

**ANALISIS TEGANGAN TEMBUS *REFINED BLEACHED DEODORIZED*
PALM OIL (RBDPO) DENGAN VARIASI ZAT ADITIF BENTONIT DAN
ZEOLIT TERAKTIVASI SEBAGAI ALTERNATIF ISOLATOR CAIR**

(Skripsi)

Oleh

ARMAN

NPM 1815031024



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

ANALISIS TEGANGAN TEMBUS *REFINED BLEACHED DEODORIZED PALM OIL* (RBDPO) DENGAN VARIASI ZAT ADITIF BENTONIT DAN ZEOLIT TERAKTIVASI SEBAGAI ALTERNATIF ISOLATOR CAIR

Oleh

Arman

Seiring dengan meningkatnya perhatian terhadap isu lingkungan dan kesehatan, mendorong para ahli untuk kembali melirik minyak nabati sebagai kandidat minyak isolasi transformator yang lebih ramah lingkungan. Selain itu ketersediaan minyak mineral di alam yang semakin menipis dan tidak dapat diperbaharui. Dilihat dari faktor ketersediaan maka jenis minyak nabati yang patut untuk diteliti dan dikembangkan menjadi kandidat minyak isolasi di Indonesia adalah minyak kelapa sawit atau minyak produk turunannya. Penelitian ini memaparkan hasil pengujian sifat tegangan tembus minyak RBD Olein dari kelapa sawit, dan menganalisis pengaruh kadar air dan viskositas terhadap tegangan tembus. Sebelumnya minyak dipucatkan menggunakan zat aditif bentonit dan zeolit yang teraktivasi untuk menghilangkan kotoran dan partikel pada minyak. Ditinjau dari sisi tegangan tembus, maka minyak RBDPO Olein telah mencapai standar yaitu lebih dari 30 kV/2.5 mm. Tegangan tembus minyak tertinggi yang didapatkan yaitu 45 kV dengan nilai viskositas sebesar 24,47 cSt dan jumlah kadar air sebesar 0,041%.

Kata kunci: Minyak Isolasi, RBD *Palm Oil*, Bentonit, Zeolit, Tegangan Tembus.

ABSTRACT

ANALYSIS OF BREAKDOWN VOLTAGE OF REFINED BLEACHED DEODORIZED PALM OIL (RBDPO) WITH ACTIVATED BENTONITE AND ZEOLITE AS AN ALTERNATIVE LIQUID INSULATOR

By:

Arman

Along with the increasing attention to environmental and health issues, it encourages experts to look back at vegetable oils as candidates for more environmentally friendly transformer insulation oils. In addition, the availability of mineral oil in nature is depleting and cannot be renewed. Judging from the availability factor, the type of vegetable oil that should be researched and developed into a candidate for insulating oil in Indonesia is palm oil or its derivative products. This study presents the results of testing the breakdown stress properties of RBD Olein oil from palm oil, and analyzes the effect of moisture content and viscosity on breakdown stress. Previously, the oil was purified using activated bentonite and zeolite additives to remove impurities and particles in the oil. In terms of breakdown voltage, the RBDPO Olein oil has reached the standard of more than 30 kV/2.5 mm. The highest breakdown voltage obtained was 45 kV with a viscosity value of 24.47 cSt and a total water content of 0.041%.

Key words: Insulation Oil, RBD *Palm Oil*, Bentonite, Zeolite, Breakdown Voltage.

**ANALISIS TEGANGAN TEMBUS *REFINED BLEACHED DEODORIZED
PALM OIL* (RBDPO) DENGAN VARIASI ZAT ADITIF BENTONIT DAN
ZEOLIT TERAKTIVASI SEBAGAI ALTERNATIF ISOLATOR CAIR**

Oleh

ARMAN

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



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



Penguji : Dr. Eng. Diah Permata, 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 : 07 Juni 2023

Judul Skripsi : ANALISIS TEGANGAN TEMBUS REFINED BLEACHED DEODORIZED PALM OIL (RBDPO) DENGAN VARIASI ZAT ADITIF BENTONIT DAN ZEOLIT TERAKTIVASI SEBAGAI ALTERNATIF ISOLATOR CAIR

Nama Mahasiswa : Arman

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815031024

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

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**

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**

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

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

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arman

NPM : 1815031024

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

Arman

NPM. 1815031024

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Talang Padang, Tanggamus pada tanggal 04 September 2000. Penulis merupakan anak terakhir dari enam bersaudara dari pasangan Bapak Dalmin dan Ibu Jumilah. Penulis memulai pendidikan di SD Negeri 02 Sinar Semendo pada tahun 2006 hingga 2012, SMP Negeri 01 Talang Padang pada tahun 2012 hingga 2015, dan SMA Negeri 01 Pringsewu 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 Jurusan Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai Anggota Divisi Media Informasi pada tahun 2019 hingga 2021. Serta menjadi Kepala Departemen Media Informasi UKM Forum Silaturahmi dan Studi Islam Fakultas Teknik (FOSSI FT) pada tahun 2020. Kemudian pada tanggal 06 September 2021 – 06 Februari 2022, penulis melaksanakan kerja praktik (KP) dan magang di PT Haleyora Power Area Metro dan mengangkat judul “Proteksi Trafo Distribusi Terhadap Sambaran Petir Menggunakan Lightning Arrester PT. Haleyora Power Area Metro”.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah, Atas Izin Allah yang Maha Kuasa

KUPERSEMBAHKAN KARYA INI UNTUK

Ayah dan Ibu Tercinta

Dalmin dan Jumilah

Kakak-Kakak Ku Tercinta

Meliyana

Daryati

Yulidar

Jusman Apriyadi

Desi Lestari

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



MOTTO

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan"

(QS.Al-insyirah : 5)

"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 *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO) dengan Variasi Zat Aditif 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. Eng. Diah Permata, 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. Bapak Osea Zebua, 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. Pengurus YBM BRILian, para Muzakki, dan seluruh Awardee Bright Scholarship Unila Batch 4 yang telah memberikan dukungan materi dan moril selama menyelesaikan pendidikan S1.
13. Segenap Keluarga Besar Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Pak Sugiarto, rekan-rekan Asisten Lab TTT Angkatan 2018 (Fandu, Afra, Annisa, Giovanni, dan Ruth), kakak-kakak dan adik-adik Asisten Lab

TTT yang saling memberikan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.

14. 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

Arman

1815031024

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Perumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Hipotesis.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Minyak Trafo.....	6
2.2 Minyak Mineral.....	7
2.3 Minyak Nabati.....	8
2.4 <i>Refined Bleached and Deodorized Palm Oil (RBDPO)</i>	9
2.5 Dielektrik Cair.....	11
2.5.1 Sifat - Sifat Fisika Dielektrik Cair (Minyak)	11
2.5.2 Sifat - Sifat Kimia Dielektrik Cair (Minyak)	12
2.5.3 Sifat - Sifat Listrik Dielektrik Cair.....	12
2.6 Teori Kegagalan Isolasi Cair.....	13
2.7 Pengujian Tegangan Tembus Minyak.....	18
2.8 Bentonit	19
2.9 Zeolit	21
2.10 Aktivasi Zat Aditif (Bentonit dan Zeolit).....	23
III. METODOLOGI PENELITIAN	24

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.3. Tahapan Penelitian.....	24
3.3. Diagram Alir Penelitian.....	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Pemucatan Minyak Nabati	30
4.2 Data Hasil Pengujian.....	32
4.2.1 Data Hasil Pengujian Kadar Air.....	32
4.2.2 Data Hasil Pengujian Viskositas	35
4.2.3 Hasil Pengujian Tegangan Tembus.....	37
4.3 Analisa Tegangan Tembus.....	43
4.3.1 Pengaruh Penambahan Zat Aditif terhadap Tegangan Tembus.....	43
4.3.2 Pengaruh Kadar Air terhadap Tegangan Tembus	44
4.3.3 Analisis Pengaruh Viskositas terhadap Tegangan Tembus.....	47
4.3.4 Analisis Pengaruh Zat Aditif terhadap Kadar Air dan Tegangan Tembus	49
V. KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2. 1 Struktur umum trigliserida ester alami minyak nabati [8].....	9
Gambar 2.2 Kegagalan elektronik [5]	14
Gambar 2.3 Pengaruh medan terhadap gelembung udara [5].....	15
Gambar 2.4 Medan listrik bentuk sferoida [5].....	16
Gambar 2.5 Tak murnian padat [5].....	17
Gambar 2. 6 Rangkaian pengujian tegangan tembus minyak [11].....	18
Gambar 2.7 Struktur Monmorilonit pada Bentonit [13].....	20
Gambar 2.8 Struktur Kimia Zeolit [18].....	22
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	29
Gambar 4. 1 (a) minyak nabati sebelum pemucatan (b) minyak nabati saat pemucatan (c) minyak nabati saat penyaringan (d) minyak nabati setelah pemucatan.....	31
Gambar 4. 2 Grafik nilai kadar air minyak nabati dengan penambahan aditif bentonit dan zeolit.....	34
Gambar 4. 3 Grafik nilai viskositas minyak nabati dengan penambahan aditif bentonit dan zeolit.....	36
Gambar 4. 4 Grafik pengaruh konsentrasi bentonit terhadap tegangan tembus minyak	43
Gambar 4. 5 Grafik pengaruh kadar air terhadap tegangan tembus minyak dengan penambahan bentonit.....	45
Gambar 4. 6 Grafik pengaruh kadar air terhadap tegangan tembus minyak dengan penambahan zeolit.....	45
Gambar 4. 7 Grafik pengaruh viskositas terhadap tegangan tembus minyak dengan penambahan bentonit.....	47
Gambar 4. 8 Grafik hubungan viskositas terhadap tegangan tembus minyak dengan penambahan zeolit.....	48

Gambar 4. 9 Grafik pengaruh penambahan bentonit terhadap kadar air dan tegangan tembus minyak.....	49
Gambar 4. 10 Grafik pengaruh penambahan zeolit terhadap kadar air dan tegangan tembus minyak.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2. 1 Standar SPLN 49-1: 1982, Metoda Uji IEC 296 [6].	7
Tabel 2. 2 Spesifikasi Minyak Isolasi Baru Standar SPLN 49-1 : 1982 [6]	9
Tabel 2. 3 Sifat fisika dan kimia minyak goreng kelapa sawit [9]	10
Tabel 2. 4 Komposisi kimia bentonit [14]	20
Tabel 4.1 Variasi berat zat aditif yang digunakan dalam pemucatan sampel minyak	30
Tabel 4.2 Pengujian Kadar Air Minyak Nabati dengan Penambahan Aditif Bentonit	32
Tabel 4.3 Pengujian Kadar Air Minyak Nabati dengan Penambahan Aditif Zeolit	33
Tabel 4. 4 Pengujian Viskositas Minyak Nabati dengan Penambahan Aditif Bentonit	35
Tabel 4.5 Pengujian Viskositas Minyak Nabati dengan Penambahan Aditif Zeolit	35
Tabel 4.6 Hasil pengujian tegangan tembus dengan penambahan bentonit.....	37
Tabel 4.7 Tegangan Tembus Rata – Rata Sampel Minyak dengan Variasi Penambahan Bentonit.....	39
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Penambahan Zeolit.....	40
Tabel 4. 9 Pengujian tegangan tembus rata-rata dengan penambahan zeolit	42

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator memiliki peranan penting dalam sistem ketenagalistrikan seperti mentransformasikan daya dari tegangan tinggi ke rendah atau sebaliknya baik pada jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Pada peralatan trafo terdapat komponen - komponen penting yang berperan dalam menjaga performa dari trafo agar beroperasi sesuai fungsinya, salah satu komponen tersebut adalah isolator cair berupa minyak trafo.

Isolasi cair merupakan suatu media atau bahan berupa zat cair yang digunakan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang memiliki beda tegangan sehingga antara penghantar-penghantar tersebut tidak terjadi lompatan bunga api listrik atau percikan. Sejauh ini, bahan baku yang digunakan untuk membuat minyak isolasi sebagian besar masih mengandalkan minyak bumi dan bahan-bahan tambang diantaranya yaitu ter, sulfur (belerang), logam besi, tembaga, aluminium, titanium, timah, magnesium, krom dan perak. Penggunaan minyak bumi dan bahan-bahan tambang yang terus-menerus sebagai bahan minyak isolasi transformator dapat menyebabkan kelangkaan serta dapat menyebabkan pencemaran dan kerusakan pada lingkungan, karena bahan-bahan tersebut termasuk energi fosil yang tidak dapat diperbarui dan memiliki sifat *nonbiodegradable* atau sulit dapat terurai kembali. Berdasarkan uraian diatas maka diperlukan solusi alternatif isolasi cair yang dapat terdegradasi secara sempurna dan bahan organik yang ramah lingkungan, tidak beracun, memiliki titik api tinggi, yaitu minyak nabati. Pemanfaatan sumber daya nabati sebagai penghasil minyak terbarukan yang ramah lingkungan digunakan untuk dapat mengurangi ketergantungan pemakaian akan hasil olahan minyak bumi dan bahan-bahan tambang. Salah satu minyak nabati yang dipilih adalah minyak yang berasal dari biji buah kelapa sawit yang sudah diproses dan mudah didapat, mengingat Indonesia merupakan negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di

dunia dengan menghasilkan sekitar 85% hingga 90% dari total produksi minyak sawit dunia [1].

Beberapa penelitian terkait yang membahas mengenai penggunaan minyak nabati sebagai isolasi cair diantaranya penelitian yang dilakukan oleh K. Sundararajan dkk, 2013, penelitian ini mempelajari tentang nilai tegangan tembus dari minyak kelapa sawit mentah dan minyak kelapa sawit yang telah dimurnikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa minyak kelapa sawit mentah memiliki nilai tegangan tembus yang lebih rendah dibandingkan minyak kelapa sawit yang telah dimurnikan [2].

Penelitian yang dilakukan Kiasatina Azmi dkk., 2015, mempelajari kekuatan dielektrik dari pencampuran *Refined Bleached and Deodorized Palm Oil (RBDPO)* dan *Refined Bleached and Deodorized Soybean Oil (RBDSO)* dengan presentasi tertentu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan tembus terbaik didapatkan dari pencampuran 70 % *RBDPO* dan 30 % *RBDSO* sebesar 43 kV [3].

Penelitian yang dilakukan R. Abbas dkk., 2018, mempelajari tentang karakteristik tegangan tembus minyak kelapa sawit dengan penambahan nanopartikel silica sebagai aditif yang digunakan sebagai pemucat minyak kelapa sawit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel silica dapat meningkatkan kemampuan isolasi listrik dari minyak kelapa sawit [4].

Penelitian yang dilakukan M.I. Darwis dkk., 2020, yang menguji tegangan tembus minyak kelapa sawit yang ditambahkan dengan nanopartikel tanah liat sebagai pemucat minyak kelapa sawit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel tanah liat dapat meningkatkan kemampuan isolasi listrik dari minyak kelapa sawit [5].

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh M. Ricky Prianggoro, 2021, membahas tentang penggunaan bentonit dalam proses peningkatan kualitas minyak trafo bekas agar bisa digunakan lagi dan mempunyai nilai tegangan tembus yang mencapai standar. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan bentonit dalam proses pemucatan minyak trafo dapat meningkatkan tegangan tembus dari minyak trafo, namun nilai tegangan tembusnya belum memenuhi standar yang berlaku [6].

Berdasarkan hal yang dijelaskan di atas, maka penelitian ini selanjutnya akan menganalisis kelayakan minyak kelapa sawit dengan penambahan adsorben berupa zat aditif bentonit dan zeolit agar memperoleh tegangan tembus yang sesuai dengan standar sebagai isolator. Adsorben disini memiliki fungsi sebagai bahan yang mampu menyerap zat pengotor yang terkandung didalam minyak sehingga mampu membuat warna dari minyak nabati lebih jernih. Adapun parameter yang dilakukan untuk mengetahui kelayakan dari minyak nabati tersebut seperti melakukan analisa tegangan tembus minyak nabati dibandingkan menggunakan minyak mineral, melakukan analisa kadar air dan viskositas dari minyak nabati tersebut. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi alternatif dari penggunaan minyak nabati sebagai pengganti minyak isolasi pada transformator yang sebelumnya menggunakan minyak mineral.

1.2 Tujuan

Tujuan dari pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kualitas minyak nabati berdasarkan karakteristik tegangan tembusnya sebagai alternatif pengganti isolasi minyak transformator.
2. Menganalisis pengaruh bentonit dan zeolit terhadap tegangan tembus minyak nabati.
3. Menganalisis pengaruh viskositas dan kadar air terhadap tegangan tembus minyak nabati sebagai isolasi transformator.

1.3 Perumusan Masalah

Perumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh proses penambahan zat aditif bentonit dan zeolit terhadap nilai tegangan tembus minyak nabati.
2. Bagaimana pengaruh viskositas dan kadar air terhadap kualitas minyak nabati sebagai alternatif isolasi minyak transformator.
3. Bagaimana kelayakan minyak nabati berdasarkan tegangan tembusnya sebagai alternatif isoalasi cair transformator.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Objek pengujian dalam penelitian ini adalah minyak nabati dari kelapa sawit dengan penambahan zat aditif bentonit dan zeolit serta tidak membahas proses pembuatan dari minyak kelapa sawit
2. Tidak melakukan analisis reaksi kimia yang terjadi pada minyak kelapa sawit
3. Bahan adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah bentonit dan zeolit yang telah teraktivasi
4. Tidak membahas tentang masa pakai dan masa kadaluwarsa dari minyak nabati yang digunakan
5. Presentase bentonit dan zeolit yang digunakan untuk *bleaching* minyak nabati yaitu 0%; 2%; 2,5%; 3%; 3,5%; 4%; 4,5% dan 5%
6. Tidak mempertimbangkan partikel yang tidak terlihat pada botol dan jerigen sebagai wadah penyimpanan sampel uji minyak nabati
7. Pengujian yang dilakukan hanya pengujian tegangan tembus, pengujian viskositas dan pengujian kadar air
8. Tidak mempertimbangkan udara yang masuk dalam kotak uji pada saat pengujian tegangan tembus.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi dan rekomendasi tentang kelayakan minyak nabati (minyak kelapa sawit) sebagai alternatif pengganti minyak mineral untuk isolasi cair pada transformator, dengan mempertimbangkan ketersediaan minyak mineral yang semakin menipis di alam serta keberadaannya yang tidak dapat diperbaharui.

1.6 Hipotesis

Pada penelitian ini, minyak goreng digunakan sebagai media penelitian sekaligus menjadi pembanding terhadap penggunaan minyak mineral sebagai isolasi pada transformator. Penggunaan minyak goreng dengan penambahan zat aditif berupa bentonit dan zeolit yang teraktivasi asam klorida (HCl) mampu meningkatkan nilai

tegangan tembus (*voltage breakdown*) seiring dengan meningkatnya jumlah zat aditif yang ditambahkan dalam proses pemucatan dari minyak nabati dan mampu meningkatkan nilai tegangan tembus sesuai dengan standar yang digunakan yaitu lebih dari 30 KV/2,5 mm sehingga minyak goreng layak digunakan sebagai alternatif minyak 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 tentang hasil yang didapat pada saat pengujian, berupa hasil pengujian dari tegangan tembus minyak nabati, viskositas, dan kadar air setelah penambahan zat aditif bentonit dan zeolit yang teraktifasi asam klorida (HCl).

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi mengenai kesimpulan dan saran setelah penulis selesai melakukan penelitian ini berdasarkan dari hasil serta pembahasan yang telah didapat.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak Trafo

Minyak trafo yang umumnya digunakan dalam peralatan tegangan tinggi bahan baku jenis minyak mineral. Minyak trafo hampir tidak berwarna yang tersusun dari senyawa hidrokarbon yang terdiri dari *paraffin* (C_nH_{2n+2}), *naphthalene* (C_nH_{2n}) dan *aromatic* (C_nH_n). Ketika diaplikasikan untuk jangka waktu tertentu, minyak trafo difungsikan untuk mengalirkan panas dan jika panas mencapai sebesar suhu $95\text{ }^\circ\text{C}$ akan mengakibatkan proses penuaan pada minyak serta mengakibatkan warna minyak akan menjadi lebih gelap karena adanya zat pengotor dan resin atau lumpur pada minyak. Kegunaan minyak trafo adalah selain untuk bahan isolasi juga sebagai media pendingin antara kumparan kawat atau 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 [5]:

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 $20\text{ }^\circ\text{C}$ adalah $< 25\text{ cSt}$.
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 $-30\text{ }^\circ\text{C}$.

Berikut ini adalah Standar SPLN 49-1: 1982, Metoda Uji IEC 296 tentang standar minyak trafo ditunjukkan pada Tabel 2.1 Standar SPLN 49-1: 1982, Metoda Uji IEC 296:

Tabel 2. 1 Standar SPLN 49-1: 1982, Metoda Uji IEC 296 [6].

No.	Sifat Minyak	Satuan	Standar
1.	Massa Jenis (20° C)	g/cm ³	0,895
2.	Viskotas (20° C)	Cst	< 25
3.	Titik Nyala	°C	> 130
4.	Pour Point	°C	< - 30
5.	Kadar Asam	Mg KOH/g	< 0.40
6.	Tegangan Tembus	KV/2,5mm atau KV / Cm	> 30 atau >120
7.	Korosi Belerang	-	Tidak ada
8	Kotoran	%	<0.10

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 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). Berdasarkan susunan rantai hidrokarbon, maka senyawa inti dalam minyak bumi dibedakan menjadi beberapa kelompok utama, yaitu [7]:

1. Linear (Senyawa Parafin)

Rumus umum pada senyawa Parafin adalah C_nH_{2n+2} , misalnya metana CH_4 dalam bentuk gas dan normal butana C_4H_{10} . Minyak bumi linear digolongkan sebagai fraksi hidrokarbon jenuh yang mempunyai titik didih relatif rendah.

2. Sikloalifatik (Senyawa Naphtena)

Rumus umum pada senyawa Naphtena adalah C_nH_{2n} . Minyak bumi Sikoloafatik mempunyai struktur ikatan berbentuk lingkaran dengan enam atom karbon atau 14 atom karbon dengan tiga kelompok lingkaran.

3. Aromatik

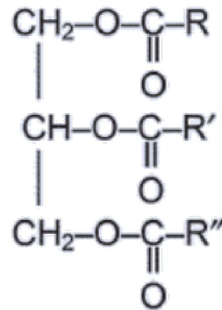
Minyak bumi aromatik merupakan senyawa yang mempunyai struktur enam atom karbon, terbagi menjadi dua golongan yakni monoaromatik (satu ikatan lingkaran) dan poliaromatik (dua atau lebih ikatan lingkaran). Minyak bumi aromatik digolongkan dengan fraksi hidrokarbon paling berbahaya, dikarenakan mempunyai titik didih tinggi dan mudah terlarut dalam air laut.

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. Minyak mineral yang diaplikasikan sebagai minyak trafo akan mengalami proses degradasi kualitas jika suhu yang dialirkan mencapai 95°C. Selain sebagai media isolasi, juga sebagai media pendingin antara inti besi dengan sirip pendingin. Agar minyak trafo berfungsi dengan baik, kualitas minyak harus sesuai dengan standar kebutuhan.

2.3 Minyak Nabati

Minyak nabati merupakan minyak yang berasal dari tumbuhan dengan melewati beberapa proses untuk dapat digunakan. Salah satu minyak nabati yang sering digunakan adalah minyak kelapa sawit. 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* [8]. 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 merupakan ester alami yang merupakan turunan dari gliserol (*glycerol*) dan dikenal sebagai trigliserida (*tryglycerides*) dengan susunan umum trigliserida, kelompok R, R', dan R'' merupakan kelompok rantai atom karbon dengan banyak atom yang

dimiliki adalah 14-22 dan mengandung nol hingga tiga ikatan rangkap [8]. Berikut ini merupakan struktur umum trigliserida ester alami minyak nabati pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Struktur umum trigliserida ester alami minyak nabati [8]

Berikut ini merupakan tabel 2.2 yang menampilkan standar yang harus dimiliki minyak isolasi baru sebagai isolasi transformator sebagai berikut :

Tabel 2. 2 Spesifikasi Minyak Isolasi Baru Standar SPLN 49-1 : 1982 [6]

No	Sifat	Satuan	Kelas 1	Kelas 2	Metode uji
1	Kejernihan	-	jernih	jernih	IEC 296
2	Massa Jenis	g/cm ³	≤ 0.985	≤ 0.985	IEC 296
3	Viskositas	cSt	≤ 40	≤ 25	IEC 296
4	Titik nyala	°C	≥ 140	≥ 130	IEC 296 A
5	Titik tuang	°C	≤ -30	≤ -40	IEC 296
6	Angka kenetralan	MgKOH/g	< 0.03	< 0.03	IEC 296
7	Tegangan Tembus	KV/2.5mm			IEC 156 dan
	a. Sebelum diolah		≥ 30	≥ 30	296
	b. Setelah diolah		≥ 50	≥ 50	
8	Faktor kebocoran dielektrik	-	≤ 0.05	≤ 0.05	IEC 250

2.4 Refined Bleached and Deodorized Palm Oil (RBDPO)

Minyak sawit adalah minyak yang berasal dari pengolahan buah kelapa sawit (*Elaeis guineensis jack*). Buah kelapa sawit terdiri dari serabut buah (*pericarp*) dan inti (*kernel*). Serabut buah kelapa sawit terdiri dari tiga lapis yaitu lapisan luar atau

kulit buah yang disebut *pericarp*. Lapisan sebelah dalam disebut *mesocarp* atau *pulp*, dan lapisan paling dalam disebut *endocarp*. Inti kelapa sawit terdiri dari lapisan kulit biji (*testa*), endosperm dan embrio. Mesocarp mengandung kadar minyak rata-rata sebanyak 56%, inti (*kernel*) mengandung minyak sebesar 44%, dan endocarp tidak mengandung minyak.

Minyak sawit mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO) disempurnakan menjadi RBDPO (*Refined Bleached and Deodorized Palm Oil*) yang artinya proses pemurnian, pemucatan dan menghilangkan bau pada minyak sawit mentah. RBDPO Olein dapat diperoleh dari produk minyak goreng yang banyak tersedia di pasar tradisional maupun modern. Minyak goreng yang baik mempunyai sifat tahan panas, stabil pada cahaya matahari, tidak merusak *flavor* hasil gorengan, sedikit *gum*, menghasilkan produk dengan tekstur dan rasa yang bagus. Standar mutu minyak goreng di Indonesia diatur dalam SNI 01-3741-2002 [9]. Berikut ini merupakan sifat – sifat fisika dan kimia dari minyak goreng kelapa sawit pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Sifat fisika dan kimia minyak goreng kelapa sawit [9]

Sifat	Nilai
Densitas (25 °C)	0.909 – 0.917 gr/cm ³
Bilangan Iod	48-56 mg I/100 gr
Bilangan Penyabunan	196-205 mg KOH/gr
Titik Nyala	324 °C
Titik Leleh	25 °C – 50 °C
Warna	Kuning, kuning kecoklatan
Tingkat Kejernihan	Jernih

Minyak sawit memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan minyak nabati lainnya. Dari segi ekonomi minyak kelapa sawit merupakan minyak nabati paling murah karena produktivitas sawit sangat tinggi. Minyak sawit juga mengandung betakaroten dan tokoferol sehingga dilihat dari segi gizi mempunyai keunggulan. Minyak kelapa sawit seperti minyak nabati umumnya merupakan senyawa yang tidak larut dalam air, sedangkan komponen penyusunnya yang utama adalah trigliserida dan nontrigliserida.

2.5 Dielektrik Cair

Kekuatan dielektrik merupakan kemampuan suatu material untuk menahan tegangan tinggi tanpa mengakibatkan terjadinya kegagalan dielektrik. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan dielektrik cair yaitu sifat atom dan molekul cairan dielektrik, material yang digunakan untuk membuat elektroda, suhu atau *temperature*, jenis tegangan yang diberikan, dan jenis gas yang terkandung pada cairan dielektrik. Beberapa faktor tersebut dapat merubah sifat molekul dari dielektrik cair. Menurut hukum Paschen's, besar kekuatan dielektrik cair adalah sekitar 10^7 V/cm. Kelebihan Dielektrik cair yaitu akan mengisi volume ruang yang akan diisolasi dan secara bersamaan akan mendisipasikan panas yang timbul akibat terpaan tegangan secara konveksi. Kemudian dielektrik cair mempunyai kemampuan untuk memperbaiki sendiri jika terjadi suatu pelepasan muatan (*discharge*)[2]. Dielektrik cair juga memiliki kekurangan saat di jadikan bahan isolasi adalah mudah terkontaminasi, dan setiap dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul terpaan listrik ketika terpaan listrik yang dipikul melebihi batas tersebut serta terpaanya berlangsung dengan waktu yang lama maka akan mengakibatkan dielektrik cair mengalami tegangan tembus atau "*breakdown*" [1]. Berikut adalah sifat-sifat dari dielektrik cair: [5]

2.5.1 Sifat - Sifat Fisika Dielektrik Cair (Minyak)

1. Massa jenis (*Spescific Mass*)

Massa jenis (*Spescific Mass*) merupakan nilai massa untuk setiap satuan volume suatu benda yang berbanding lurus, semakin besar massa jenis yang dimiliki suatu benda tersebut maka massa setiap volumenya juga akan semakin besar. Dielektrik cair (minyak) ini memiliki massa jenis yang lebih besar dibandingkan dengan massa jenis yang dimiliki oleh air.

2. Kekentalan (*Viscosity*)

Kekentalan (viskositas) adalah tahanan cairan yang mengalir secara merata dan tanpa jeda (kontinu). Viskositas merupakan faktor yang penting dalam proses untuk memindahkan panas secara konveksi. Semakin besar nilai viskositas maka kemampuan untuk menghantarkan panas akan semakin buruk.

3. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala (*flash point*) merupakan kondisi sesaat sebelum uap yang dihasilkan oleh proses pemanasan minyak menjadi api. Semakin tinggi nilai titik nyala pada suatu dielektrik cair (minyak) maka bahan tersebut semakin baik digunakan untuk isolasi peralatan.

4. Titik Tuang (*Pour Point*)

Titik tuang (*pour point*) adalah titik suhu terendah dimana minyak masih mampu untuk mengalir. Semakin besar nilai titik tuang pada dielektrik cair maka semakin buruk jika digunakan untuk bahan isolasi suatu peralatan.

2.5.2 Sifat - Sifat Kimia Dielektrik Cair (Minyak)

Pada umumnya senyawa penyusun dari minyak trafo adalah senyawa-senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon [10].

1. Kandungan Asam

Kandungan asam yaitu jumlah miligram dari *Potassium Hydroxide* (KOH) yang diperlukan untuk menitrasi semua unsur-unsur asam yang ada pada 1 gram sampel minyak. Proses oksidasi pada cairan minyak isolasi trafo akan menghasilkan senyawa asam dan akan meninggalkan endapan pada trafo.

2. Kandungan Gas

Gas terlarut dalam minyak trafo sebenarnya ada pada saat kondisi minyak trafo masih baru. Salah satu yang mempengaruhinya adalah perubahan suhu. Suhu yang semakin tinggi akan menyebabkan bertambahnya kandungan gas dan mengakibatkan kegagalan isolasi bahkan menyebabkan minyak terbakar.

3. Kandungan Air

Kandungan air dalam minyak trafo akan membahayakan trafo saat bekerja. Kandungan air serta oksigen yang cukup tinggi dapat mengakibatkan korosi, menghasilkan asam, endapan dan mengurangi usia kerja pada trafo. Salah satu penyebab terdapat kandungan air dalam minyak trafo adalah adanya udara. Pada inspeksi trafo ketika trafo dibuka, udara yang mengandung uap air akan masuk ke dalamnya karena adanya perbedaan tekanan parsial uap air.

2.5.3 Sifat - Sifat Listrik Dielektrik Cair

1. Tegangan Tembus (*Breakdown voltage*)

Tegangan tembus adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menembus lapisan dielektrik cair diantara dua buah elektroda, dinyatakan dalam satuan kV/cm pada kondisi suhu kamar. Besar nilai tegangan tembus yang rendah pada bahan dielektrik cair dapat terindikasi bahwa adanya kontaminasi pada bahan dielektrik cair tersebut seperti kandungan air, kotoran, atau partikel-partikel yang dapat mengurangi kekuatan dielektrik cair (minyak).

2. Tahanan jenis (*Resistivity*)

Besar nilai resistivitas dapat mengindikasikan adanya kandungan bahan-bahan yang bersifat konduktor. Nilai tahanan jenis yang tinggi pada dielektrik cair menunjukkan bahwa kandungan yang terdapat pada bahan dielektrik cair yang bersifat konduktor adalah kecil. Jika suhu kerja trafo mengalami peningkatan maka tahanan jenis dielektrik cair akan turun. Tahanan jenis minyak juga berhubungan dengan besar kadar asam, jika semakin rendah kadar asam pada dielektrik cair (minyak) maka tahanan jenis dari minyak tersebut akan semakin tinggi.

3. Faktor Kebocoran Dielektrik (*Dielectric Dissipation factor*)

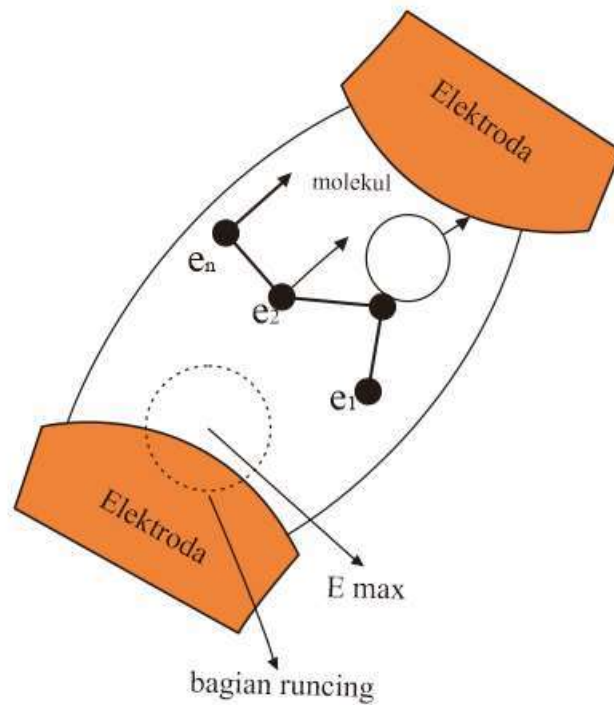
Faktor kebocoran dielektrik ($\tan \delta$), karakteristiknya yaitu sebuah alat untuk mengevaluasi efisiensi dielektrik, cukup peka dalam pendeteksian, dan sebagai indikator penilaian kerusakan dielektrik yang telah digunakan dalam waktu yang cukup lama.

2.6 Teori Kegagalan Isolasi Cair

Teori kegagalan isolasi yang terjadi pada minyak trafo dibagi menjadi empat jenis sebagai berikut[5] :

1. Teori kegagalan zat murni atau elektronik

Jika diantara elektroda diterapkan kuat medan yang sangat kuat, sedangkan pada elektroda tersebut terdapat permukaan yang tidak rata, maka kuat medan yang terbesar terdapat pada bagian yang tidak rata atau bagian runcing pada elektroda, yang kemudian memancarkan elektron (e). Kuat medan maksimum tersebut akan mengeluarkan elektron yang akan memulai terbentuknya banjir elektron (*electron alvalanche*) pada dielektrik cair. Kegagalan elektronik dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kegagalan elektronik [5]

Elektron (e) akan berbenturan dengan molekul-molekul dielektrik cair serta memulai terjadinya proses ionisasi. Proses ionisasi tersebut menghasilkan banjir elektron (*elektron avalanche*) dan menyebabkan munculnya arus konduksi dalam dielektrik cair dengan kuat medan listrik yang tinggi. Menurut Schottky (1923), kerapatan arus adalah [5] :

$$J = J_t e^{\frac{4,4\sqrt{E}}{T}} \quad (2.1)$$

$$J_t = AT^2 e^{-\frac{\phi}{kT}} \text{ dan } E = mE_a$$

Dengan

J : kerapatan arus induksi [Acm^{-2}]

J_t : kerapatan arus termionik [Acm^{-2}]

E_a : kuat medan yang diterapkan [Vcm^{-1}]

M : faktor ketidakrataan permukaan

2. Teori kegagalan gelembung gas (Kavitasi)

Adanya gelembung udara dalam isolasi cair yang memanjang dan searah dengan pergerakan medan yang kemudian menyambung antara satu dengan yang lain sehingga menjadi jembatan gelembung gas yang merupakan awal dari proses kegagalan total dari isolasi cair. Besar medan listrik dalam gelembung gas pada isolasi cair yaitu :

$$E_b = \frac{3\varepsilon_1 E_0}{2\varepsilon_1 + 1} \quad (2.2)$$

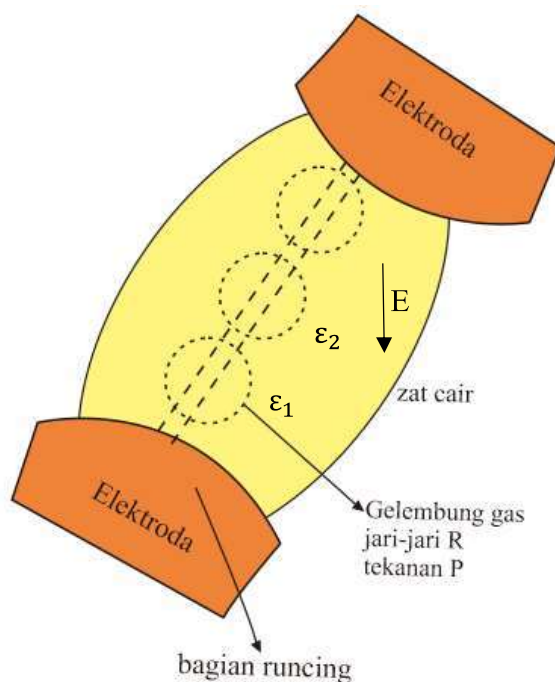
Dengan

E_b : medan listrik dalam gelembung udara [Vcm^{-1}]

ε_1 : permitivitas media isolasi cair

E_0 : medan listrik dalam media cair tanpa gelembung [Vcm^{-1}]

Jika besar E_b sama dengan batas medan pada ionisasi gas, maka akan timbul lompatan listrik dalam gelembung. Peristiwa tersebut akan mempercepat terbentuknya gas karena dekomposisi media isolasi cair dan dapat menyebabkan kegagalan isolasi. Gambar 2.3 menunjukkan pengaruh medan terhadap gelembung udara.



Gambar 2.3 Pengaruh medan terhadap gelembung udara [5]

3. Teori kegagalan uap air

Air dan uap air terdapat pada minyak, terutama pada minyak yang telah lama digunakan. Jika bola cair diterpa medan listrik, maka akan berubah menjadi sferoida. Medan listrik dari konduktor akan menyebabkan bola cair dalam minyak akan tersusun semacam jembatan yang menghubungkan kedua elektroda, sehingga timbul lucutan-lucutan listrik yang dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan isolasi. Besar medan E_2 didalam bola cair yang diterpa medan listrik E yaitu:

$$E_2 = \frac{\varepsilon_1 E}{\varepsilon_1 - (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)G} \quad (2.3)$$

Dimana

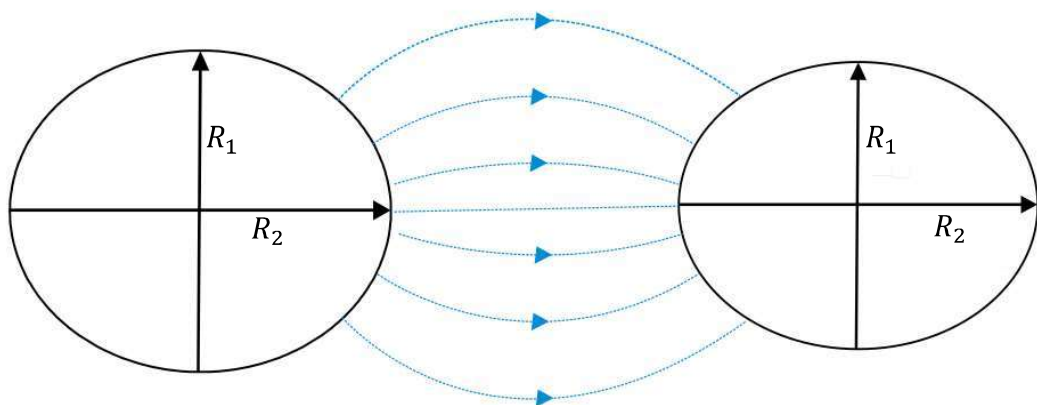
$$G : \frac{1}{\gamma^2 - 1} \left\{ \frac{\gamma \cos h^{-1} \frac{1}{\gamma}}{(\gamma^2 - 1)^{\frac{1}{2}}} - 1 \right\} \text{ dan } \gamma = \frac{R_2}{R_1}$$

ε_1 : permitivitas isolasi cair

ε_2 : permitivitas bola cair

E_2 : medan listrik dalam media cair tanpa gelembung [Vcm^{-1}]

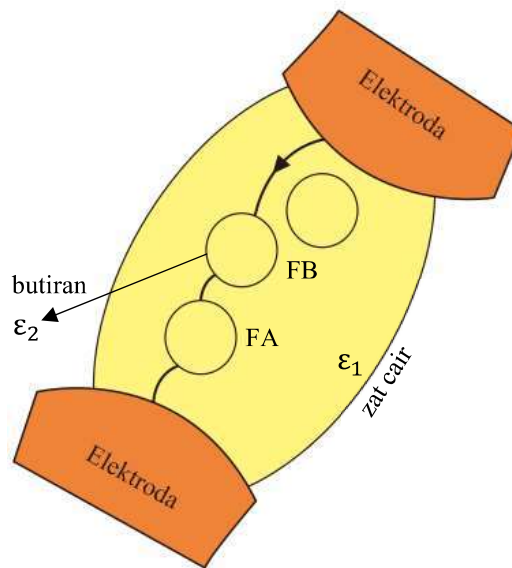
Kemudian berikut ini adalah gambar medan listrik yang berbentuk sferoida pada Gambar 2.4 :



Gambar 2.4 Medan listrik bentuk sferoida [5]

4. Teori kegagalan tak murnian padat

Partikel debu atau serat selulosa yang ada disekeliling isolasi padat (kertas) seringkali ikut tercampur dengan minyak. Selain itu partikel padat ini pun dapat terbentuk ketika terjadi pemanasan dan tegangan lebih. Pada saat terjadi medan listrik, partikel – partikel akan terpolarisasi dan membentuk jembatan. Arus akan mengalir melalui jembatan dan menghasilkan pemanasan lokal serta menyebabkan terjadinya kegagalan. Gambar 2.5 menunjukkan pengaruh medan terhadap tak murnian padat di minyak isolasi.



Gambar 2.5 Tak murnian padat [5]

Besar gaya pada butiran padat dalam situasi medan tak seragam adalah

$$F = r^3 \varepsilon_1 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 + \varepsilon_1} E \text{ grad } E \quad (2.4)$$

Dengan

r : jari-jari butiran

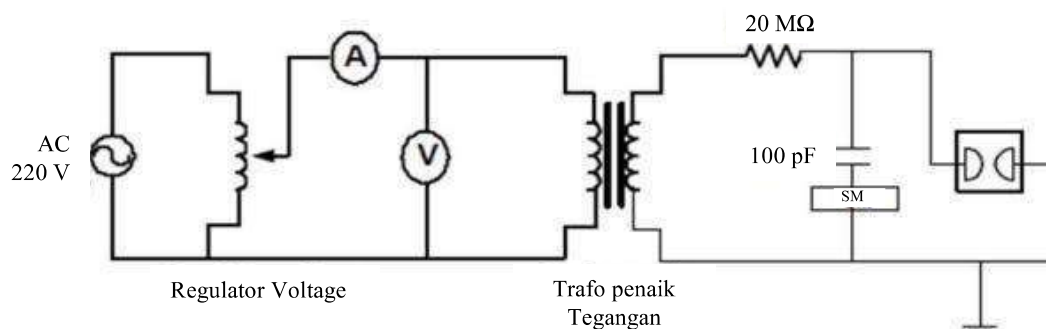
grad E : gradient tegangan

Apabila $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ maka gaya yang bekerja pada butiran padat akan searah dengan arah tekanan listrik maksimum F_A sehingga butiran padat akan terdorong ke arah bagian yang kuat dari medan. Sebaliknya, apabila $\varepsilon_2 < \varepsilon_1$ maka arah gaya akan berlawanan

dengan tekanan listrik maksimum F_B . Besarnya nilai gaya akan sebanding dengan ϵ_2 .

2.7 Pengujian Tegangan Tembus Minyak

Kelayakan tegangan tembus minyak trafo harus dipastikan terlebih dahulu dengan dilakukan pengujian tegangan tembus minyak menggunakan tegangan tinggi AC untuk membangkitkan tegangan tinggi arus bolak-balik. Trafo uji yang digunakan adalah trafo satu fasa, hal ini disebabkan pengujian biasanya dilakukan untuk setiap fasa. Pengujian tegangan tembus minyak trafo sumber tegangan bolak - balik yang di gunakan yaitu AC 220V kemudian terdapat regulator tegangan yang berfungsi untuk menaik turunkan tegangan secara manual, trafo tegangan 100 KV sebagai penaik tegangan maksimal 100 KV, resistor disini berfungsi sebagai penahan apabila nilai tegangan tembus sudah di dapatkan agar tegangan tidak bisa naik terus oleh karena itu dipasanglah resistor, kapasitor disini berfungsi sebagai penunjuk hasil dari pengujian tegangan tembus tersebut, sedangkan yang terakhir ada elektroda pada kotak uji yang berfungsi sebagai patokan titik tembus minyak dengan jarak 2.5mm. Berikut ini adalah gambar rangkaian pengujian tegangan tembus minyak [11]:



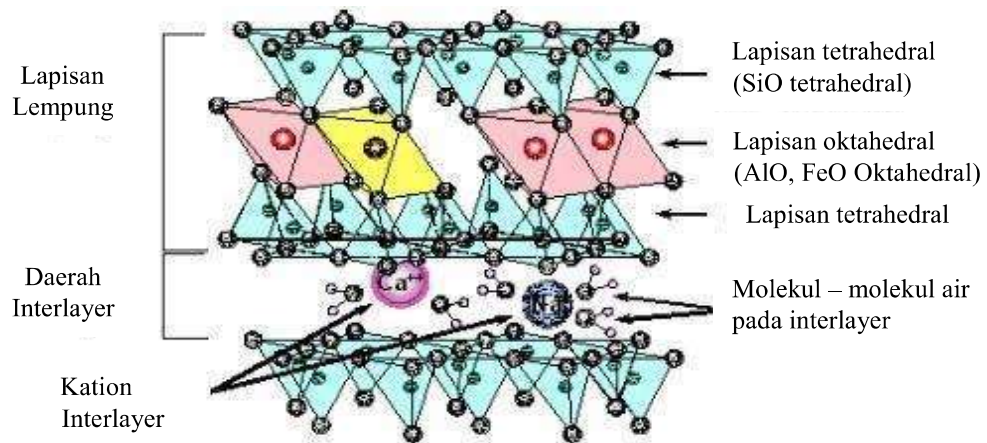
Gambar 2. 6 Rangkaian pengujian tegangan tembus minyak [11]

Suatu dielektrik tidak mempunyai elektron-elektron bebas, melainkan elektron-elektron yang terikat pada inti atom unsur yang membentuk dielektrik tersebut. Suatu dielektrik ditempatkan diantara dua elektroda piring sejajar. Bila elektroda diberi tegangan searah V , maka akan timbul medan listrik (E) di dalam dielektrik. Medan listrik ini akan memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Maka dapat dikatakan bahwa

medan listrik merupakan suatu beban yang menekan dielektrik agar berubah sifat menjadi konduktor. Beban yang dipikul dielektrik disebut juga terpaan medan listrik yang satuannya dinyatakan dalam Volt/cm. Setiap dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul terpaan listrik. Jika terpaan listrik yang melebihi batas tersebut dan terpaan berlangsung lama, maka dielektrik akan menghantar arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam hal ini dielektrik mengalami tembus listrik atau “*breakdown*” [12].

2.8 Bentonit

Bentonit adalah bahan mineral alam yang banyak digunakan dalam bidang industri sebagai bahan penyerap (adsorben), sebagai bahan pengambil kontaminan organik dalam air. Bentonit banyak digunakan dalam aplikasi proses katalis, proses adsorpsi maupun sebagai resin penukar ion di berbagai industri. Bentonit banyak dijadikan sebagai alternatif dalam proses adsorpsi karena montmorillonit yang memiliki ukuran ruang antar lapis yang mempunyai kapasitas besar pada proses adsorpsi sehingga efektif sebagai adsorben. Sedangkan dalam proses pertukaran ion, bentonit dapat menyerap bahan kontaminan logam dengan baik. Sifat pertukaran ini berasal dari muatan negatif yang ada dalam jaringan kristal bentonit yang bermuatan positif seperti kation logam, baik yang bersifat radioaktif maupun non radioaktif. Bentonit mengandung mineral monmorilonit atau dikenal dengan mineral *phyllosilicate* 2:1 yang memiliki rumus kimia $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot x H_2O$ [8]. Struktur atom monmorilonit terdiri atas lapisan oktahedral dari alumina yang diapit oleh lapisan tetrahedral silika, artinya silikat yang berbentuk lembaran yang strukturnya terdiri dari lapisan oktahedral yang disusun oleh $Al(O,OH)$. Bentonit mengandung lebih kurang 85 % berat dengan komposisi kimia 66 % SiO_2 , 28,3 % Al_2O_3 dan 5 % H_2O . Sedangkan kedua sisi lapisan oktahedral ini diapit oleh 2 (dua) lapisan tetrahedral yang disusun oleh $Si(O,OH)$. Dengan adanya substitusi unsur dengan bilangan oksidasi lebih rendah, seperti Si^{4+} digantikan dengan Al^{3+} (dalam lapisan tetrahedral) atau Al^{3+} digantikan dengan Mg^{2+} atau Fe^{2+} (dalam lapisan oktahedral) maka strukturnya bermuatan negatif secara permanen [13]. Gambar 2.7 menunjukkan struktur monmorilonit pada bentonit.



Gambar 2.7 Struktur Monmorilonit pada Bentonit [13]

Secara umum kandungan yang ada dalam benonit di tunjukan pada Tabel 2.4 komposisi kimia bentonit. Sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Komposisi kimia bentonit [14]

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

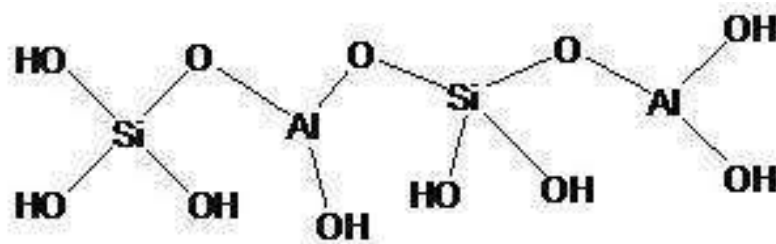
Secara umum pembentukan bentonit berasal dari proses geologis abu vulkanik yang mengalami perubahan yang disebabkan oleh proses hidrotermal, proses pelapukan maupun pergeseran kimia. Bentonit juga terdapat pada batuan plutonik dengan proses pemebentukan yang lebih lambat dari abu vulkanik. Pembentukan bentonit di pengaruhi oleh komponen utama yaitu mineral yang terkandung di dalamnya, dan

proses terbentuknya juga dipengaruhi oleh tempat saat proses pembentukan bentonite [15].

Secara umum Bentonit dalam aplikasinya digunakan dalam tiga hal yaitu sebagai resin penukar ion, adsorben dan penyerap air dengan jumlah besar tanpa pengembangan volume terutama pada Ca-bentonit[8]. 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 *efek fine us* tanpa resin. Bentonit sering juga di manfaatkan dalam pengolahan limbah cair pada industri rayon dalam prinsip adsorpsi. Bentonit atau *fuller earth* digunakan saat proses penjernihan warna pada industri minyak. Nama lain dari bentonit adalah *bleaching earth* atau tanah pemucat yang digunakan dalam penjernihan tekstil, minyak serta lemak. Penggunaan bentonit ini bisa lebih efektif jika bentonit diaktivasi dulu dengan tujuan mempreluas permukaan sehingga kapasitas adsorpsi bisa lebih besar [17].

2.9 Zeolit

Zeolit merupakan mineral hasil tambang yang bersifat lunak dan mudah kering. Warna dari zeolit adalah putih keabu-abuan, putih kehijau-hijauan, atau putih kekuning-kuningan. Ukuran kristal zeolit kebanyakan tidak lebih dari 10–15 mikron Zeolit terbentuk dari abu vulkanik yang telah mengendap jutaan tahun silam. Sifat-sifat mineral zeolit sangat bervariasi tergantung dari jenis dan kadar mineral zeolit. Zeolit mempunyai struktur berongga biasanya rongga ini diisi oleh air serta kation yang bisa dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekuler, senyawa penukar ion, sebagai filter dan katalis. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral $[AlO_4]$ dan $[SiO_4]$ yang saling berhubungan melalui atom O. Berikut Gambar 2.8 yang menggambarkan struktur kimia dari zeolit.



Gambar 2.8 Struktur Kimia Zeolit [18]

Zeolit mempunyai sifat-sifat kimia, diantaranya [17] :

1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi zeolit berpengaruh terhadap sifat jerapannya. Keunikan zeolit terletak pada struktur porinya yang spesifik. Pada zeolit alam didalam pori - porinya terdapat kation-kation atau molekul air. Bila kation-kation atau molekul air tersebut dikeluarkan dari dalam pori dengan suatu perlakuan tertentu maka zeolit akan meninggalkan pori yang kosong.

2. Penjerapan

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air yang berada disekitar kation. Bila zeolit dipanaskan maka air tersebut akan keluar. Zeolit yang telah dipanaskan dapat berfungsi sebagai penjerap gas atau cairan.

3. Penukar Ion

Ion-ion pada rongga berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung dari sifat kation, suhu, dan jenis anion.

4. Katalis

Zeolit sebagai katalis hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa mempengaruhi kesetimbangan reaksi karena mampu menaikkan perbedaan lintasan molekular dari reaksi. Katalis berpori dengan pori-pori sangat kecil akan memuat molekul-molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk. Selektivitas molekular seperti ini disebut *molecular sieve* yang terdapat dalam substansi zeolit alam.

5. Penyaring / pemisah

Zeolit sebagai penyaring molekul maupun pemisah didasarkan atas perbedaan bentuk, ukuran, dan polaritas molekul yang disaring. Sifat ini disebabkan zeolit mempunyai ruang hampa yang cukup besar. Molekul yang berukuran lebih kecil dari ruang hampa dapat melintas sedangkan yang berukuran lebih besar dari ruang hampa akan ditahan.

2.10 Aktivasi Zat Aditif (Bentonit dan Zeolit)

Terdapat dua cara untuk mengaktivasi bentonit dan zeolit yaitu dengan cara kimia dan fisika. Aktivasi dengan cara fisika dilakukan dengan pemanasan sedangkan dengan cara kimia dilakukan dengan pemberian asam atau basa. Aktivasi bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan, sehingga pori lebih terbuka dan proses adsorpsi lebih maksimal. Proses aktivasi dengan perlakuan asam HCl pada konsentrasi 0,1N hingga 11N menyebabkan bentonit dan zeolit mengalami dealuminasi dan dekationisasi yaitu keluarnya Al dan kation-kation dalam kerangka. Aktivasi asam menyebabkan terjadinya dekationisasi yang menyebabkan bertambahnya luas permukaan bentonit dan zeolit karena berkurangnya pengotor yang menutupi pori-pori. Luas permukaan yang bertambah diharapkan meningkatkan kemampuan bentonit dan zeolit dalam proses penyerapan [17].

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro dan Laboratorium Analisis dan Instrumentasi Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung. Untuk pengujian tegangan tembus dilaksanakan di PT. PLN Gardu Induk Teluk Betung dari bulan September-Februari 2023.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini sebagai berikut :

1. *Megger OTS80Af Oil Tester*
2. Neraca Digital Analitik
3. Gelas *Beaker* 500 ml
4. Minyak Nabati (Minyak Goreng Kelapa Sawit)
5. Kertas saring (*Creape Paper*)
6. Bentonit
7. Zeolit
8. *Magnetic Stirrer*
9. 30 Botol Kalee dengan kapasitas 500 ml
10. Corong minyak
11. Jerigen
12. Oven Digital
13. Viskometer
14. Stopwatch

3.3. Tahapan Penelitian

Dalam tugas akhir ini terdapat tahapan-tahapan penyelesaian yaitu sebagai berikut

1. Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis mempelajari dan mengumpulkan literatur mengenai penggunaan minyak nabati sebagai isolasi cair serta standar yang digunakan. Literatur tersebut berasal dari beberapa sumber, seperti buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu.

2. Melakukan Aktivasi Zat Aditif

Zat aditif bentonit yang digunakan pada penelitian ini telah teraktivasi secara asam dengan pH sebesar 3,5. Proses aktivasi bentonit dan zeolit dengan menggunakan kontak asam sulfat (HCl) adalah aktivasi secara kimia, dengan Tujuan dari aktivasi bentonit yaitu untuk menukar kation Ca^{+2} yang ada dalam Ca-Bentonit menjadi ion H^{+} dan melepaskan ion Al, Fe, dan Mg dan pengotor-pengotor lainnya pada kisi-kisi struktur, sehingga secara fisik bentonit tersebut menjadi aktif [9]. Aditif zeolit diaktivasi dengan melakukan pemanasan pada suhu 300°C selama 3 jam. Pemanasan pada zeolite bertujuan untuk meningkatkan kemampuan penjerapannya, karena pemanasan dapat membuka pori – pori dalam zeolit serta mengurangi kadar air pada zat aditif tersebut.

3. Menimbang Bentonit dan Zeolit

Sebelum mencampurkan minyak dengan bentonit dan zeolit, harus dilakukan proses penimbangan sesuai dengan rasio konsentrasi yang telah ditentukan. Bentonit dan zeolit ditimbang dengan rasio 2%; 2,5%; 3%; 3,5%; 4%; 4,5% dan 5% dari massa sampel minyak yang akan diuji. Untuk menentukan berat bentonit sesuai dengan rasio dari berat massa sampel minyak dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1 yaitu:

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

Dimana :

ρ : Massa jenis minyak (g/ml)

M : Massa minyak (g)

V : Volume sampel minyak (ml)

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

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

Setelah mengetahui berat bentonit yang dibutuhkan, maka bentonit ditimbang menggunakan neraca digital analitik.

4. Mencampurkan Zat Aditif Teraktivasi dengan Minyak

Bentonit dan zeolit yang telah teraktivasi, selanjutnya dicampurkan dengan minyak goreng sawit 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]. Setelah itu, minyak goreng kemudian disaring menggunakan media *Creape Paper* untuk memisahkan endapan bentonit dan minyak tersebut. Setelah proses pemisahan selesai, bentonit yang mengendap akan ditimbang dengan tujuan akan digunakan sebagai data analisis pengaruh bentonit terhadap kejernihan minyak.

5. Melakukan Pengujian Viskositas

Prosedur pengujian viskositas ini menggunakan metode *Viscometer Ostwald*. Pengujian dilakukan dengan menghitung waktu yang dibutuhkan minyak untuk mengalir dalam pipa kapiler dari a ke b. Pengujian diawali dengan mengukur densitas (massa jenis) sampel minyak dengan menggunakan piknometer dan menimbanginya pada neraca digital. Sampel minyak yang akan di uji mempunyai temperatur 40°C (standar IEC 60296). Selanjutnya sampel minyak dimasukkan ke dalam *Viscometer Ostwald* sampai sampel minyak diatas tanda a. Cairan dibiarkan mengalir ke bawah, hitung waktu yang diperlukan minyak untuk mengalir dari titik a ke b menggunakan *stopwatch*. Proses ini diulangi hingga tiga kali, hal ini dilakukan untuk

mengambil nilai rata-rata waktu yang dibutuhkan bola untuk mencapai dasar tabung yang selanjutnya akan dipergunakan untuk perhitungan viskositas[16]. Dengan demikian viskositas dapat diukur dengan persamaan:

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

$$\eta = \frac{\eta_0 \rho t}{\rho_0 t_0} \quad (3.4)$$

$$V = \frac{\eta}{\rho} \quad (3.5)$$

Dimana ρ adalah massa jenis minyak (gram/ml), v adalah volume minyak, m_1 adalah massa piknometer (g), m_2 adalah massa piknometer dan sampel minyak (g), η adalah viskositas dinamik cairan sampel (poise), η_0 adalah viskositas cairan pembanding (poise), t_0 adalah waktu alir cairan pembanding (s), t adalah waktu sampel mengalir (s), d_0 adalah massa jenis aquades (gram/ml), V adalah viskositas kinematic cairan sampel (St).

6. Melakukan Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air ini mengacu pada standar SNI 3741:2013. Metode yang digunakan pada pengujian ini yaitu menggunakan pemanasan dalam oven digital. Sebelum sampel minyak dipanaskan, cawan yang digunakan sebagai wadah sampel disterilkan terlebih dahulu dengan cara dipanaskan selama 30 menit pada suhu 130° dan kemudian dinginkan dalam desikator untuk menghilangkan kadar air yang menempel pada cawan. Selanjutnya cawan yang masih kosong ditimbang untuk mengetahui massanya dan cawan yang telah berisi sampel minyak juga ditimbang untuk mengetahui massa dari sampel minyak. Kemudian panaskan cawan berisi sampel dalam oven pada suhu 130° selama 30 menit. Setelah itu, dinginkan sampel ke dalam desikator selama 20 menit sampai suhunya sama dengan suhu ruangan kemudian timbang. Lakukan langkah sebelumnya hingga didapatkan bobot yang stabil [16].

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} 100 \% \quad (3.6)$$

Dengan W_0 adalah berat cawan tanpa sampel (gram), W_1 adalah berat cawan dan sampel sebelum dipanaskan (gram), dan W_2 adalah berat cawan dan sampel yang telah dipanaskan (gram).

7. Melakukan Pengujian Tegangan Tembus

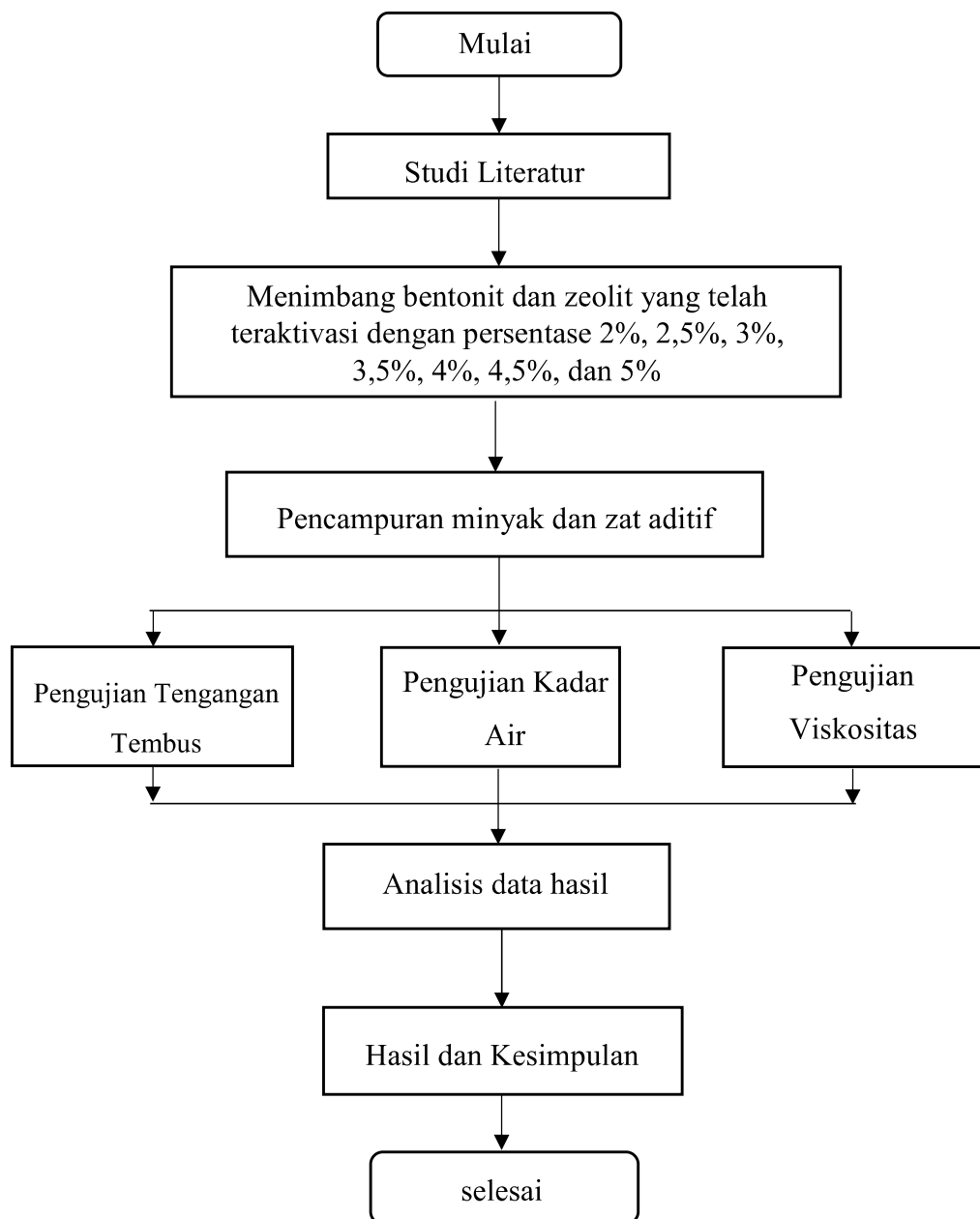
Minyak yang telah dilakukan proses *bleaching* sebelumnya, kemudian diuji kekuatan dielektriknya (tegangan tembus) dengan menggunakan dua elektroda yang saling didekatkan dan minyak diletakkan diantara dua elektroda dengan tegangan pengujian minimum ≤ 30 kV (sesuai dengan SPLN-49 1982 mengenai tegangan tembus dielektrik cair untuk transformator). 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 goreng sawit sebagai sampel uji tegangan tembus ke dalam tabung uji. Waktu yang dibutuhkan setelah mehidupkan 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 [19].

8. Pembuatan Laporan

Pada tahap ini, penulis menyajikan hasil dari penelitian dalam bentuk laporan akhir. Hasil penelitian ini adalah menganalisis data dari pengujian minyak goreng kelapa sawit 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.

3.3. Diagram Alir Penelitian

Urutan diagram alir proses penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Tegangan tembus RBDPO meningkat seiring dengan bertambahnya rasio zat aditif bentonit dan zeolit yang digunakan pada proses pemucatan minyak
2. Tegangan tembus RBDPO dengan penambahan zat aditif bentonit dan zeolit dengan rasio 4,5 % dan 5 % telah memenuhi standar IEC 156 yaitu sebesar ≥ 30 kV. Berdasarkan nilai tegangan tembusnya, RBDPO layak digunakan dan dikembangkan sebagai alternatif minyak isolasi transformator.
3. Tegangan tembus RBDPO meningkat seiring dengan menurunnya kandungan air dan viskositas dari minyak. Sampel minyak dengan nilai kadar air 0,041 % dan viskositas 24,47 cSt menghasilkan tegangan tembus sebesar 45 kV dan sampel dengan kadar air 0,124 % dan viskositas 32,01 cSt memiliki tegangan tembusnya 18 kV. Nilai viskositas dari setiap sampel belum memenuhi standar IEC 296 karena melebihi 12 cSt ketika suhu 40° C.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian lebih lanjut, dapat dilakukan pengujian terhadap faktor-faktor lainnya. Seperti kadar asam, kekuatan dielektrik, dan faktor kebocoran dielektrik.
2. Melakukan penelitian dengan sampel minyak nabati yang dicampur dengan minyak mineral dengan perbandingan tertentu, untuk mendapatkan nilai viskositas yang sesuai dengan standar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Setiawan, R., Murdiya, F. (2017). Perancangan Alat dan Pengujian Tegangan Tembus dengan Minyak Isolasi RBDPO Olein Menggunakan Elektroda Bola-Bola. *Jom FTEKNIK*. Universitas Riau. Volume 4 No.2.
- [2] K. Sundararajan, V. Raj, dan M. A. Jayalakshmi. (2013). *Investigation of Breakdown Characteristics of Purified and Crude Coconut Oil Under AC and DC Voltages*. Electrical Insulation Conference (EIC), 2013 IEEE, Ottawa, ON, pp. 105-108.
- [3] Azmi, K.; Ahmad, A.; Kamarol, M. (2015). *Study of Dielectric Properties of a Potential RBD Palm Oil and RBD Soybean Oil Mixture as Insulating Liquid in Transformer*. *Journal of Electrical Engineering and Technology*. Universiti Sains Malaysia. 2105-2119.9.2.662.
- [4] Azis, N.; Jasni, J.; Kadir Mohd Zainal Abidin, A.; Mohtar Mohd, N. (2014). *Suitability of Palm Based Oil as Dielectric Insulating Fluid in Transformers*. *Journal of Electrical Engineering and Technology*.9-662-669, <https://doi.org/10.5370/JEET.2014.9.2.662>.
- [5] R. Abbas, A. H. Shuaib, dan M. R. Arshad. (2018). *Improvement of Electrical Insulation Properties of Coconut Oil Using Silica Nanoparticles As an Additive*. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1019, No. 1, p. 012013.
- [6] M. I. Darwis, M. F. Rahiman, S. S. Harun, dan S. A. Yasin. (2020). *Effect of Nanoclay Content on Breakdown Voltage and Other Electrical Properties of Coconut Oil-Based Nanofluids*. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-11.

- [7] Prianggoro, M. R. (2022). Analisis Tegangan Tembus Minyak Trafo Bekas Dengan Menggunakan Bentonit (Studi Kasus pada PT. Artha Graha Pratama Berdikari). *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, Vol. 16 , No. 2, 130-138.
- [8] 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. ISSN: 2069-5837
- [9] Suherman, E., Akbar, M. (2020) Analisis Karakteristik Minyak Transformator Starlite 400 kVA Terhadap Tegangan Tembus. *Jurnal Sains dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Dharma Persada*. Jakarta Timur. ISSN: 2962-5300
- [10] SPLN 49-1. (1982). Minyak Isolasi. Perusahaan Umum Listrik Negara.
- [11] Bashi, S.; Abdullahi, U.U.; Yunus, R.; Nordin, A. (2006). *Use of Natural Vegetable Oils as Alternative Dielectric Transformer Coolants*. *Journal of the The Institution of Engineers*. Malaysia. 67, 4-9.
- [12] Pratiwi, A. I., Nurkamiden, K., & Putra , E. F. (2020). Pengaruh Penambahan Fenol Terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator. *Jurnal Teknologi Terpadu*. Universitas Ichsan Gorontalo. 20(2), 2338 - 66649
- [13] 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).
- [14] Rahmawati, & Raharjo, E. P. (2014). Evaluasi Kandungan Gas (DGA) Dengan Metode Kromatografi Gas Terhadap Nilai Tegangan Tembus Pada Minyak Jarak Yang Telah Melalui Proses Transesterifikasi Sebagai Alternatif Minyak Transformator. *Jurnal Teknik Elektro Fakultas Teknik*, Universitas Sriwijaya. 1(3), 23-31

- [15] 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. Rajasthan India.. 14(4), 23-41*
- [16] Nirmalasari, Ariwinoto, D., Kamil Amali, L. M., Tolago, A., I. (2022). Pengaruh Viskositas dan Kadar Air Terhadap Breakdown Isolasi Minyak Trafo Shell Diala B. Universitas Gorontalo. *ELECTRICH SAN*, pISSN: 2252-8237, 47-52.
- [17] Bahri, S., (2014). Pengaruh Adsorben Bentonit Terhadap Kualitas Pemucatan Minyak Inti Sawit. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri. Palembang. 25(1), 63-69*
- [18] Qin, C., Li, W., Meng, Z., Zhu, A., Zheng, K., & Chen, H. (2020) *Preparation of Bentonite/Chitosan Composite for Bleaching of Deteriorating Transformer Oil. Hubei Engineering University. China. 12(60), 1-16*
- [19] Fajriani, I., Y., Syaiful, A. Z., & Ariani, F. (2022). Pemanfaatan Zeolit Yang Teraktivasi Asam Klorida (HCl) Sebagai Adsorben Logam Berat Timbal (Pb). *Jurnal Saintis Universitas Bosowa. 3(1), 58-69*
- [20] Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2013). *Minyak Goreng. SNI 3741-2013. Jakarta*
- [21] Umiati, Ngurah Ayu Ketut. (2009). Pengujian Kekuatan Dielektrik Minyak Sawit dan Minyak Castrol Menggunakan Elektroda Bola-Bola dengan Variasi Jarak Antar Eektroda. Universitas Diponegoro : Semarang. 2089-2020
- [22] J. Energi. (2018). Pengaruh Kadar Air Terhadap Tegangan Tembus vol. 10, no. 2, pp. 129– 136.