

**ANALISIS TEGANGAN TEMBUS *CRUDE PALM OIL* DENGAN  
PENAMBAHAN BENTONIT DAN ZEOLIT TERAKTIVASI SEBAGAI  
ALTERNATIF ISOLATOR CAIR**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Fandu Ryansyah Nasution**

**NPM. 1815031006**



**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2023**

## ABSTRAK

### ANALISIS TEGANGAN TEMBUS *CRUDE PALM OIL* DENGAN PENAMBAHAN BENTONIT DAN ZEOLIT TERAKTIVASI SEBAGAI ALTERNATIF ISOLATOR CAIR

Oleh

FANDU RYANSYAH NASUTION

Intisari- Minyak isolasi merupakan salah satu jenis isolator yang banyak digunakan sebagai isolasi pada peralatan listrik seperti transformator. Minyak isolasi yang digunakan biasanya berasal dari minyak mineral dari dalam perut bumi yang terbatas ketersediaannya di alam. Salah satu upaya untuk mengurangi penggunaan minyak mineral adalah menggantikannya dengan minyak nabati seperti *crude palm oil* (CPO) yang telah ditambahkan dengan zat aditif bentonit dan zeolit. Untuk menguji kelayakan minyak *crude palm oil*, dilakukan pengujian tegangan tembus menggunakan *Megger OTS80Af Oil Tester*, kadar air dan viskositas. Berdasarkan hasil pengujian, tegangan tembus minyak CPO setelah ditambahkan bentonit sebesar 36,2 kV, kadar air sebesar 0,0157% dan viskositas sebesar 33,23 cSt. Sedangkan, tegangan tembus minyak CPO setelah ditambahkan zeolit sebesar 29 kV, kadar air sebesar 0,043% dan viskositas sebesar 33,56 cSt. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa, minyak CPO dengan penambahan bentonit layak digunakan sebagai isolasi cair trafo, sedangkan minyak CPO dengan penambahan zeolit belum layak digunakan sebagai isolasi cair trafo, hal tersebut sesuai dengan standar SPLN 49-91 : 1982 tegangan tembus minyak untuk isolasi trafo adalah 30 kV/2,5 mm.

Kata kunci : CPO, Bentonit, Zeolit, Tegangan Tembus

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS BREAKDOWN VOLTAGE OF CRUDE PALM OIL WITH ADDING ACTIVATED BENTONITE AND ZEOLITE AS AN ALTERNATIVE FLUID INSULATION**

**By**

**FANDU RYANSYAH NASUTION**

Abstract- Crude palm oil (CPO) has been considered as a potential alternative to mineral oil as an insulating oil in electrical equipment such as transformers. The study conducted tests on the feasibility of using CPO by evaluating the breakdown voltage with Megger OTS80Af Oil Tester, moisture content, and viscosity of the oil after the addition of bentonite and zeolite additives. The breakdown voltage is an important parameter in assessing the suitability of an insulating oil. The breakdown voltage of CPO oil after the addition of bentonite was measured as 36.2 kV, which exceeds the specified standard of 30 kV/2.5 mm outlined in SPLN 49-91: 1982. This indicates that CPO oil with bentonite is suitable for use as liquid insulation in transformers. On the other hand, CPO oil with zeolite additive exhibited a breakdown voltage of 29 kV, which falls below the specified standard. Additionally, the moisture content and viscosity of the oils were measured. The moisture content of CPO oil with bentonite was found to be 0.0157%, while the moisture content of CPO oil with zeolite was 0.043%. The viscosity of both oils was measured as 33.23 cSt for bentonite and 33.56 cSt for zeolite. In summary, based on the breakdown voltage test and in accordance with SPLN 49-91: 1982, CPO oil with the addition of bentonite is considered suitable for use as liquid insulation in transformers. However, CPO oil with zeolite is not yet suitable for this purpose.

Keyword : CPO, Bentonite, Zeolite, Breakdown Voltage

**ANALISIS TEGANGAN TEMBUS *CRUDE PALM OIL* DENGAN  
PENAMBAHAN BENTONIT DAN ZEOLIT TERAKTIVASI SEBAGAI  
ALTERNATIF ISOLATOR CAIR**

**Oleh**

**FANDU RYANSYAH NASUTION**

**Skripsi**

**Sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar  
SARJANA TEKNIK**

**pada**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik  
Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2023**

Judul Skripsi : **ANALISIS TEGANGAN TEMBUS CRUDE PALM OIL  
DENGAN PENAMBAHAN BENTONIT DAN ZEOLIT  
TERAKTIVASI SEBAGAI ALTERNATIF ISOLATOR  
CAIR**

Nama Mahasiswa : **Fandu Ryansyah Nasution**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1815031006**

Jurusan : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



**Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.**  
NIP. 19740422 200001 2 001

**Dr. Eng. Dewi A. Iryani, S.T., M.T.**  
NIP. 19720825 200003 2 001

**2. Mengetahui**

Ketua Jurusan  
Teknik Elektro

**Herlinawati, S.T., M.T.**  
NIP 19710314 199903 2 001

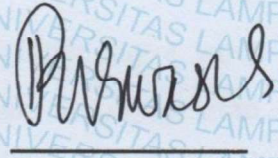
Ketua Program Studi  
Teknik Elektro

**Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.**  
NIP 19740422 200012 2 001

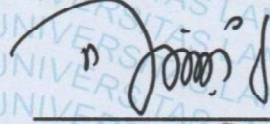
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

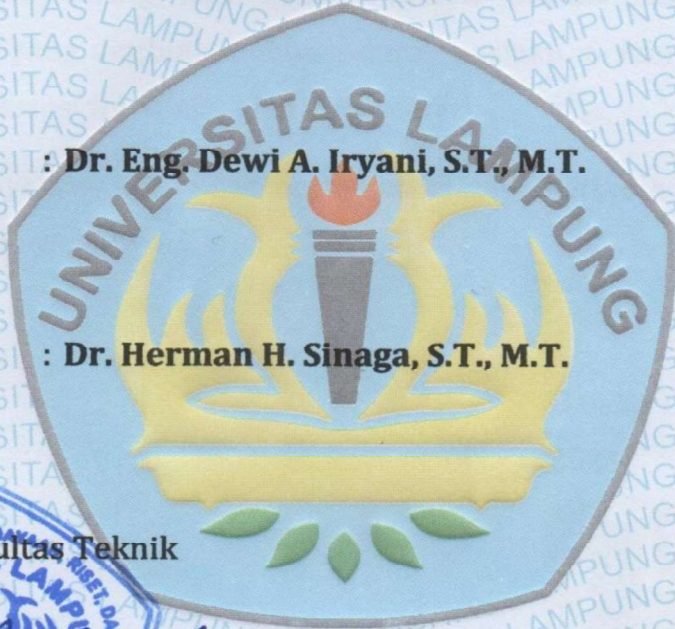
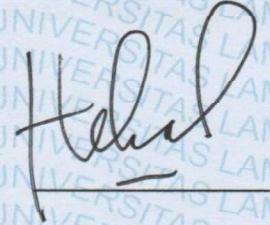
**Ketua : Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.**



**Sekretaris : Dr. Eng. Dewi A. Iryani, S.T., M.T.**



**Penguj : Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**

**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. )**  
**NIP 19750928 200112 1 002**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 31 Mei 2023**

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fandu Ryansyah Nasution

NPM : 1815031006

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 14 Juni

2023



Fandu Ryansyah Nasution

NPM. 1815031006

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta, pada tanggal 24 Januari 2000. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak M. Hasyim Nasution dan Ibu Seriana Pulungan. Penulis memulai pendidikan di SD Negeri Duren Seribu 04 pada tahun 2006 hingga 2012, SMP Negeri 14 Depok pada tahun 2012 hingga 2015, dan SMA Negeri 01 Tajurhalang pada tahun 2015 hingga 2018. Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis berkesempatan tergabung dalam keanggotaan asisten Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi pada tahun 2021 dan dipercayakan menjadi asisten mata kuliah Praktikum Teknik Tegangan Tinggi pada tahun 2021 hingga 2022. Selain itu, penulis juga tergabung dalam lembaga kemahasiswaan yang ada di Fakultas Teknik (BEM FT) sebagai Anggota Divisi Eksternal pada tahun 2020 hingga 2021. Kemudian pada tanggal 06 September 2021 – 06 Februari 2022, penulis melaksanakan kerja praktik (KP) dan magang di PT Haleyora Power Unit Area Kotabumi dan mengangkat judul “ Peran *Recloser* pada Penyulang Grinsing di PT. Haleyora Power Region VII *Section I* Area Kotabumi”.



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**Alhamdulillah, Atas Izin Allah yang Maha Kuasa**

**KUPERSEMBAHKAN KARYA INI UNTUK**

*Ayah dan Ibu Tercinta*

**M. Hasyim Nasution dan Seriana Pulungan**

*Adikku Tersayang*

**Fahmi Ryansyah Nasution**

Keluarga Besar, Dosen, Teman dan Almamater Teknik  
Elektro Universitas Lampung

## MOTTO

"Maka apakah kamu mengira bahwa Kami menciptakan kamu main-main (tanpa ada maksud) dan bahwa kamu tidak akan dikembalikan kepada kami?"

**(QS.Al-Mu'minun : 115)**

"Tanpa ilmu, amal itu tidak ada gunanya. Sedangkan ilmu tanpa amal adalah hal yang sia-sia"

**(Abu Bakar Asshidiq)**

"Karunia Allah yang paling lengkap adalah kehidupan yang didasarkan ilmu pengetahuan"

**(Ali bin Abi Thalib)**

"Waktu bagaikan pedang. Jika engkau tidak memanfaatkannya dengan baik (untuk memotong), maka ia akan memanfaatkanmu (dipotong)"

**(HR. Muslim)**

## SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT, atas limpahan nikmat-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. suri teladan yang mampu membuka sesuatu yang terkunci, penutup dari semua yang terdahulu, penolong kebenaran dengan jalan yang benar, dan petunjuk kepada jalan-Mu yang lurus.

Tugas Akhir dengan judul “Analisis Tegangan Tembus *Crude Palm Oil* dengan Penambahan Bentonit dan Zeolit Teraktivasi Sebagai Alternatif Isolator Cair” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Bapak Meizano Ardhi Muhammad, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Ibu Dr.Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku Kepala Prodi Teknik Elektro Universitas Lampung dan selaku dosen pembimbing utama yang

telah memberikan bimbingan rutin, motivasi dan arahan kepada penulis dengan baik dan ramah.

6. Ibu Dr. Eng. Dewi A. Iryani S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan nilai-nilai kehidupan kepada penulis dengan baik dan ramah.
7. Bapak Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan, kritik, dan saran yang membangun kepada penulis agar penelitian ini lebih baik lagi.
8. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingan bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang Sarjana Teknik.
9. Segenap Dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis.
10. Segenap Staff di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal-hal lainnya.
11. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung Angkatan 2018 (ELTICS 2018), yang telah banyak memberi dukungan moril untuk saya.
12. Segenap Keluarga Besar Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Pak Sugiarto, rekan-rekan Asisten Lab TTT Angkatan 2018 (Arman, Afra, Annisa, Giovanni, dan Ruth), kakak-kakak dan adik-adik Asisten TTT yang saling memberikan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
13. Semua pihak yang telah membantu selama pelaksanaan pengerjaan skripsi namun tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak demi kemajuan bersama. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 14 Juni 2023

**Fandu Ryansyah Nasution**

1815031006

## DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT .....	iii
DAFTAR ISI .....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xviii
I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan .....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Hipotesis .....	4
1.7 Sistematika Penulisan .....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Minyak Nabati Sebagai Isolasi Transformator .....	6
2.2 Minyak Mineral .....	10
2.3 Bentonit .....	11
2.3.1 Gambaran Umum Bentonit .....	11
2.3.2 Pembentukan Bentonit .....	12
2.3.4 Penggunaan Bentonit .....	14
2.4 Zeolit .....	14
2.4.1 Gambaran Umum Zeolit .....	15
2.4.2 Struktur Zeolit .....	15
2.4.3 Sifat-sifat Zeolit .....	16
2.5 Viskositas dan Kadar Air .....	17

III. METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.2 Alat dan Bahan.....	18
3.3 Metode Penelitian .....	19
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	23
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 <i>Bleaching Crude Palm Oil</i> (CPO) dengan Bentonit dan Zeolit.....	25
4.2 Data Hasil Pengujian Kadar Air, Viskositas dan Tegangan Tembus .....	26
4.2.1 Data Hasil Pengujian Kadar Air .....	26
4.2.2 Hasil Pengujian Viskositas .....	30
4.2.3 Hasil Pengujian Tegangan Tembus .....	33
4.3 Analisa Tegangan Tembus.....	39
4.3.1 Pengaruh Proses <i>Bleaching</i> Minyak CPO dengan Tegangan Tembus ...	39
4.3.2 Pengaruh Kadar Air terhadap Tegangan Tembus .....	41
4.3.3 Analisis Pengaruh Viskositas terhadap Tegangan Tembus .....	43
4.4 Analisis Perbandingan Kadar Air terhadap Tegangan Tembus.....	45
V. PENUTUP.....	48
5.1 Kesimpulan .....	48
5.2 Saran .....	49
DAFTAR PUSTAKA .....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Struktur umum trigliserida ester alami minyak nabati.....	8
2.2 Struktur Montmorillonit Bentonit.....	13
2.7 Struktur Umum Zeolit.....	15
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
4.1 Pengujian kadar air <i>Crude Palm Oil</i> setelah dilakukan penambahan Bentonit dan zeolit.....	29
4.2 Pengujian viskositas <i>Crude Palm Oil</i> setelah dilakukan proses penambahan bentonit dan zeolit.....	31
4.3 Pengaruh proses penambahan minyak CPO dengan bentonit dan zeolit terhadap tegangan tembus .....	38
4.4 Pengaruh kadar air terhadap tegangan tembus minyak CPO setelah penambahan dengan bentonit.....	40
4.5 Pengaruh kadar air terhadap tegangan tembus minyak CPO setelah penambahan dengan zeolit... ..	40
4.6 Pengaruh viskositas terhadap tegangan tembus minyak CPO setelah penambahan dengan bentonit.....	42
4.7 Pengaruh viskositas terhadap tegangan tembus minyak CPO setelah penambahan dengan zeolit.....	42



4.8 Perbandingan tegangan tembus dan kadar air minyak CPO setelah penambahan dengan bentonit.....	44
4.9 Perbandingan tegangan tembus dan kadar air minyak CPO setelah penambahan dengan bentonit.....	45

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Karakteristik CPO .....	9
2.1 Standar IEC 60296 untuk Minyak Transformator Baru.....	11
2.2 Komposisi kimia bentonit .....	13
4.1 Variasi berat bentonit dan zeolit yang digunakan pada proses <i>bleaching</i> CPO.....	26
4.2 Pengujian Kadar Air CPO dengan Penambahan Zat Aditif Bentonit.....	27
4.3 Pengujian Kadar Air CPO dengan Penambahan Zat Aditif Zeolit.....	28
4.4 Pengujian Viskositas CPO dengan Penambahan Zat Aditif Bentonit.....	30
4.5 Pengujian Viskositas CPO dengan Penambahan Zat Aditif Zeolit.....	30
4.6 Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak CPO setelah Penambahan dengan Bentonit.....	33
4.7 Nilai Tegangan Tembus Rata-Rata Minyak CPO setelah Penambahan dengan Bentonit.....	34
4.8 Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak CPO setelah <i>Bleaching</i> dengan Zeolit.....	35
4.9 Nilai Tegangan Tembus Rata-Rata Minyak CPO setelah Penambahan dengan Bentonit .....	36
4.10 Nilai Tegangan Tembus Rata-Rata Minyak CPO dengan Penambahan Bentonit dan Zeolit.....	38

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Minyak isolasi merupakan salah satu jenis isolator yang banyak digunakan sebagai isolasi pada peralatan listrik seperti transformator. Minyak isolator pada transformator digunakan sebagai isolasi pada bagian belitan di transformator sehingga tidak terjadi *flashover* dan menyebabkan kebocoran tegangan ke bagian luar transformator kemudian minyak isolator juga berguna sebagai pendingin transformator pada saat bekerja. Saat ini minyak isolator berbahan dasar minyak mineral yang diperoleh dari bahan – bahan tambang yang tidak dapat diperbaharui. Minyak mineral memiliki kelebihan diantara lain memiliki nilai tegangan tembus yang tinggi, nilai kerugian dielektrik yang rendah, serta jangka waktu penggunaan yang lama. Selain memiliki kelebihan, minyak mineral juga memiliki kelemahan yaitu bahan dasar yang tidak dapat diperbaharui dan minyak mineral merupakan bahan tidak dapat terdegradasi sehingga dapat berdampak buruk bagi lingkungan. Upaya yang dapat dilakukan dalam mengatasi kelemahan dari minyak mineral adalah dengan cara mengembangkan minyak isolator bagi transformator yang berbahan dasar dari minyak nabati sebagai alternatif.

Penggunaan minyak nabati sebagai alternatif untuk minyak isolator transformator sangat berguna untuk mengurangi ketergantungan terhadap minyak mineral. Sudah terdapat beberapa penelitian terhadap bahan minyak nabati untuk dijadikan sebagai bahan dasar minyak isolator transformator antara lain minyak jarak, minyak jagung, minyak sawit, minyak kemiri, dan sebagainya. Kelebihan dari minyak nabati sebagai bahan dasar minyak isolasi yaitu dapat mengurangi ketergantungan terhadap minyak mineral yang secara jumlah akan menjadi terbatas dan mengurangi pencemaran lingkungan dikarena bahan minyak nabati yang dapat terdegradasi oleh alam. Penelitian dilakukan terhadap minyak nabati

dalam upaya untuk menjadikan minyak nabati sebagai bahan dasar minyak isolator.

Khusus pada minyak kelapa sawit (*crude palm oil*) dapat digunakan sebagai isolator cair namun sebelum diaplikasikan pada trafo minyak *crude palm oil* harus diproses sedemikian rupa untuk mengurangi kontaminan berupa partikel-partikel kecil seperti debu, gelembung udara, kadar air, dan mengurangi viskositas (kekentalan) pada minyak tersebut.

Berdasarkan hal yang dijelaskan diatas, pada penelitian ini dilakukan upaya untuk mengurangi kontaminan yang terdapat pada minyak *crude palm oil* dengan menggunakan adsorben yaitu bentonit dan zeolit (*bleaching earth*) agar memperoleh minyak yang memiliki spesifikasi sesuai dengan fungsinya sebagai isolator. Adsorben yang digunakan akan melewati tahap aktivasi secara kimia yang bertujuan untuk membuka pori-pori pada adsorben tersebut sehingga dapat memaksimalkan penyerapan kontaminan yang terdapat pada minyak *crude palm oil*. Adapun parameter yang akan dianalisis untuk mengetahui kelayakan dari minyak *crude palm oil* tersebut seperti melakukan analisa tegangan tembus setelah proses penambahan dengan bentonit dan zeolit kemudian analisa nilai kadar air dan viskositas setelah proses penambahan dengan menggunakan bentonit dan zeolit.

## 1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis kelayakan minyak *crude palm oil* untuk diaplikasikan pada transformator sebagai isolator.
2. Menganalisis pengaruh bentonit terhadap *crude palm oil* yang digunakan sebagai isolasi transformator.
3. Menganalisis pengaruh zeolit terhadap *crude palm oil* sebagai isolasi transformator.
4. Menganalisis pengaruh penambahan dengan bentonit dan zeolit terhadap nilai viskositas dan kadar air.

### 1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan informasi mengenai kelayakan *crude palm oil* sebagai alternatif isolator pada transformator.
2. Bagaimana pengaruh *crude palm oil* setelah penambahan dengan bentonit dan zeolit teraktivasi terhadap nilai tegangan tembus, viskositas, dan kadar air sebagai isolasi pada transformator.
3. Proses yang harus dilakukan untuk mengaplikasikan *crude palm oil* sebagai isolasi pada transformator.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Tidak menganalisis reaksi kimia yang terjadi pada *crude palm oil* setelah proses pencampuran zat aditif.
2. Tidak membahas tentang masa pakai dan masa kedaluwarsa dari *crude palm oil* yang digunakan sebagai media penelitian.
3. Tidak mempertimbangkan kontaminan atau zat pengotor tidak terlihat yang terdapat pada botol sebagai media penyimpanan minyak sampel uji *crude palm oil* (CPO).
4. Tidak melakukan aktivasi pada zat aditif yang digunakan pada penambahan minyak *crude palm oil*.
5. Pengujian dilakukan dengan menggunakan media minyak nabati berupa *crude palm oil* dengan penambahan zat aditif bentonit dan zeolit serta tidak membahas proses pembuatan dari *crude palm oil*.
6. Variasi rasio bentonit dan zeolit teraktivasi yang digunakan pada proses penambahan minyak nabati yaitu 1%; 2%; 3%; 4%; 5%; 6%; 7%; 8% dan 9%.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat guna memberikan informasi serta rekomendasi tentang kelayakan minyak *crude palm oil* yang dapat digunakan sebagai alternatif minyak

trafo konvensional (minyak mineral) sebagai isolasi pada trafo, dengan pertimbangan nilai tegangan tembus serta ketersediaan minyak mineral yang semakin berkurang dan tidak dapat diperbaharui persediaannya.

## **1.6 Hipotesis**

Pada penelitian ini, *crude palm oil* digunakan sebagai media penelitian dengan tujuan untuk mengurangi dampak kerusakan lingkungan akibat degradasi yang ditimbulkan dari eksploitasi minyak mineral secara besar-besaran. Melalui proses penambahan dengan menggunakan zat aditif bentonit dan zeolit seiring bertambahnya variasi yang ditambahkan diharapkan dapat meningkatkan tegangan tembus, mengurangi nilai kadar air dan viskositas, sehingga *crude palm oil* tersebut layak digunakan sebagai isolasi pada transformator.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Pada bab ini membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis, dan sistematika penulisan.

### **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini memaparkan beberapa teori pendukung dan referensi materi yang diperoleh dari berbagai sumber buku, jurnal dan penelitian ilmiah yang digunakan untuk penulisan laporan akhir ini.

### **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini memaparkan waktu dan tempat, alat dan bahan, metode penelitian dan pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan tugas akhir.

### **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini menjelaskan serta menganalisa tentang hasil yang diperoleh pada saat pengujian, baik pengujian tegangan tembus minyak nabati sebelum proses penambahan bentonit dan zeolit, pengujian tegangan tembus minyak nabati setelah penambahan bentonit dan zeolit, pengujian kejernihan minyak nabati

setelah proses penambahan bentonit dan zeolit, dan pengujian kandungan air pada minyak nabati setelah proses penambahan bentonit dan zeolit.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini memaparkan kesimpulan dan saran yang didasarkan pada hasil data dan pembahasan.

LAMPIRAN

SARAN

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Minyak Nabati Sebagai Isolasi Transformator

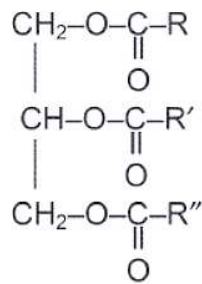
Minyak sebagai isolasi transformator umumnya menggunakan minyak mineral, yang memiliki beberapa kekurangan. Kekurangan tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada lingkungan, mengakibatkan ketidakseimbangan alam dan habisnya persediaan minyak mineral karena bersifat tak dapat diperbaharui. Kekurangan tersebut mengharuskan adanya pengembangan, guna mendapatkan alternatif pengganti minyak mineral. Pengembangan terhadap minyak nabati sebagai bahan dasar dari pembuatan minyak transformator dapat berdampak positif pada berkurangnya ketergantungan terhadap penggunaan minyak mineral. Minyak nabati memiliki karakteristik lebih ramah terhadap lingkungan dikarenakan sifatnya yang *biodegradable* atau mudah untuk terurai oleh alam. Jenis-jenis minyak nabati yang dapat digunakan sebagai isolasi cair pada transformator, antara lain :

Minyak jarak atau *castrol oil* merupakan minyak jenis nabati yang berasal dari buah tanaman pohon jarak (*Ricinus communis*). Buah pohon jarak yang telah matang akan dijemur dan dikeringkan agar pengambilan daging buah jarak menjadi mudah. Untuk mendapatkan minyak dengan tingkat yang lebih tinggi maka minyak akan disaring dan diendapkan untuk memisahkan kotorannya. Biji jarak memiliki kandungan minyak sebesar 40 sampai dengan 50 %. Kandungan minyak jarak didominasi dengan kandungan asam risinoleat sebesar 89,5% [2]. Minyak jarak memiliki karakteristik dielektrik yang tinggi, tidak beracun, nilai titik nyala tinggi, titik lebur – 10 °C sampai dengan – 18 °C, dan minyak jarak tidak terlarut [3]. Penelitian yang dilakukan Elia Krismiandaru pada tahun 2011 didapatkan hasil pengujian terhadap minyak jarak dengan menggunakan standar



IEC 156 yaitu besaran nilai tegangan tembus sebesar 33,76 kV/2,5 mm dimana nilai tersebut belum memenuhi SPLN 49-91:1982 [4]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Alim, M. et.al, 2022 didapatkan hasil pengujian tegangan tembus menggunakan standar IEC 156 sebesar 34,47 kV/2,5 mm dimana nilai tersebut belum memenuhi SPLN 49-91:1982 [5]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Samsurizal dkk (2022) didapatkan data hasil nilai rata-rata pengujian tegangan tembus minyak jarak selama enam kali siklus yaitu 68,7 kV/2,5 mm dimana nilai tersebut telah memenuhi standar SPLN 49-91:1982 [6,21].

Minyak kelapa sawit memiliki struktur yang terdiri dari serabut buah (*pericarp*) dan inti buah (*kernel*). Pada serabut buah kelapa sawit, memiliki tiga lapisan yaitu lapisan luar (*pericarp*), lapisan dalam (*mesocarp*) dan lapisan terdalam (*endocarp*). Pada bagian inti buah (*kernel*), terdapat beberapa lapisan seperti pada serabut buah diantaranya yaitu lapisan kulit biji (*testa*), *endosperm* dan *embrio* [4]. Minyak kelapa sawit dapat menghasilkan beberapa produk minyak yang memiliki karakteristik tersendiri tiap masing-masing produk. Salah satu produk minyak kelapa sawit adalah CPO (*Crude Palm Oil*). *Crude Palm Oil* (CPO) dihasilkan dari serabut buah (*pericarp*) pada lapisan dalam (*mesocarp*) melalui beberapa proses seperti sterilisasi (*sterilization*), pengupasan (*stripping*), ekstraksi (*extraction*), dan pemurnian (*purification*). Minyak nabati seperti CPO adalah ester alami yang merupakan turunan dari gliserol (*glycerol*) dan dikenal sebagai trigliserida (*tryglycerides*) dengan susunan umumnya yaitu, kelompok R, R', dan R'' merupakan rantai atom karbon yang terdiri dari 14-22 atom dan mengandung nol hingga tiga ikatan rangkap [5,16].



Gambar 2.1 Struktur umum trigliserida ester alami minyak nabati [5]

Berdasarkan Gambar 2.1 triserida tersusun atas beberapa atom seperti atom C (*carbon*), atom H (*hydrogen*), atom O (*oxygen*) dan atom R. Terlihat pula pada gambar 2.1 bahwa, struktur umum trigliserida memiliki atom tiga buah atom R, yaitu R, R', dan R'' dimana atom R inilah yang memengaruhi perbedaan sifat antara minyak satu dengan minyak yang lain. Selain terdapat atom R, struktur umum trigliserida juga memiliki atom C, dimana keberadaan atom C tersebut merupakan komposisi utama berupa senyawa gliserida. Gliserida adalah ester dari gliserol, komposisi gliserol terdiri dari monogliserida, digliserida, dan trigliserida yang bergantung pada jumlah asam lemak yang terikat pada gliserol [4]. Penggunaan *crude palm oil* dapat dimanfaatkan sebagai produk pangan dan non pangan. Salah satu penggunaan minyak *crude palm oil* untuk produk non pangan adalah sebagai minyak isolasi transformator. Berdasarkan penelitian Muhammad Hakirin Roslan dkk (2021), minyak *crude palm oil* dilakukan serangkaian pengujian, yaitu tegangan tembus, viskositas dan kelembaban. Hasil pengujian didapatkan bahwa, nilai tegangan tembus minyak *crude palm oil* adalah 17-23 kV/mm. Sedangkan nilai dari viskositas sebesar 54,44 cSt pada suhu 40°C, dan kelembaban sebesar 84 ppm [5]. Selanjutnya, berdasarkan penelitian Noor Khairin Mohd dkk (2021), melakukan studi kelayakan pada *crude palm oil* untuk dapat diaplikasikan sebagai isolator cair. Pengujian yang dilakukan berupa tegangan tembus, viskositas dan kadar air. Hasil pengujian diketahui bahwa, nilai tegangan tembus *crude palm oil* sebesar 78,1 kV/mm. Sedangkan, nilai viskositasnya sebesar 8,24 cSt pada suhu 100°C dan nilai kadar air sebesar 175 mg Kg<sup>-1</sup>[6]. Adapun karakteristik yang dimiliki oleh CPO melalui beberapa parameter dapat dijelaskan pada Tabel 2.1 [7]:

Tabel 2.1 Karakteristik CPO [5]:

Parameter	Kondisi
Warna	Bening
Berat jenis	0.9 gr/cm <sup>3</sup>
Bau dan rasa	Normal
Air dan kontaminan	0.296%
Indeks bias (40°C)	1.4565 – 1.4585
Parameter	Kondisi
Bilangan Iod	48 – 56
Titik leleh	25 – 50 °C
Asam laurat	0.1 – 1.0 %
Asam miristat	0.9 – 1.5 %
Asam palmitat	41.8 – 45.8 %
Asam palmitoleat	0.1 – 0.3 %
Asam stearate	4.2 – 5.1 %
Asam oleat	37.3 – 40.8 %
Asam linoleiat	9.1 – 11.0 %
Asam linolenat	0.0 – 0.6 %
Asam arakidenat	0.2 – 0.7 %

## 2.2 Minyak Mineral

Minyak trafo merupakan media isolasi cair yang sering digunakan pada peralatan trafo yang berfungsi sebagai alat *transform* tegangan. Minyak yang digunakan pada minyak trafo biasanya minyak mineral yang diperoleh dari dalam bumi dengan persediaan yang terbatas, sehingga akan mengakibatkan terjadinya proses degradasi minyak mineral akibat eksploitasi yang dilakukan secara besar-besaran. Alternatif yang dapat digunakan sebagai minyak isolasi trafo adalah minyak yang berasal dari tumbuhan (minyak nabati). Minyak trafo biasanya berwarna cerah (hampir tidak berwarna) yang tersusun dari senyawa hidrokarbon seperti *paraffin* ( $C_nH_{2n+2}$ ), *naphthalene* ( $C_nH_{2n}$ ), dan *aromatic* ( $C_nH_n$ ). Seiring dengan usia pemakaian, minyak mineral yang digunakan akan mengalami degradasi kualitas, sehingga terdapat kontaminan dan dapat mengubah warna minyak mineral menjadi lebih gelap, akibat usia pakai dan *overheat* yang berlangsung cukup lama dan terus menerus. Salah satu upaya dalam memperbaiki kualitas minyak trafo, yaitu dengan melakukan proses *bleaching* dengan bentonit. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ashish Bohra dan Deepak Somani (2018) melakukan *bleaching* dengan bentonit teraktivasi asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Proses *bleaching* dilakukan dengan mencampurkan 5 gram bentonit yang telah teraktivasi asam sulfat, dengan 500 ml minyak trafo yang telah digunakan untuk kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 750 RPM hingga bentonit mengendap [12]. Minyak mineral yang diaplikasikan sebagai minyak trafo akan mengalami proses degradasi kualitas, jika suhu yang dialirkan mencapai  $95^\circ C$ . Selain sebagai media isolasi, minyak trafo juga berfungsi sebagai pendingin antara inti besi dengan sirip pendingin. Agar minyak trafo berfungsi dengan baik, kualitas minyak harus sesuai dengan standar kebutuhan. Untuk itu minyak trafo harus memenuhi persyaratan sebagai berikut [8]:

1. Kekuatan isolasi harus tinggi sesuai dengan standar IEC 296 minyak trafo harus *class 1 & 2* yaitu untuk minyak baru dan belum di Filter  $> 30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$  dan setelah difilter yaitu  $> 50 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$ .
2. Penyalur panas yang baik, berat jenis kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.

3. Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik. Pada IEC 296 Viskositas minyak *class 1* saat suhu 40 °C adalah < 12 cSt.
4. Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan. Sesuai IEC 296 *Flash point* minyak trafo di atas 163°C dan *Pour point* adalah di bawah – 30 °C.

Adapun karakteristik yang harus dimiliki minyak mineral sebagai isolator transformator disajikan pada Tabel 2.2 [8,22]:

Tabel 2.2 Standar Minyak Tranformator Baru IEC 60296 [8,22]

No	Sifat Minyak Isolasi	Satuan	Standar
1	Massa Jenis	g/cm <sup>3</sup>	≤ 0.985
2	Viskositas (40°C)	cSt	≤ 12
3	Titik Nyala	°C	≥ 135
4	Titik Tuang	°C	≤ -30
5	Sifat Minyak Isolasi	Satuan	Standar
6	Angka Keasaman	MgKOH/g	≤ 0.01
7	Korosi Belerang	-	Tidak Korosif
8	Tegangan Tembus	kV/2.5 mm	≥ 30
9	Faktor Kebocoran Dielektrik	-	≤ 0.005

### 2.3 Bentonit

#### Gambaran Umum Bentonit

Bentonit atau *clay* merupakan bahan mineral dari alam yang banyak digunakan dalam perindustrian sebagai bahan penyerap (adsorben). Selain difungsikan sebagai bahan adsorben pada perindustrian, bentonit juga sering kali digunakan

sebagai media katalis dan sebagai media penukar ion dalam bidang industri. Bentonit memiliki struktur montmorillonit yaitu memiliki ruang antar lapisan yang cukup besar sehingga efektif digunakan sebagai alternatif dalam proses adsorpsi.

Selain montmorillonit, bentonit juga memiliki struktur penyusun berupa mineral seperti kalsit, ilit, kwarsa, mika dan klorit yang merupakan pengotor sehingga dapat mengganggu keefektifan kerja dari bentonit. Montmorillonit memiliki tiga lapisan struktur yang berupa alumina ( $\text{AlO}_6$ ) yang berupa oktahedral pada bagian tengah yang dikelilingi dua buah lapisan silika ( $\text{SiO}_4$ ) berbentuk tetrahedral. Selain itu, terdapat kation monovalent dan bivalent berupa  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , dan  $\text{Mg}^{2+}$  yang letaknya berada diantara lapisan oktahedral dan tetrahedral dan mempunyai jarak sekitar 1,2-1,5  $\mu\text{m}$  antar senyawa [9]. Kemampuan adsorpsi montmorillonit yaitu mampu mengadsorpsi ion positif secara selektif pada larutan polar sehingga dapat melakukan proses penukaran ion dalam waktu yang bersamaan.

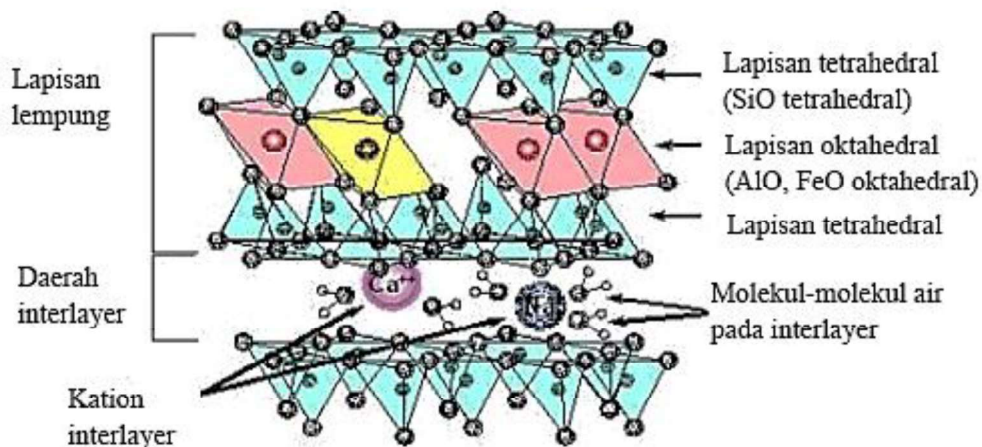
### **Pembentukan Bentonit**

Bentonit merupakan abu vulkanik yang terbentuk akibat proses geologis berupa perubahan hidrotermal, proses pelapukan batuan, maupun akibat pergeseran kimia. Pada bentonit juga, terdapat batuan plutonik yang merupakan magma beku di dalam perut bumi akibat pembentukan batuan yang relatif lama dibandingkan dengan abu vulkanik. Faktor utama terbentuknya bentonit adalah unsur mineral yang terkandung di dalamnya. Faktor lain yang dapat mempengaruhi pembentukan bentonit yaitu seperti komponen kimia air, iklim, dan relief tempat pembentukannya.

#### **2.3.1 Struktur Bentonit**

Struktur bentonit sangat dipengaruhi oleh kandungan mineral penyusunnya yaitu montmorillonit. Bentonit memiliki dua lapisan yang dominan dalam strukturnya yaitu oktahedral dan tetrahedral, dimana lapisan oktahedral berupa alumina ( $\text{AlO}_6$ ) yang diapit oleh dua lapisan tetrahedral berupa silika ( $\text{SiO}_4$ ). Ikatan yang menahan tiap lapisan tersebut merupakan ikatan yang lemah, sehingga ikatan mineral mengembang jika ada air yang menyusup.

Selain itu, bentonit juga mengandung lebih kurang 85 % berat dengan komposisi kimia 66 %  $\text{SiO}_2$ , 28,3 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan 5 %  $\text{H}_2\text{O}$ . Sedangkan, kedua sisi lapisan oktahedral ini diapit oleh 2 (dua) lapisan tetrahedral yang disusun oleh  $\text{Si}(\text{O},\text{OH})$ . Dengan adanya substitusi unsur dengan bilangan oksidasi lebih rendah, seperti  $\text{Si}^{4+}$  digantikan dengan  $\text{Al}^{3+}$  (dalam lapisan tetrahedral) atau  $\text{Al}^{3+}$  digantikan dengan  $\text{Mg}^{2+}$  atau  $\text{Fe}^{2+}$  (dalam lapisan oktahedral) maka strukturnya bermuatan negatif secara permanen.



Gambar 2.2 Struktur montmorillonit bentonit [9]

Berdasarkan Gambar 2.2 susunan utama dari bentonit adalah dua lapisan tetrahedral silika ( $\text{SiO}_4$ ) dan sebuah lapisan octahedral alumina ( $\text{AlO}_6$ ). Susunan ini yang mempengaruhi kinerja dari bentonit, sebagai adsorben untuk menyerap kotoran dan air yang terdapat pada media yang akan dicampurkan dengan bentonit. Kinerja bentonit dapat ditingkatkan efektifitasnya dengan melakukan proses aktivasi, baik secara fisika (melalui proses pemanasan) dan secara kimia (dengan menggunakan campuran zat asam seperti asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )). Tujuan proses aktivasi yaitu dengan membuka pori-pori pada bentonit, sehingga dapat lebih banyak menyerap kotoran, air maupun partikel-partikel yang dapat merugikan.

Kandungan di dalam bentonit dapat dilihat lebih detail dengan tabel 2.1 [10]:

Tabel 2.3 Komposisi kimia bentonit [10]

No.	Senyawa	Besar Kandungan (%)
1.	SiO <sub>2</sub>	66,00
2.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,40
3.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,26
4.	CaO	1,44
5.	MgO	2,72
6.	TiO <sub>2</sub>	0,90
7.	Na <sub>2</sub> O	2,34
8.	Lain-lain	0,94

### Penggunaan Bentonit

Secara umum, Bentonit digunakan dalam tiga hal yaitu sebagai resin penukar ion, adsorben dan penyerap air dengan jumlah besar tanpa pengembangan volume terutama pada Ca-bentonit [10]. Kombinasi antara bentonit dengan bahan lain sering dilakukan untuk berbagai keperluan industri. Pada komposisi tertentu campuran bentonit bermanfaat dalam produksi kertas yaitu sebagai bahan perentensi kaolin serta *effect fine us* tanpa resin. Bentonit juga dapat di manfaatkan dalam pengolahan limbah cair pada industri rayon dalam prinsip adsorpsi.

Bentonit atau *fuller earth* digunakan saat proses penjernihan warna pada industri minyak [10]. Nama lain dari bentonit adalah *bleaching earth* atau tanah pemucat yang digunakan dalam penjernihan tekstil, minyak serta lemak. Penggunaan bentonit dapat lebih efektif jika bentonit diaktivasi terlebih dahulu dengan tujuan mempreluas permukaan sehingga kapasitas adsorpsi bisa lebih besar.

### 2.4 Zeolit

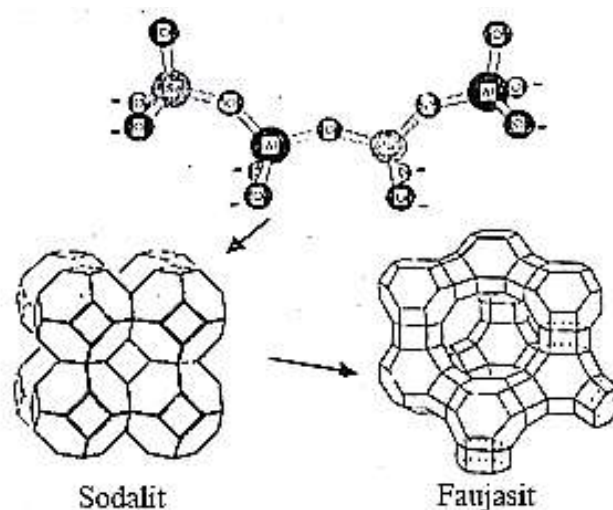


### 2.4.1 Gambaran Umum Zeolit

Zeolit merupakan mineral alam berupa batuan abu vulkanik yang mengendap selama jutaan tahun. Zeolit memiliki sifat yang mudah kering dan berwarna putih keabu-abuan, putih kehijau-hijauan, atau putih kekuning-kuningan. Ukuran zeolit sendiri yaitu tidak lebih dari 10-15 mikron [9,15]. Zeolit memiliki struktur berongga yang umumnya diisi oleh air serta kation dengan ukuran pori tertentu serta dapat menukar senyawa masing-masing.

### 2.4.2 Struktur Zeolit

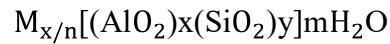
Struktur zeolit tersusun atas  $AlO_4$  dan  $SiO_4$  membentuk tetrahedral yang saling berkaitan dengan bantuan atom O.



Gambar 2.3 Struktur Umum Zeolit [9,16]

Berdasarkan Gambar 2.3 struktur penyusun utama zeolit memiliki pusat pada atom silicon (Si) atau atom aluminum (Al), dengan empat atom oksigen berada pada sudut-sudut atom tersebut. Sama halnya dengan bentonit, kinerja zeolit sebagai adsorben juga dapat ditingkatkan dengan melakukan proses aktivasi baik secara fisika (melalui proses pemanasan) dan secara kimia (dengan menggunakan campuran zat asam seperti asam sulfat ( $H_2SO_4$ )) [18,19]. Tujuan proses aktivasi yaitu dengan membuka pori-pori pada zeolit dan mengurangi kandungan air yang terdapat pada zeolit sehingga air tersebut akan keluar dan dapat maksimal dalam proses penyerapan kotoran, air maupun partikel-partikel yang dapat merugikan.

Atom oksigen akan menjadi bagian dari dua tetrahedral. Secara umum, rumus zeolit adalah sebagai berikut :



Dimana :

n = Valensi kation M (alkali/alkali tanah)

x,y = Jumlah tetrahedron per unit sel

m = Jumlah molekul air per unit sel

M = Kation alkali / alkali tanah

### 2.4.3 Sifat-sifat Zeolit

Karena struktur pembentuknya, zeolit memiliki beberapa sifat kimia yang sering dimanfaatkan untuk keperluan sehari-hari, diantaranya adalah sebagai berikut :

#### 1. Dehidrasi

Pori-pori yang dimiliki zeolit terdapat kation-kation atau molekul air. Apabila molekul air tersebut dikeluarkan dari dalam pori-pori dengan suatu perlakuan tertentu, maka zeolit akan meninggalkan pori yang kosong. Sifat ini sangat dipengaruhi oleh sifat zeolit yaitu sifat jerap.

#### 2. Penjerapan

Zeolit memiliki ruang hampa yang terdapat pada kristal dalam keadaan normal terisi oleh molekul air yang berada disekitar kation. Apabila zeolit dipanaskan maka air tersebut akan keluar. Proses pemanasan zeolit tersebut dapat digunakan sebagai penjerap gas dan cairan.

#### 3. Penukar Ion

Ion-ion yang terdapat pada zeolit dapat bergerak secara bebas, sehingga dapat memungkinkan terjadinya pertukaran ion tergantung pada dimensi dan jenis zeolitnya. Parameter yang mempengaruhi pertukaran ion ini adalah seperti suhu, kation, dan anion pada zeolit.

## **2.5 Viskositas dan Kadar Air**

Viskositas adalah salah satu parameter yang menentukan kualitas minyak trafo, sebagai media isolasi yang berpengaruh dalam proses perpindahan kalor secara konveksi. Viskositas merupakan tahanan cair yang mengalir secara merata dan kontinu. Semakin besar nilai viskositas, maka semakin buruk kemampuan hantaran kalornya. Viskositas juga dipengaruhi oleh penuaan serta oksidasi akibat pemakaian berlebih serta tidak adanya penggantian pada minyak trafo. Nilai viskositas untuk CPO adalah berkisar 54,44 cSt [4,11]. Kadar air merupakan sifat kimia yang dapat menentukan besar nilai dari tegangan tembus minyak isolasi trafo. Kadar air sejatinya, dapat menyebabkan kegagalan isolasi, serta dapat mengakibatkan meningkatnya kandungan asam dan mengakibatkan adanya endapan pada isolasi trafo. Apabila nilai kadar air tidak dikurangi, maka umur minyak isolasi trafo akan lebih mudah mengalami penuaan, sehingga menyebabkan kerugian berupa penggantian minyak isolasi trafo yang baru. Nilai kadar air pada minyak CPO adalah sebesar 84 ppm [4,11].

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Jurusan Teknik Elektro, Laboratorium Analisa dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dari bulan September 2022-Februari 2023.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. *Megger OTS80Af Oil Tester*
2. Neraca Digital Analitik
3. Gelas *Beaker* 500 ml
4. *Crude Palm Oil (CPO)*
5. Kertas saring (*Creape Paper*)
6. Bentonit
7. Zeolit
8. Asam sulfat ( $H_2SO_4$ )
9. *Magnetic Stirrer*
10. Botol Kalee dengan kapasitas 500 ml
11. Corong minyak
12. Jerigen
13. Oven Elektrik
14. Viskometer

### 3.3 Metode Penelitian

Pengerjaan tugas akhir ini memiliki beberapa tahap penyelesaian masalah, yaitu sebagai berikut :

1. Melakukan Aktivasi Zat Aditif menggunakan Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ )  
Secara proses, aktivasi bentonit dengan menggunakan kontak asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) adalah aktivasi secara kimia. Namun, pada penelitian ini zat aditif yang digunakan sudah teraktivasi, dibuktikan dengan nilai PH dari kedua zat aditif yang menunjukkan nilai dibawah 7. Secara teknis, zat aditif tersebut sudah teraktivasi. Adapun tujuan dari aktivasi zat aditif yaitu untuk membuka pori-pori pada zat aditif tersebut. Asumsi yang digunakan jika pori-pori zat aditif terbuka lebih besar adalah, dapat memaksimalkan proses penjerapan kotoran yang terdapat pada minyak *crude palm oil*, sehingga nilai tegangan tembus dari *crude palm oil* meningkat. [5,12,23].

2. Menimbang Bentonit dan Zeolit

Sebelum proses *bleaching* minyak *crude palm oil* dengan bentonit dan zeolit, harus dilakukan proses penimbangan bentonit zeolit sesuai dengan rasio konsentrasi yang telah ditentukan. Bentonit dan zeolit ditimbang dengan rasio 1%; 2%; 3%; 4%; 5%; 6%; 7%; 8% dan 9% dari massa sampel minyak yang akan diuji. Untuk menentukan berat bentonit dan zeolit sesuai dengan rasio dari berat massa sampel minyak dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1 yaitu [12,19] :

$$\rho = \frac{M}{V} \quad 3.1$$

Dimana :

$\rho$  : Massa jenis minyak trafo (g/ml)

M : Massa minyak (g)

V : Volume sampel minyak trafo (ml)

Untuk menentukan berat variasi rasio bentonit zeolit yang akan digunakan maka dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.2 yaitu :

$$\text{Berat Bentonit (g)} = \text{Rasio bentonit (\%)} \times \text{Berat sampel minyak CPO (g)} \quad 3.2$$

Setelah mengetahui berat bentonit yang dibutuhkan, maka bentonit ditimbang menggunakan Neraca Digital Analitik.

### 3. Mencampurkan Bentonit dan Zeolit Teraktivasi dengan *Crude Palm Oil*

Bentonit dan zeolit telah teraktivasi, selanjutnya dicampurkan dengan minyak *crude palm oil* yang diaduk secara konstan dengan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 750 rpm selama 30 menit yang mengacu pada penelitian Somani, D., & Bohra, A. tahun 2018 [13,14]. Setelah itu, *crude palm oil* kemudian disaring menggunakan media *Creape Paper* untuk memisahkan endapan bentonit serta zeolit dengan minyak tersebut. Setelah proses pemisahan selesai, bentonit dan zeolit yang mengendap akan ditimbang dengan tujuan akan digunakan sebagai data analisis pengaruh bentonit dan zeolit terhadap kejernihan minyak, dan minyak akan diuji tegangan tembusnya guna mengetahui kelayakan minyak sebagai isolasi transformator.

### 4. Pengujian Tegangan Tembus Setelah Proses Pencampuran Zeolit dan Bentonit Teraktivasi

Minyak yang telah dilakukan proses pencampuran sebelumnya, kemudian diuji kekuatan dilektriknya (tegangan tembus) dengan menggunakan alat *Megger OTS80Af Oil Tester* di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Teluk Betung. Elektroda yang digunakan sebagai media uji adalah elektroda berbentuk jamur (*mushroom*) yang memiliki diameter 12,5 mm dan jarak antar elektroda 2,5 mm dengan parameter nilai tegangan tembus standar minyak isolasi trafo yaitu  $> 30\text{kV}/2,5\text{mm}$  berdasarkan SPLN 49-1 : 1982 dan IEC 60156-95 [16,20,21,22].

Pengujian tegangan tembus pada minyak, dilakukan enam kali pada masing-masing sampel yang kemudian akan dihitung nilai rata-rata tegangan tembusnya. Proses pengujian tegangan tembus diawali dengan menambahkan larutan N-Heksan ke dalam tabung uji, dengan tujuan untuk membersihkan sisa-sisa minyak yang tertinggal pada permukaan elektroda dan dinding tabung uji larut selanjutnya dibersihkan. Setelah itu, proses selanjutnya adalah menuangkan minyak *crude*

*palm oil* sebagai sampel uji tegangan tembus ke dalam tabung uji. Waktu yang dibutuhkan setelah menghidupkan alat ukur untuk terlihat pada layar adalah lima menit untuk mengondisikan minyak dalam tabung uji. Kemudian, tegangan akan naik secara bertahap sampai terjadi tegangan tembus (*breakdown voltage*), *stirrer* akan berputar selama dua menit setelah terjadi tegangan tembus sebelum dilanjutkan pengujian berikutnya.

#### 5. Pengujian Viskositas

Prosedur pengujian viskositas ini menggunakan metode viskometer ostwald. Tahap awal, sampel minyak dipanaskan hingga mencapai temperatur uji 40°C (standar IEC 60296) [22]. Sampel minyak yang telah dipanaskan diukur dengan menggunakan piknometer guna mengetahui massa jenis minyak dengan menggunakan rumus :

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{v} \quad 3.3$$

Keterangan :

$\rho$  : massa jenis minyak CPO (gram/cm<sup>3</sup>)

$m_1$  : massa piknometer tanpa minyak CPO (gram)

$m_2$  : massa piknometer dengan minyak CPO (gram)

$v$  : volume minyak CPO pada piknometer (m<sup>3</sup> atau cm<sup>3</sup>)

Setelah mengetahui massa jenis sampel minyak, kemudian masukkan minyak ke dalam tabung viskometer Ostwald hingga melebihi batas bawah. Kemudian, atur volume minyak hingga setengah bola dan sampai batas atas. Catat waktu yang dibutuhkan minyak mengalir dari batas atas hingga batas bawah. Setelah waktu yang dibutuhkan minyak diketahui, guna menghitung viskositas dapat menggunakan persamaan :

$$\eta_{sampel} = \frac{t_{sampel} \times \rho_{sampel}}{t_{air} \times \rho_{air}} \times \eta_{air} \quad 3.4$$

Keterangan :

$\eta_{sampel}$  : viskositas dinamis (g/cm s ≈ cPs)

$t_{sampel}$  : waktu yang dibutuhkan sampel minyak untuk mengalir (s)

$\rho_{sampel}$  : massa jenis sampel minyak (g/ml)  
 $t_{air}$  : waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir (s)  
 $\eta_{air}$  : viskositas air (cPs)

$$vk = \frac{\eta_{sampel}}{\rho_{sampel}} \quad 3.5$$

Keterangan :

$vk$  : viskositas kinematik ( $m^2/s \approx cSt$ )  
 $\eta_{sampel}$  : viskositas dinamis ( $g/cm \cdot s \approx cPs$ )  
 $\rho_{sampel}$  : massa jenis sampel minyak (g/ml)

## 6. Melakukan Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air ini mengacu pada standar SNI 01-2901-2006. Metode yang digunakan pada pengujian ini yaitu metode oven elektrik. Prosedur pengujian yaitu wadah sampel minyak dipanaskan dengan temperatur  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  selama lima (5) jam menggunakan oven elektrik dengan tujuan mengurangi kotoran dan air yang terdapat pada wadah tersebut. Kemudian wadah tersebut didinginkan dalam desikator lalu timbang dengan menggunakan neraca digital analitik dengan ketelitian 4 desimal. Selanjutnya, minyak dimasukkan sebesar lima (5) gram lalu keringakan dalam oven elektrik selama tiga (3) jam pada suhu  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Setelah itu proses selanjutnya adalah mendinginkan sampel minyak yang telah diuji ke dalam desikator selama lima belas (15) menit kemudian timbang dengan neraca digital analitik [23]. Perhitungan kadar air setelah melewati beberapa proses adalah :

$$\text{Kadar Air} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \quad 3.6$$

Keterangan :

A : berat wadah yang digunakan

B : minyak yang sebelum dimasukkan oven dan ditimbang dengan neraca digital analitik

C : minyak yang telah dimasukkan oven dan didinginkan dalam desikator

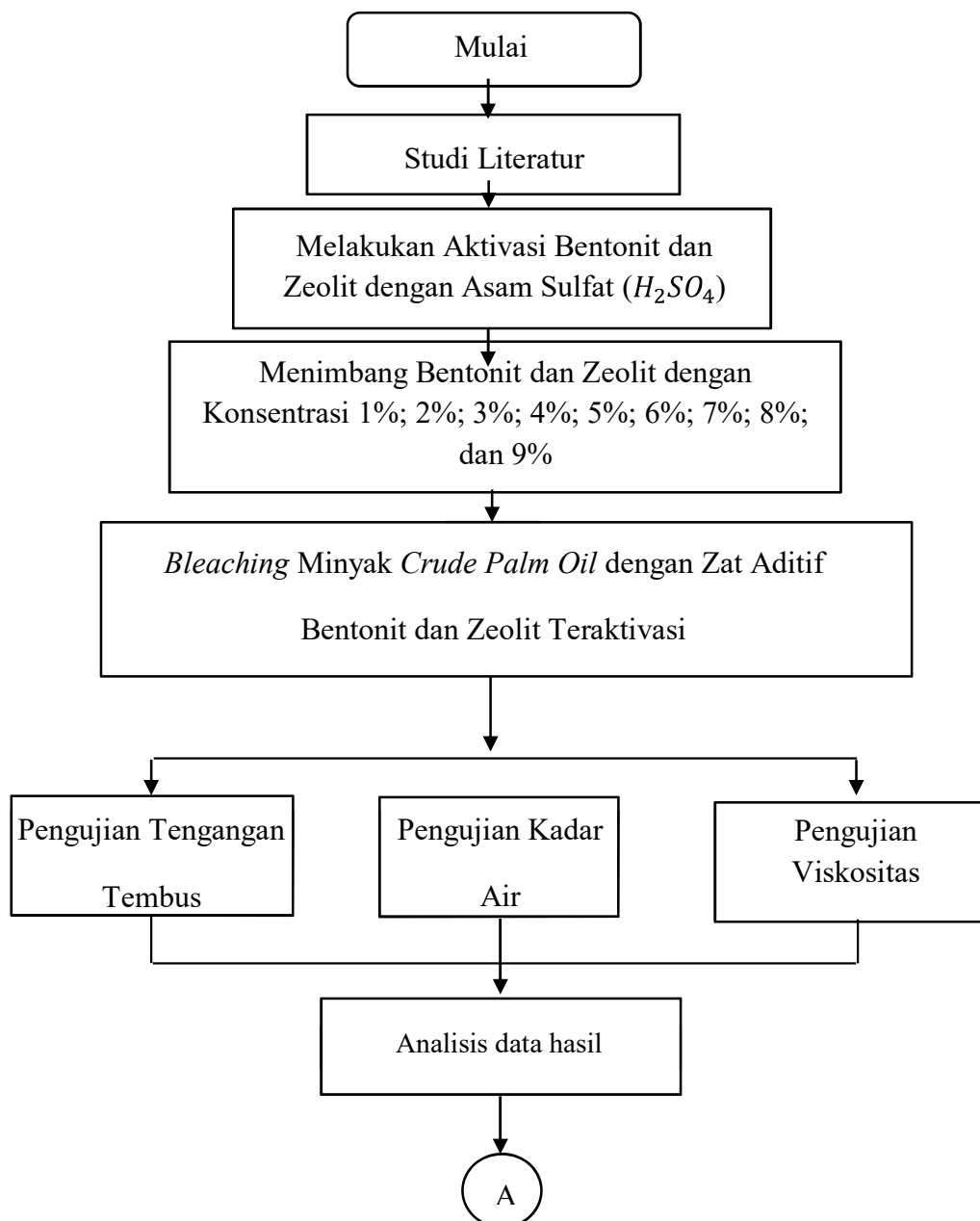


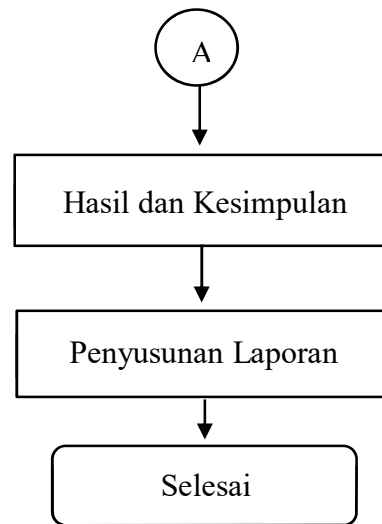
## 7. Penyusunan Laporan

Pada tahap ini, penulis menyajikan hasil dari penelitian dalam bentuk laporan akhir. Hasil penelitian ini adalah menganalisis data dari pengujian *crude palm oil* terhadap nilai tegangan tembus, kadar air, dan viskositasnya. Laporan ini digunakan sebagai bentuk tanggung jawab penulis terhadap tugas akhir yang telah dilakukan dan digunakan untuk melakukan seminar akhir.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut :





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

1. Tegangan tembus *crude palm oil* cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya zat aditif pada perlakuan terhadap *crude palm oil* yaitu proses penambahan dengan rasio bentonit dan zeolit masing-masing yaitu 1%; 2%; 3%; 4%; 5%; 6%; 7%; 8%; dan 9%.
2. Hasil pengujian tegangan tembus setelah proses penambahan menggunakan zat aditif bentonit didapatkan nilai tegangan tembus yang layak digunakan sebagai isolasi transformator yaitu 32,0 kV; 35,9 kV; 32,3 kV; 34,2 kV; dan 36,2 kV. Hal ini menunjukkan bahwa *crude palm oil* setelah proses penambahan dapat digunakan sebagai isolasi transformator merujuk standar SPLN 49-91:1982.
3. Hasil pengujian tegangan tembus setelah proses penambahan menggunakan zat aditif zeolit nilai tegangan tembus belum layak digunakan sebagai isolasi transformator. Nilai tegangan tembus tertinggi yaitu 29 kV, hal tersebut belum memenuhi standar minimal yang dikeluarkan oleh PT PLN Persero dengan merujuk standar SPLN 49-91:1982.
4. Hasil pengujian kadar air dan viskositas *crude palm oil* setelah proses penambahan dengan menggunakan bentonit menunjukkan bahwa nilai kadar air dan viskositas belum memenuhi standar yang seharusnya yaitu <12 cSt sebagai isolasi transformator berdasarkan standar SPLN 49-91:1982.

## 5.2 Saran

1. Untuk penelitian lebih lanjut, perlu dilakukan beberapa pengujian yang tidak dilakukan dalam penelitian ini untuk mengetahui kelayakan *crude palm oil* sebagai isolasi transformator seperti pengujian kadar keasaman, titik lebur, titik didih, *colour index* dan density sehingga dapat memenuhi syarat standar isolasi minyak transformator SPLN 49-91:1982 secara menyeluruh.
2. Untuk penelitian lebih lanjut, perlu dilakukan pencampuran antara minyak *crude palm oil* dan minyak mineral dengan menguji variabel yang sama sehingga diharapkan dapat meningkatkan nilai viskositas.
3. Untuk penelitian selanjutnya, minyak sampel *crude palm oil* yang digunakan disarankan minyak baru agar memaksimalkan nilai parameter yang diuji dan juga mengurangi *error* akibat usia *crude palm oil* tersebut.
4. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya, perlu melakukan pengujian pada *crude palm oil* dengan rasio zat aditif 0% (*crude palm oil* tanpa penambahan zat aditif) untuk menjadi tolak ukur seberapa efektif penambahan zat aditif terhadap parameter yang diuji, khususnya terhadap nilai tegangan tembus.
5. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan memperhatikan langkah-langkah pada pengujian khususnya pada pengujian kadar air dan viskositas berupa suhu yang digunakan sehingga memaksimalkan nilai hasil pengujiannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Supriyanto, D., Syakur, A., & Nugroho, A. (2007). Analisis Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Trafo Sebelum Dan Sesudah Di Bleaching Dengan Fenol. Skripsi Program Studi S-1 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- [2] Rowe, R. C., Sheskey, P., & Quinn, M. (2009). Handbook of pharmaceutical excipients. Libros Digitales-Pharmaceutical Press.
- [3] Ansori, A., Purwasih, N., Sinaga, H. H., & Permata, D. (2022). Analisis Tegangan Tembus pada Minyak Jarak (Castor Oil) sebagai Alternatif Isolator Minyak Transformator. Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 10(2).
- [4] Roslan., M. H., Mohammad., N. A., Von., T. Y., Zadeh., H. M., Gomes., H. (2021) *Latest Developments of Palm Oil as a Sustainable Transformer Fluid : A Green Alternative to Mineral Oils*. Department of Electrical and Electronics Engineering, University Putra Malaysia, Malaysia. ISSN: 2069-5837
- [5] Suherman., E., Akbar. M. (2020) Analisis Karakteristik Minyak Transformator Starlite 400 kVA Terhadap Tegangan Tembus. Universitas Darma Persada. ISSN: 2088-060
- [6] Samsurizal., Makkulau, A., Afrianda, R., Deby, P (2022) Pengujian Tegangan Tembus Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Transformator. Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi PLN, Indonesia. ISSN: 2985-4903.

- [7] Mohd., N. K., Wen-Huei., L., Hassan., A. N. A., Shoot-Kian., Yeong. (2021) *Potential Application of Palm Oil Products as Electrical Insulating Medium in Oil-Immersed Transformers. Advanced Oleochemical Technology Division*. Selangor, Malaysia. EP: 13728
- [8] Kusuma, A. Y. A. W. (2012). Bentonit Pacitan Sebagai Adsorben Untuk Delororisasi CPO (*Crude Palm Oil*). Skripsi Program Studi S-1 Kimia. Universitas Airlangga
- [9] Hidayat, P., E., & Mudjiono, U. (2012). Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Minyak Trafo Fasilitas Gedung Rektorat Universitas Airlangga Surabaya. *Jurnal Teknik Kelistrikan Kapal ITS Surabaya*. 20(2), 99-106
- [10] Arismunandar, A., (1983) *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*. Ghalia
- [11] Junaidi, A. (2008). Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan Tembus Pada Bahan Isolasi Cair. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tridharma* ISSN: 0853-8697. Balikpapan. 13(2), 1-5
- [12] Suhartono., Purnomo, S., & Kamarz, H. (2006). Uji Penyerapan CS-137 Oleh Nanokomposit. *Jurnal Pusat Teknologi Limbah Radioaktif*. Batan. 10(1), 27-35
- [13] Somani, D., & Bohra, A. (2018). *Reclaiming And Enhacing The Age And Fresh Transformer Oil With Activated Bentonite And Antioxidants. Department of Electrical Engineering, SS College of Engineering* Udaipur. Rajashtan, India. 14(4), 23-41
- [14] Bahri, S., (2014). Pengaruh Adsorben Bentonit Terhadap Kualitas Pemucatan Minyak Inti Sawit. *Jurnal Dinamika Penelitian Indsutri*. Universitas Sriwijaya. 25(1), 63-69

- [15] Lo., K. C., Looe, M. H., Abdullah, F., Ismail, A., Nonambhay, M. S., Jamaludin, Z. M., Ker, J. P., Leong, S. Y., (2018) *UV-Vis Spectroscopy: A New Approach for Assessing the Colour Index of Transformer Insulating Oil*. Institute of Power Engineering, University Tenaga Nasional. Selangor, Malaysia. 18(2175), 1-15
- [16] PLN P3B. (2003). *Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga*. PT. PLN (Persero). Jakarta. P3B/O&M Trafo/001.01, 1-54
- [17] Rajab, A. (2008). Prospek Minyak RBD Olein Kelapa Sawit Sebagai Minyak Isolasi Transformator Alternatif. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Andalas*. Padang. ISSN: 0854-8471
- [18] Sutarti, M. (1994). *Zeolit : Tinjauan Literatur*, Jakarta
- [19] Srihapsari., D. (2006). Penggunaan Zeolit Alam yang Telah Diaktivasi dengan Larutan HCl untuk Menjerap Logam-Logam Penyebab Kesadahan Air. Universitas Semarang, Semarang
- [20] Anggraini., N., I., Diana., Rosa., M., K., A. (2020) Analisa Tegangan Tembus Minyak Nabati dengan Perlakuan Pemanasan Berulang. *Jurnal Amplifier*. Universitas Bengkulu, Bengkulu. ISSN: 2089-2020
- [21] Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara. Standar SPLN 49-1:1982. (1982). Jakarta Selatan, Jakarta.
- [22] Hohlen, I., A. (2020). *Transformer Magazine*. Standard IEC 60296, 86-90.
- [23] Badan Standarisasi Nasional. Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-2901-2006 Minyak Kelapa Sawit Mentah (*Crude Palm Oil*).