana, Zulfatri Aini, Nanda Putri Miefthawati  
Institusi : UIN Sultan Syarif Kasim Riau  
e-mail : 12050523181@students.uin-suska.ac.id  
Judul Artikel : Effect of bentonite addition on viscosity and breakdown voltage of contaminated transformer oil

telah mengirimkan (*submit*) artikel tersebut ke VOLT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro. Berdasarkan hasil keputusan oleh tim editor dan *review* oleh reviewer jurnal VOLT, artikel tersebut dinyatakan DITERIMA (*accepted*) dan akan diterbitkan dalam:

Jurnal : VOLT : Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro  
Edisi : Volume 9 No. 2, Oktober 2024  
DOI : doi.org/10.30870/volt.v9i2.25377  
Indexing : DOAJ, EBSCO, Garuda, Sinta 3, Dimension, etc.  
Penerbit : Jurusan Pendidikan Vokasional Teknik Elektro FKIP, Untirta

Demikian surat keterangan ini dibuat dan dapat dipergunakan sebagaimana mestinya. Atas perhatiannya, kami mengucapkan terima kasih.

Ketua Dewan Redaksi  
VOLT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro



Mustofa Abi Hamid, M.Pd.T.  
NIP. 19910312 201803 1 001