



ANALISIS KELAYAKAN MINYAK BIJI KETAPANG SEBAGAI BAHAN ISOLASI CAIR TRANSFORMATOR

TUGAS AKHIR

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



Oleh :

RETNO AULIA SETIANI

12150523832

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

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2025

© Hak cipta dimiliki UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



State Islamic University of Sultan Syarif Kasim



© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS KELAYAKAN MINYAK BIJI KETAPANG SEBAGAI BAHAN ISOLASI CAIR TRNASFORMATOR

TUGAS AKHIR

oleh:

RETNO AULIA SETIANI
12150523832

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 01 Juli 2025

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T
NIP. 197210212006042001

Pembimbing

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

UIN SUSKA RIAU



LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KELAYAKAN MINYAK BIJI KETAPANG SEBAGAI BAHAN ISOLASI CAIR TRANSFORMATOR

TUGAS AKHIR

Oleh:

RETNO AULIA SETIANI
12150523832

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

di Pekanbaru, pada tanggal 01 Juli 2025

Pekanbaru, 01 Juli 2025

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Ketua Prodi Teknik Elektro

Dr. H. Hartono, M.Pd.

NIP. 19640301 199203 1 003

Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T

NIP. 19721021 200604 2 001

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Oktaf Brilian Kharisma, S.T., M.T.

Sekretaris : Dr. Liliana, S.T., M.Eng

Anggota 1 : Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T

Anggota 2 : Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc.

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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim



LEMBAR ATAS HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan, dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

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

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta dimiliki UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertnda tangan dibawah ini:

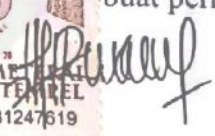
Nama	: Retno Aulia Setiani
NIM	: 12150523832
Tempat/Tanggal Lahir	: Hangtuah/05 September 2001
Fakultas	: Sains dan Teknologi
Prodi	: Teknik Elektro
Judul Artikel	:

ANALISIS KELAYAKAN MINYAK BIJI KETAPANG SEBAGAI BAHAN ISOLASI CAIR TRANSFORMATOR

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

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

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

Pekanbaru, 01 Juli 2025

 buat pernyataan,

Retno Aulia Setiani
NIM.12150523832



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang
*Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya berilmu, dan barang
 siapa yang menghendaki kehidupan akhirat, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa
 yang menghendaki keduanya, maka wajib baginya berilmu.*

(HR Tirmidzi)

Terima kasih Ya Allah...

Segala puji dan syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, dan kasih sayang-Nya yang tiada henti. Berkat izin dan kehendak-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Allah SWT adalah Dzat Yang Maha Membolak-balikkan hati. Semoga penulis senantiasa diteguhkan dalam keimanan dan kebaikan. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan umat, pembawa risalah yang mulia, serta pembangun peradaban yang luhur dan berakhlak.

Orang Tua Tercinta

Dengan penuh rasa hormat dan cinta, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ayah dan Ibu tercinta atas segala doa, dukungan, dan kasih sayang yang tulus. Tanpa kehadiran, pengorbanan, dan peran penting dari Ayah dan Ibu, pencapaian ini tidak akan mungkin terwujud. Karya ini penulis persembahkan sebagai wujud rasa syukur dan penghargaan yang mendalam. Semoga menjadi langkah awal yang membawa kebahagiaan dan kebanggaan bagi Ayah dan Ibu.

Dosen Pembimbing

Ibu Dr. Liliana, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bimbingan, arahan, dan motivasi yang telah diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini. Berkat ilmu, kesabaran, dan perhatian Ibu, tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga segala bantuan dan kebaikan yang telah Ibu berikan menjadi amal jariyah yang terus mengalir amin...



ANALISIS KELAYAKAN MINYAK BIJI KETAPANG SEBAGAI BAHAN ISOLASI CAIR TRANSFORMATOR

RETNO AULIA SETIANI
NIM.12150523832

Tanggal Sidang: 01 Juli 2025

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim

Jl. Soebrantas No.155 Pekanbaru

ABSTRAK

Transformator daya merupakan komponen penting dalam sistem tenaga listrik yang sangat bergantung pada minyak isolasi untuk menjaga keandalan dan keamanan operasionalnya. Namun, penggunaan minyak mineral sebagai isolator cair memiliki kelemahan dari segi keberlanjutan dan dampak lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan minyak biji ketapang (*Terminalia catappa*) sebagai alternatif bahan isolasi cair transformator yang ramah lingkungan. Ekstraksi minyak dilakukan dengan metode maserasi untuk menjaga stabilitas senyawa aktif. Pengujian meliputi tegangan tembus, viskositas, flash point, tegangan antar muka (IFT), dan warna, yang semuanya mengacu pada standar uji SPLN 49-1:1982 dan ASTM. Hasil menunjukkan bahwa minyak biji ketapang memiliki tegangan tembus sebesar 75,4 kV, flash point 142°C, dan warna kuning cerah (indeks 2.2) yang memenuhi standar kelayakan. Namun, nilai IFT sebesar 5,4 mN/m dan viskositas 25,53 mm²/s belum memenuhi batas yang ditentukan, yang mengindikasikan adanya kontaminan dan potensi hambatan sirkulasi pendingin. Dengan demikian, minyak biji ketapang memiliki potensi sebagai isolator cair alternatif, meskipun diperlukan pemurnian lebih lanjut untuk memenuhi seluruh parameter standar transformator.

Kata Kunci: Minyak Biji Ketapang, Isolator Cair, Transformator, Tegangan Tembus, Viskositas, SPLN 49-1:1982.



FEASIBILITY ANALYSIS OF KETAPANG SEED OIL AS A LIQUID INSULATION MATERIAL FOR TRANSFORMER

RETNO AULIA SETIANI
Number Student: 12150523832

Session Date: 01 July 2025

Electrical Engineering Study Program

Faculty of Science and Technology

Sultan Syarif Kasim State Islamic University

Jl. Soebrantas No.155 Pekanbaru

ABSTRACT

Power transformers are critical components in electrical power systems that rely heavily on insulating oil to maintain operational reliability and safety. However, the use of mineral oil as a liquid insulator presents sustainability and environmental challenges. This study aims to evaluate the feasibility of ketapang seed oil (*Terminalia catappa*) as an environmentally friendly alternative insulating fluid for transformers. The oil was extracted using the maceration method to preserve the stability of active compounds. Tests conducted include breakdown voltage, viscosity, flash point, interfacial tension (IFT), and color, all based on SPLN 49-1:1982 and ASTM standards. The results show that ketapang seed oil achieved a breakdown voltage of 75.4 kV, a flash point of 142°C, and a bright yellow color (index 2.2), all meeting standard requirements. However, the IFT value of 5.4 mN/m and viscosity of 25.53 mm²/s did not meet the required limits, indicating the presence of polar compounds or contaminants and a potential hindrance in the cooling circulation. Therefore, ketapang seed oil shows potential as an alternative liquid insulator, although further purification is needed to meet all standard transformer criteria.

Keywords: Ketapang Seed Oil, Liquid Insulator, Transformer, Breakdown Voltage, Viscosity, SPLN 49-1:1982.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

UIN SUSKA RIAU



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan kebaikan dan ampunannya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Salawat beserta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan alam, pembawa cahaya bagi kehidupan manusia yakni nabi Muhammad SAW, sebagai seorang sosok pemimpin umat yang patut diteladani bagi seluruh umat yang ada di dunia hingga akhir zaman.

Penulisan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada program Sarjana S1 di UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir. Atas karunia Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **Analisis Kelayakan Minyak Biji Ketapang Sebagai Bahan Isolasi Cair Transformator**".

Dalam penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dengan melalui proses bimbingan dan pengarahan yang diberikan oleh orang-orang yang memiliki pengetahuan, wawasan dan pengalaman yang luar biasa sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Untuk penyelesaian penulisan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan, dorongan, dan motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin menyampaikan penghargaan ucapan terimakasih tak terhingga kepada:

1. Allah SWT, dengan rahmat-Nya, telah memberikan segala yang terbaik dan, melalui hidayah-Nya, memberikan petunjuk yang memudahkan penulis dalam menyusun laporan ini dengan lancar.
2. Cinta pertama dan panutan penulis, Bapak Nur Ali, segala dukungan dan kasih sayang yang beliau berikan kepada penulis sangat berarti untuk penulis.
3. Pintu surgaku, Ibu Sri Agustin, yang memiliki peran sangat penting dalam menyelesaikan program studi penulis. Beliau senantiasa memberikan nasihat, semangat, dukungan moril dan materiil, serta doa yang tiada henti kepada penulis.
4. Adik kandung, Risky Dwi Prasetyo dan Tri Febry Anggraini yang selalu menjadi support system penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.



5. Ibu Prof. Dr. Hj. Leny Nofianti, MS., SE., AK, CA. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

6. Bapak Dr. Hartono, M. Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Uin Suska Riau beserta kepada seluruh Staf dan jajarannya.

7. Ibu Zulfatri Aini ST., MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

8. Bapak Sutoyo, ST., MT selaku sekretaris jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Uin Suska Riau.

9. Ibu Dr. Liliana, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing, yang telah meluangkan banyak waktu dan pemikirannya dengan penuh keikhlasan. Beliau memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna, sehingga penulis dapat lebih memahami dan menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini dengan baik. Dukungan dan bimbingan beliau sangat berarti bagi penulis dalam proses ini.

10. Bapak Hilman Zarory, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari awal semester hingga akhir semester.

11. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.

12. Dimas Kamajaya Pasaribu yang telah memberikan banyak dukungan, semangat, serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

13. Para teman penulis Syarifah, Adel, Rejita, Fadilla, Zakiah, Sitri, Della, Yulia, dan Rahmayani, yang telah memberikan dukungan, dorongan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

14. Teman-Teman seperjuangan dalam Konsentrasi Energi 2021 serta teman-teman teknik elektro angkatan 2021 lainnya yang juga telah memberikan banyak dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini serta teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Atas jasa-jasa yang telah diberikan kepada penulis, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan sesuai prosedur yang berlaku di Jurusan Teknik Elektro. Tanpa bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua yang telah meluangkan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



waktunya. Semoga dengan keikhlasan tersebut, mereka mendapatkan balasan dari Allah SWT. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi diri penulis dan pembaca pada umumnya.

Penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, karena kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT, dan setiap kekurangan berasal dari penulis. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini memiliki kekurangan dan tidak sempurna, disebabkan oleh keterbatasan ilmu, pengalaman, dan pengetahuan penulis dalam proses penyusunannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun dari semua pihak untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 01 Juli 2025

Penulis

Retno Aulia Setiani
NIM.12150523832

UIN SUSKA RIAU



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR ATAS HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL.....	iv
SURAT PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xivv
DAFTAR TABEL.....	xv
LAMBANG / NOTASI	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1. Latar Belakang	I-1
2. Rumusan Masalah	I-5
3. Tujuan Penelitian.....	I-5
4. Batasan Masalah.....	I-6
BAB II TINJUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Penelitian Terkait.....	II-1
2.2 Transformator.....	II-4
2.3 Prinsip Kerja Transformator.....	II-4
2.4 Bagian-Bagian Transformator.....	II-5
2.5 Minyak Transformator	II-6
2.5.1 Fungsi Minyak Transformator	II-6
2.5.2 Syarat-Syarat Minyak Transformator.....	II-7
2.5.3 Bahan Minyak Traformator.....	II-14
BAB III METODE PENELITIAN.....	III-1
3.1 Jenis Penelitian.....	III-1
3.2 Objek Penelitian	III-2
3.3 Tahapan Penelitian	III-2
3.4 Pengumpulan Data	III-3



3.5	Ekstraksi dan Pemurnian Sampel Minyak Biji Ketapang	III-4
3.6	Pengujian Sampel Minyak Biji Ketapang ke Gardu Induk Garuda Sakti	III-5
3.7	Pengujian Tegangan Tembus Sampel Minyak Biji Ketapang	III-5
3.8	Pengujian Warna Sampel Minyak Biji Ketapang	III-6
3.9	Pengujian Flash Point Sampel Minyak Biji Ketapang	III-7
3.10	Pengujian Tegangan permukaan Sampel Minyak Biji Ketapang	III-8
3.11	Pengujian viskositas Sampel Minyak Biji Ketapang	III-9
3.12	Analisis Hasil Pengujian	III-10
BAB IV HASIL DAN ANALISA		IV-1
4.1	Hasil Proses Ekstraksi dan Pemurnian Minyak Biji Ketapang	IV-1
4.2	Hasil Pengujian Tegangan Tembus Sampel Minyak Biji Ketapang	IV-7
4.3	Hasil Pengujian Warna Sampel Minyak Biji Ketapang	IV-12
4.4	Hasil Pengujian Flash Point Sampel Minyak Biji Ketapang	IV-16
4.5	Hasil Pengujian Tegangan permukaan Sampel Minyak Biji Ketapang	IV-19
4.6	Hasil Pengujian Viskositas Sampel Minyak Biji Ketapang	IV-25
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		V-1
5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-2
DAFTAR PUSTAKA		
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Prinsip Kerja Transformator	II-5
Gambar 2.2 Skala Warna Standar Minyak Transformator.....	II-14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	III-3
Gambar 4.1 Pengumpulan Ketapang	IV-1
Gambar 4.2 Proses Pengeringan Biji Ketapang.....	IV-2
Gambar 4.3 Proses Penumbukan Biji Ketapang.....	IV-2
Gambar 4.4 Proses Pengeringan Biji Ketapang ke dalam Oven	IV-3
Gambar 4.5 Proses Maserasi Pada Biji Ketapang.....	IV-4
Gambar 4.6 Proses Filtrasi Minyak Biji Ketapang.....	IV-5
Gambar 4.7 Proses Pemurnian dengan Rotary Evaporator.....	IV-5
Gambar 4.8 Hasil minyak biji ketapang murni.....	IV-6
Gambar 4.9 Pengujian Tegangan Tembus dengan alat Megger OTS100AF.....	IV-8
Gambar 4.10 Kalibrasi dan persiapan wadah untuk pengujian tegangan tembus.....	IV-9
Gambar 4.11 Proses Penuangan minyak biji ketapang.....	IV-10
Gambar 4.12 Hasil Uji Tegangan tembus minyak biji ketapang.....	IV-11
Gambar 4.13 Pengujian Warna menggunakan alat Lovibond PFX-i Series.....	IV-13
Gambar 4.14 Proses Penuangan minyak biji ketapang pengujian Warna.....	IV-14
Gambar 4.15 Hasil Uji Warna pada minyak biji Ketapang.....	IV-15
Gambar 4.16 Pengujian Flash Point menggunakan alat Koehler K11670.....	IV-17
Gambar 4.17 Proses Penuangan minyak biji ketapang pengujian Flash Point.....	IV-18
Gambar 4.18 Proses nyalakan api kecil ke dalam cup uji Flash Point.....	IV-18
Gambar 4.19 Kalibrasi Cincin dan persiapan wadah pengujian IFT.....	IV-21
Gambar 4.20 Pengujian IFT menggunakan alat KRÜSS K20S EASY DYNE.....	IV-21
Gambar 4.21 Proses Penuangan minyak biji ketapang untuk pengujian IFT.....	IV-22
Gambar 4.22 Hasil pengujian IFT pada minyak biji ketapang.....	IV-23
Gambar 4.23 Koehler Kinematic Viscosity Bath KV3000 Series.....	IV-26



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Spesifikasi minyak isolasi cair transformator berdasarkan SPLN 49-1:1982 ..	II-8
Tabel 2. 2 Skala Warna Standar Minyak Transformator.....	II-14
Tabel 3.1 Perbandingan Metode maserasi dan sokletasi	III-1
Tabel 3.2 Spesifikasi Bahan Minyak Biji Ketapang.....	III-4
Tabel 3.3 Spesifikasi Alat yang digunakan dalam pembuatan minyak biji ketapang.....	III-4
Tabel 4.1 Hasil Kuantitatif Ekstraksi minyak biji ketapang.....	IV-6
Tabel 4.2 Data Pengujian Tegangan Tembus pada minyak biji ketapang.....	IV-8
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tegangan Tembus	IV-11
Tabel 4.4 Data Pengujian Warna pada minyak biji ketapang	IV-12
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Warna.....	IV-15
Tabel 4.6 Data Pengujian Flash Point pada minyak biji ketapang	IV-16
Tabel 4.7 Hasil pengujian Flash Point.....	IV-19
Tabel 4.8 Data Pengujian Tegangan Permukaan pada minyak biji ketapang	IV-20
Tabel 4.9 Hasil pengujian tegangan antar muka.....	IV-23
Tabel 4.10 Data Pengujian Viskositas pada minyak biji ketapang	IV-25
Tabel 4.11 Hasil pengujian Viskositas	IV-27

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



LAMBANG / NOTASI

$^{\circ}$	: Derajat
C	: <i>Celcius</i>
cm ²	: Sentimeter persegi per detik
cm	: Centi Meter
%	: Persen
kV	: Kilo Volt
T	: <i>Temperature</i>
√	: Besar dari
PPM	: <i>Part Per Million</i>
mm	: Mili Meter
ml	: Mili Liter
g	: Gram
Ω	: Ohm
l	: Liter
δ	: Tan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

DAFTAR SINGKATAN

: <i>Alternating Current</i>
: Standar Untuk Skala Warna Minyak Bumi
: Metana
: Etana
: Etilen
: Asam Oleat
: Linoleat
: <i>Dissolved Gas Analysis</i>
: Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral
: Hidrogen
: Asam Lemak
: Normal Hexana
: <i>Neutral Grounding Resistance</i>
: Perusahaan Listrik Negara
: Asam Lemak Tak Jenuh Ganda
: Standar Listrik Perusahaan Negara



BAB I PENDAHULUAN

Latar Belakang

Transformator daya adalah perangkat statis dengan dua atau lebih lilitan yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik untuk mengubah sistem arus dan tegangan bolak-balik menjadi sistem lain dengan nilai tegangan dan arus yang biasanya berbeda, namun dengan frekuensi yang sama untuk keperluan transmisi tenaga listrik[1]. Fungsi utama transformator adalah mengubah tegangan listrik untuk menaikkan atau menurunkan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan konsumsi [2]. Selain itu, transformator berfungsi untuk melindungi peralatan dari kerusakan akibat lonjakan tegangan atau arus berlebih melalui sistem proteksi [3]. Transformator merupakan elemen yang sangat penting dalam infrastruktur pembangkitan, transmisi, dan distribusi tenaga listrik[4]. Oleh karena itu, transformator perlu dijaga agar tetap berfungsi dengan optimal.

Penggunaan transformator secara terus-menerus menyebabkan transformator menjadi salah satu alat yang paling sering mengalami gangguan dalam sistem tenaga listrik. Gangguan tersebut dapat berupa faktor eksternal maupun internal[5]. Gangguan eksternal yaitu kerusakan yang berasal dari luar transformator seperti, gangguan akibat petir dan kesalahan dalam pengoperasian perawatan transformator. Sedangkan gangguan internal yaitu kerusakan yang terjadi di dalam transformator itu sendiri seperti, gangguan hubungan singkat pada kumparan dan kegagalan isolasi[6].

Sebagian besar kerusakan yang terjadi saat pengoperasian transformator adalah pada kegagalan isolasi yaitu penggunaan dielektrik cair sebagai medium minyak isolasi[7]. Minyak isolasi digunakan dalam peralatan bertegangan tinggi dan berfungsi sebagai bahan dielektrik, pendingin, serta pemadam busur api[8]. Penggunaan minyak isolasi dalam transformator menjadi sangat penting karena memisahkan penghantar listrik bertegangan tinggi yang ada di dalamnya, mencegah terjadinya hubungan singkat yang berpotensi menciptakan percikan api atau lompatan listrik[9]. Meskipun demikian, kegagalan isolasi masih sering terjadi pada beberapa transformator, mengakibatkan percikan api yang dapat menyebabkan tegangan tembus.

Tegangan tembus adalah kondisi dimana bahan isolasi tidak mampu lagi menahan tegangan listrik yang diterapkan, sehingga isolator kehilangan kemampuan isolasinya[10].



Tegangan tembus pada isolasi cair dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk teori kegagalan zat murni atau elektronik, teori kegagalan bola cair, teori kegagalan gelembung gas, dan teori kegagalan akibat ketidakmurnian pada material isolasi[11]. Tegangan tembus sesuai standar merupakan salah satu kriteria untuk kualitas minyak isolasi yang baik. Berdasarkan standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982, minyak transformator yang digunakan sebagai bahan isolasi harus memiliki tegangan tembus minimal 30kV/2,5mm[5]. Oleh karena itu, penurunan kemampuan minyak transformator dalam menahan tegangan tembus dapat menyebabkan kegagalan isolasi.

Selain tegangan tembus yang rendah, kegagalan isolasi pada minyak transformator juga dapat disebabkan oleh berbagai faktor lain. Proses penuaan minyak akibat suhu tinggi dan oksidasi dapat menghasilkan senyawa seperti lumpur dan asam yang menurunkan performa isolasi dan menyumbat sistem pendinginan. Kandungan air (kelembapan) menjadi kontaminan berbahaya yang secara signifikan menurunkan tegangan tembus dan memicu pembentukan gelembung gas. Partikel padat seperti debu, karbon, atau residu bahan isolasi yang terdegradasi juga dapat menyebabkan pelepasan listrik lokal (*partial discharge*). Gas terlarut yang terbentuk dari degradasi minyak, seperti H_2 , CH_4 , dan C_2H_2 , menjadi indikator dini kegagalan sistem isolasi dan biasanya dianalisis menggunakan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*). Selain itu, minyak dapat bereaksi dengan logam aktif di dalam transformator dan membentuk senyawa korosif yang mempercepat kerusakan sistem isolasi padat seperti kertas.

Kegagalan minyak transformator dalam menjalankan fungsinya sebagai isolasi cair dapat memberikan dampak serius terhadap keandalan sistem tenaga listrik. Salah satu konsekuensi utama dari kegagalan ini adalah terjadinya percikan listrik atau loncatan arus akibat tegangan tembus yang rendah, yang dapat menyebabkan hubung singkat internal pada transformator. Kegagalan ini juga menyebabkan peningkatan suhu berlebih (*overheating*) karena minyak tidak lagi mampu menjalankan fungsi pendingin secara optimal. Kondisi tersebut mempercepat degradasi bahan isolasi padat seperti kertas selulosa yang melapisi kumparan, sehingga meningkatkan risiko terjadinya kerusakan permanen. Selain itu, percikan listrik dalam trafo dapat memicu busur api atau bahkan ledakan, yang berpotensi menyebabkan kebakaran pada gardu distribusi. Akibatnya, suplai listrik dapat terganggu, berdampak pada pemadaman (*blackout*) dan kerugian ekonomi. Dari sisi pemeliharaan, kerusakan akibat isolasi cair yang gagal akan menimbulkan biaya perbaikan atau penggantian yang tinggi. Lebih lanjut, tumpahan atau kerusakan minyak



isolasi konvensional yang tidak ramah lingkungan juga menimbulkan risiko pencemaran.

Oleh karena itu, pemanfaatan bahan alternatif berbasis minyak nabati yang memiliki sifat dielektrik baik, tahan panas, dan ramah lingkungan menjadi solusi yang relevan dan penting untuk dikaji dalam bidang teknik elektro, khususnya pada manajemen keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

Kegagalan minyak trafo dalam menjaga isolasi pada bagian yang bertenaga tentu dapat berdampak pada kelancaran distribusi tenaga listrik. Minyak transformator merupakan komponen yang sangat penting. Apabila transformator tidak dilengkapi dengan sistem pendingin yang memadai, suhu pada kumparan dan inti dapat meningkat secara signifikan, mengakibatkan kerusakan pada bahan isolasi yang melapisi kumparan seperti kertas isolasi[12].

Bahan isolasi pada transformator sangat krusial untuk memastikan operasi yang aman dan efisien. Minyak transformator biasanya terbuat dari minyak mineral yang diperoleh dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, melalui proses pemurnian dari minyak mentah. Selain minyak mineral, minyak transformator juga dapat diproduksi dari bahan organik seperti minyak piranol atau silikon[13]. Minyak mineral memiliki berbagai keunggulan, seperti tegangan tembus yang tinggi, kerugian dielektrik yang rendah, dan umur pemakaian yang panjang. Namun, meskipun memiliki kelebihan-kelebihan tersebut, minyak mineral juga memiliki kekurangan karena bahan bakunya tidak dapat diperbarui dan sulit terdegradasi, yang dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan[14]. Untuk mengatasi kelemahan tersebut dapat dilakukan dengan mengembangkan minyak isolator untuk transformator yang menggunakan bahan dasar minyak nabati sebagai alternatif.

Minyak nabati merupakan sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan daripada bahan bakar fosil seperti batu bara atau minyak bumi. Penggunaan minyak nabati dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan dampak negatif terhadap lingkungan, selain itu minyak nabati bersifat *Biodegradable* yang mudah terurai secara alami, sehingga mengurangi dampak limbah yang dihasilkan dibandingkan dengan bahan bakar fosil yang sulit terurai. Minyak nabati dapat diperbaharui melalui proses pertanian dan produksi, sehingga minyak nabati tidak akan habis. Minyak nabati juga memiliki performa yang baik yaitu memiliki nilai kalor yang tinggi sehingga dapat menghasilkan energi yang cukup besar.



Penelitian-penelitian mengenai mengembangkan minyak nabati sebagai alternatif

untuk bahan isolasi minyak transformator telah banyak dilakukan sebelumnya, diantaranya adalah minyak sawit, minyak kelapa, minyak nyamplung dan minyak jarak pagar[15]. Penelitian[15] melakukan pengujian mengenai minyak jarak pagar dengan pengukuran tegangan tembusnya untuk mengetahui kelayakan minyak jarak pagar sebagai alternatif isolasi cair. Pada penelitian lain melakukan pengujian karakteristik minyak nilam sebagai alternatif pengganti minyak trafo dengan metode menggunakan elektroda setengah bola dengan jarak 2,5 mm untuk mengukur tegangan tembus minyak nilam[16]. Pada penelitian[12] melakukan pengujian tegangan tembus dengan bahan dasar minyak kemiri dan minyak zaitun menggunakan metode elektroda setengah bola. Pada penelitian sekarang akan melanjutkan penelitian sebelumnya mengenai kelayakan minyak biji Ketapang sebagai alternatif minyak transformator.

Penggunaan minyak nabati sebagai bahan isolasi dan pendingin dalam transformator daya menandai pergeseran menuju solusi yang lebih ramah lingkungan dalam industri. Jenis tumbuhan penghasil minyak atau lemak, memiliki potensi besar sebagai sumber bahan baku bagi minyak nabati. Salah satu contohnya adalah tanaman ketapang, yang menjadi salah satu tanaman potensial untuk menghasilkan minyak nabati[14].

Selama ini, biji ketapang kurang dimanfaatkan secara optimal sehingga sering kali terbuang begitu saja. Namun, biji ketapang sebenarnya memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan lebih luas. Hal ini karena dalam biji ketapang terkandung minyak dengan kadar yang cukup tinggi, mencapai 56,66%[15]. Dalam biji ketapang mengandung sejumlah asam lemak, antara lain asam *palmitat* (27,9%), *palmitoleat* (8,6%), *stearat* (24,3%), *oleat* (38,0%), dan *linoleat* (21,0%). Asam lemak yang dominan di antaranya adalah asam *oleat*, asam *linoleat*, asam *palmitat*, dan asam *stearat*. Komposisi asam *oleat* dan asam *linoleat*, yang merupakan asam lemak tak jenuh, memiliki jumlah yang relatif besar, mencapai sekitar 60,41%, sementara asam lemak jenuh lainnya seperti asam palmitat dan asam stearat memiliki jumlah yang lebih kecil[16]. Penelitian mengenai pemanfaatan biji ketapang sebagai bahan minyak nabati telah dilakukan sebelumnya dengan melakukan pengujian tegangan tembus, viskositas, densitas, dan kadar air pada minyak biji ketapang yang telah di ekstraksi. Metode yang digunakan pada penelitian sebelumnya menggunakan metode sokletasi untuk ekstraksi minyak pada biji Ketapang, sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode maserasi yang mana pada metode tersebut sangat banyak memiliki



keunggulan, diantaranya yaitu Proses sederhana dan murah, tidak memerlukan alat khusus cukup wadah tertutup, pelarut, dan waktu. Cocok untuk senyawa yang sensitif terhadap panas karena prosesnya berlangsung pada suhu kamar, sangat ideal untuk ekstrak yang mudah rusak bila dipanaskan. Minim risiko degradasi senyawa aktif karena suhu rendah menghindari kerusakan senyawa bioaktif yang peka terhadap panas. Berdasarkan hal tersebut, penelitian yang akan dilakukan selanjutnya oleh peneliti yaitu berjudul **“Analisis Kelayakan Minyak Biji Ketapang Sebagai Bahan Isolasi Cair Transformator”** dengan melakukan pengujian tegangan tembus, pengujian viskositas, pengujian tegangan antar muka, pengujian *flash point* dan warna pada minyak biji Ketapang.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana ekstraksi dan pemurnian pembuatan minyak biji ketapang berdasarkan standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982 untuk bahan isolasi cair?
2. Bagaimana melakukan pengujian nilai tegangan tembus minyak biji ketapang yang dihasilkan berdasarkan standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982 untuk bahan isolasi cair?
3. Bagaimana melakukan pengujian warna minyak biji ketapang yang dihasilkan berdasarkan standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982 untuk bahan isolasi cair transformator?
4. Bagaimana melakukan pengujian flash point minyak biji ketapang yang dihasilkan berdasarkan standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982 untuk bahan isolasi cair transformator?
5. Bagaimana melakukan pengujian tegangan antar muka minyak biji ketapang yang dihasilkan berdasarkan standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982 untuk bahan isolasi cair transformator?
6. Bagaimana melakukan pengujian viskositas minyak biji ketapang yang dihasilkan berdasarkan standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982 untuk bahan isolasi cair transformator?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi kelayakan minyak biji ketapang untuk mengevaluasi potensinya sebagai bahan isolasi cair transformator sesuai standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

14

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Menguji tegangan tembus minyak biji ketapang standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982 untuk bahan isolasi cair transformator.
3. Menguji warna minyak biji ketapang berdasarkan standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982 untuk bahan isolasi cair transformator.
4. Menguji *flash point* minyak biji ketapang berdasarkan standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982 untuk bahan isolasi cair transformator.
5. Menguji tegangan antar muka minyak biji ketapang berdasarkan standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982 untuk bahan isolasi cair transformator.
6. Menguji viskositas minyak biji ketapang berdasarkan standar uji PLN (SPLN) 49-1/1982 untuk bahan isolasi cair transformator.

Batasan Masalah

1. Penelitian ini dibatasi pada analisis kelayakan minyak biji Ketapang sebagai bahan isolasi cair alternatif untuk transformator daya. Penelitian hanya difokuskan pada proses ekstraksi minyak biji Ketapang menggunakan metode maserasi, tanpa membahas metode ekstraksi lainnya secara mendalam.
2. Penelitian hanya meliputi pengujian karakteristik minyak biji Ketapang berdasarkan parameter standar SPLN 49-1:1982 yaitu tegangan tembus, warna, titik nyala, viskositas, dan tegangan antar muka.
3. Pengujian dilakukan dalam kondisi suhu ruang.



BAB II TINJUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian ini, penulis mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang telah dijelaskan di latar belakang masalah. Penelitian ini berdasarkan sumber referensi dari jurnal, paper, dan buku sehingga informasi yang dihasilkan relevan.

Pada penelitian ini telah dirangkum beberapa referensi terkait mengenai pengembangan minyak isolasi untuk transformator yang menggunakan bahan dasar minyak nabati sebagai alternatif. Pada penelitian terkait pertama dengan judul “Uji Kelayakan Minyak Biji Ketapang Sebagai Bahan Isolasi Cair Transformator”. Penelitian tersebut menganalisis potensi minyak biji ketapang sebagai bahan isolasi cair melalui pengujian kadar air, massa jenis, viskositas, dan tegangan tembus. Metode yang digunakan mencakup proses ekstraksi dan pemurnian, serta serangkaian pengujian terhadap kadar air, massa jenis, dan tegangan tembus minyak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air minyak biji ketapang memenuhi standar spesifikasi minyak isolasi cair baru untuk transformator setelah melalui proses pemanasan selama 150 menit pada suhu 105°C. Namun, massa jenis minyak tersebut sedikit melebihi standar SPLN 49-1:1982, sehingga belum memenuhi kriteria yang ditetapkan. Di sisi lain, viskositas minyak biji ketapang telah memenuhi standar, yaitu di bawah 40 cSt. Selain itu, nilai tegangan tembusnya juga sesuai dengan standar untuk isolasi cair baru pada transformator, dengan hasil lebih dari 30 kV[17].

Penelitian yang kedua dengan judul “Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*) Sebagai Alternatif Isolasi Cair”. Penelitian ini mengevaluasi minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas*) sebagai alternatif isolasi cair untuk transformator dengan membandingkan tegangan tembusnya dengan minyak trafo berbasis mineral. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan tembus minyak jarak pagar lebih tinggi dibandingkan minyak mineral yang umum digunakan pada transformator. Setelah kadar air dalam minyak jarak pagar dikurangi, nilai tegangan tembusnya meningkat secara signifikan, melampaui performa minyak mineral. Pengujian juga mengungkapkan bahwa jarak antara elektroda berpengaruh besar terhadap hasil tegangan tembus. Semakin besar jarak elektroda, semakin tinggi tegangan tembus yang



diperlukan untuk menyebabkan kegagalan isolasi. Selain itu, kadar air dalam minyak sangat memengaruhi nilai tegangan tembus: semakin tinggi kadar air, semakin rendah tegangan tembusnya, dan sebaliknya, semakin rendah kadar air, semakin tinggi tegangan tembusnya. Dengan demikian, kadar air memiliki hubungan invers dengan tegangan tembus pada minyak isolasi. Sesuai standar SPLN 49-91:1982, minyak isolasi baru harus memenuhi sejumlah persyaratan untuk dapat digunakan. Minyak jarak pagar memenuhi spesifikasi standar dalam hal tegangan tembus, titik nyala, dan kadar air. Namun, spesifikasi terkait viskositas, titik tuang, dan massa jenis belum terpenuhi[15].

Pada penelitian ketiga yaitu dengan judul “Studi Karakteristik Minyak Nilam Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator”. Penelitian ini dilakukan untuk menguji kadar asam, kadar air, viskositas, dan tegangan tembus pada minyak nilam. Metode yang diterapkan melibatkan pengujian langsung terhadap minyak nilam guna mengukur nilai tegangan tembusnya. Berdasarkan hasil pengujian yang menganalisis karakteristik tegangan tembus serta sifat fisik dan kimia minyak nilam sebagai alternatif minyak transformator, disimpulkan bahwa minyak nilam belum memenuhi standar SPLN 49-1 Tahun 1982 dan IEC 60296-2003 untuk digunakan sebagai pengganti minyak transformator[16].

Penelitian terkait yang keempat berjudul “Optimasi Penggunaan *Membership Function* Logika Fuzzy Pada Kasus Identifikasi Kualitas Minyak Transformator”. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam menentukan kualitas minyak transformator. Metode yang digunakan adalah logika fuzzy. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan jenis fungsi keanggotaan *membership function* memengaruhi output data dalam proses identifikasi kualitas minyak transformator. Melalui simulasi, ditemukan bahwa fungsi keanggotaan berbentuk triangular menghasilkan respons sistem yang lebih optimal dibandingkan fungsi *trapezoidal* maupun kombinasi triangular dan *trapezoidal*. Hal ini dibuktikan dengan nilai indeks performansi yang menunjukkan tingkat kesalahan terendah. Berdasarkan hasil tersebut, penerapan logika fuzzy menggunakan *toolbox fuzzy* pada *software Matlab* dapat menjadi alternatif yang efektif untuk memeriksa kualitas minyak transformator, dengan fungsi keanggotaan triangular sebagai pilihan yang paling unggul[18].

Pada penelitian terkait yang kelima dengan judul “Penerapan Metode Interpretasi Rasio Roger, Segitiga Duval, Breakdown Test, dan Water Content Test untuk Diagnosis Kelayakan Minyak Transformator” Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi



kelayakan minyak transformator melalui beberapa metode analisis, yaitu Interpretasi *Rasio Roger*, Segitiga *Duval*, *Breakdown Test*, dan *Water Content Test*. Hasil penerapan metode Interpretasi *Rasio Roger* dan Segitiga *Duval* menunjukkan adanya indikasi "*Thermal Fault* $T < 300^{\circ}\text{C}$ " pada minyak trafo GT 10, yang disebabkan oleh pelepasan muatan. Pengujian tegangan tembus menunjukkan bahwa minyak isolasi memiliki kekuatan dielektrik sebesar 60 kV/cm, yang telah memenuhi standar (> 40 kV). Sementara itu, pengukuran kadar air menunjukkan nilai sebesar 24,77 ppm, yang masih berada dalam batas parameter standar (< 25 ppm), sehingga kondisi minyak dinyatakan baik[19].

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya, minyak transformator terbagi menjadi dua jenis, yaitu yang berasal dari olahan minyak bumi dan yang berbasis minyak nabati dari tumbuh-tumbuhan. Saat ini, minyak transformator untuk isolasi cair sebagian besar menggunakan bahan baku dari minyak bumi. Namun, cadangan minyak bumi terus menipis akibat meningkatnya permintaan energi dan penggunaan yang berkelanjutan, sehingga menimbulkan ketergantungan pada sumber daya yang tidak terbarukan. Ketergantungan ini berpotensi memicu krisis energi di masa depan, terutama jika alternatif yang memadai belum tersedia. Menurut data dari Kementerian ESDM, cadangan minyak bumi di Indonesia diperkirakan akan habis dalam waktu sekitar 9,5 tahun jika tidak ada penemuan cadangan baru[20].

Salah satu bahan alternatif untuk pengganti minyak transformator adalah dengan menemukan penemuan minyak baru yang berasal dari tumbuh-tumbuhan (minyak nabati). Beberapa jenis minyak nabati yang melimpah di Indonesia dan dapat dimanfaatkan sebagai isolasi antara lain minyak sawit, minyak kelapa, minyak nyamplung, dan minyak jarak pagar. Dalam hal ini peneliti ingin melakukan penelitian dengan menganalisis kekuatan dielektrik pada minyak biji Ketapang sebagai minyak transformator, dengan judul "**Analisis Kelayakan Minyak Biji Ketapang Sebagai Bahan Isolasi Cair Transformator**". Penelitian ini akan melanjutkan pada penelitian pertama[17], penelitian yang akan dilakukan selanjutnya yaitu pengujian terhadap minyak biji ketapang untuk mengetahui kelayakan minyak biji ketapang sebagai bahan isolasi cair dengan melakukan pengujian tegangan tembus, pengujian *flash point*, pengujian viskositas, pengujian warna, pengujian tegangan antar muka. Penelitian kedua sebagai acuan untuk standarisasi pengujian *flash point* pada minyak biji ketapang sesuai standar SPLN 49-1:1982 dan IEC 60296-2003. Sedangkan penelitian ketiga digunakan sebagai acuan untuk pengujian viskositas pada biji minyak ketapang sesuai standar SPLN 4 9-1:1982 dan IEC 60296-



2003. Penelitian keempat sebagai acuan pengujian warna minyak biji ketapang yang dihasilkan sesuai dengan standar SPLN 49-1:1982 dan ASTM D 1500, dan terakhir penelitian kelima sebagai acuan untuk pengujian tegangan antar muka minyak biji Ketapang sesuai standar SPLN 49-1:1982.

2.2 Transformator

Transformator adalah perangkat listrik statis yang berfungsi untuk mentransfer dan mengubah tegangan serta arus AC dari satu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya. Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik dan umumnya digunakan untuk dua tujuan utama: meningkatkan tegangan *step-up*, yaitu mengubah tegangan AC rendah menjadi tegangan AC tinggi, dan menurunkan tegangan *step-down*, yaitu mengubah tegangan AC tinggi menjadi tegangan AC rendah [12]. Secara umum, transformator terdiri dari dua kumparan kawat tembaga atau bahan konduktor lainnya, yang disebut kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer berfungsi menerima daya listrik, sementara kumparan sekunder mengalirkan daya ke beban. Kedua kumparan ini dililitkan pada inti yang terbuat dari material magnetik berlapis untuk meningkatkan efisiensi induksi elektromagnetik[21].

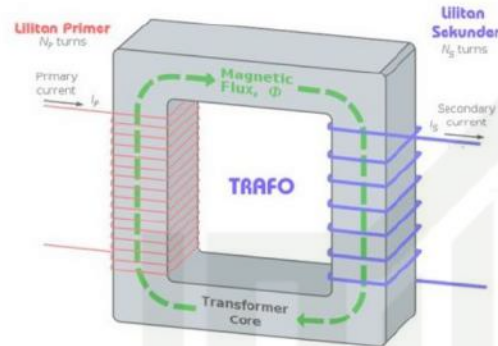
2.3 Prinsip Kerja Transformator

Transformator adalah perangkat statis yang tidak memiliki bagian yang bergerak, berbeda dengan motor atau generator. Prinsip kerjanya berlandaskan pada hukum induksi elektromagnetik Faraday yang ditemukan oleh *Michael Faraday* pada abad ke-19. Hukum ini menjelaskan bahwa perubahan fluks magnetik di kumparan primer akan menginduksi tegangan di kumparan sekunder. Transformator mengubah tegangan dengan prinsip induksi elektromagnetik yang melibatkan tiga komponen utama: kumparan primer, kumparan sekunder, dan inti besi. Ketika arus bolak-balik mengalir melalui kumparan primer, energi listrik diubah menjadi medan magnet. Medan magnet ini mengelilingi inti besi dan kedua kumparan, menciptakan perbedaan potensial di antara keduanya. Arus yang mengalir melalui kumparan primer menginduksi inti besi, yang menghasilkan fluks magnet di dalam inti. *Fluks* magnet ini kemudian menginduksi tegangan pada kumparan sekunder, menciptakan beda potensial di ujung kumparan sekunder[5].

Tegangan yang dihasilkan pada kumparan sekunder ditentukan oleh rasio jumlah lilitan kawat antara kumparan primer dan sekunder. Apabila jumlah lilitan pada kumparan



sekunder lebih banyak dibandingkan dengan kumparan primer, maka tegangan pada kumparan sekunder akan lebih tinggi *step-up* transformer. Sebaliknya, jika jumlah lilitan pada kumparan sekunder lebih sedikit dibandingkan dengan kumparan primer, tegangan pada kumparan sekunder akan lebih rendah *step-down* transformer.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Transformator

2.4 Bagian-Bagian Transformator

Bagian-bagian transformator[21]:

Inti Besi (*Electromagnetic Circuit*)

Inti besi berfungsi sebagai media untuk jalannya *fluks* magnet yang dihasilkan oleh induksi arus bolak-balik pada kumparan. Fluks ini kemudian menginduksi kumparan lainnya. Inti besi terbuat dari lempengan-lempengan besi tipis berisolasi untuk mengurangi arus pusing *eddy current* yang timbul akibat induksi medan magnet, yang dapat menyebabkan kerugian energi.

Belitan (*Current Carrying Circuit/Winding*)

Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang melilit inti besi. Arus bolak-balik yang mengalir melalui belitan tembaga menghasilkan fluks magnetik pada inti besi.

3. *Bushing*

Bushing adalah komponen penghubung antara belitan transformator dengan jaringan eksternal. Terdiri dari konduktor yang dilapisi isolator, *bushing* berfungsi sebagai pemisah antara konduktor dan badan utama transformator (*main tank*).

4. Sistem Pendingin

Suhu operasi transformator dipengaruhi oleh tegangan jaringan, rugi-rugi energi, dan suhu lingkungan. Suhu yang terlalu tinggi dapat merusak isolasi kertas pada transformator.



Oleh karena itu, pendinginan yang efektif sangat penting. Minyak isolasi berfungsi ganda sebagai isolator dan pendingin. Minyak bersirkulasi membawa panas dari belitan menuju radiator, di mana panas dilepaskan. Sistem pendinginan ini dapat ditingkatkan efisiensinya dengan menggunakan kipas dan pompa sirkulasi.

Konservator (*Oil Preservation & Expansion*)

Konservator digunakan untuk mengakomodasi perubahan volume minyak akibat pemuaian saat suhu meningkat dan penyusutan saat suhu menurun. Dengan demikian, konservator menjaga ketersediaan minyak isolasi selama operasi transformator.

Tap Changer

Tap Changer digunakan untuk menyesuaikan tegangan output transformator agar tetap stabil meskipun tegangan input bervariasi. Dengan mengubah jumlah lilitan pada sisi primer, rasio antara belitan primer dan sekunder dapat diatur sesuai kebutuhan sistem.

NGR (*Neutral Grounding Resistor*)

NGR adalah tahanan yang dipasang secara seri pada sisi netral sekunder transformator sebelum terhubung ke tanah. Tujuannya adalah mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari netral ke tanah, sehingga meningkatkan keamanan sistem.

2.5 Minyak Transformator

Minyak transformator berperan sebagai media isolasi dan pendingin dalam transformator. Untuk memastikan kedua fungsi ini berjalan optimal, kualitas minyak transformator harus dijaga dengan baik. Minyak transformator adalah bahan isolasi cair yang digunakan untuk isolasi dan pendinginan pada transformator. Sebagai bahan isolasi, minyak ini harus mampu menahan tegangan tembus, sementara sebagai pendingin, minyak harus efektif dalam menyerap dan meredam panas yang dihasilkan. Dengan kemampuan ini, minyak diharapkan dapat melindungi transformator dari berbagai gangguan[17]. Minyak ini mengandung senyawa hidrokarbon seperti parafin (C_nH_{2n+2}), naftalena (C_nH_{2n}), dan aromatik (C_nH_n). Ada beberapa jenis minyak isolasi dalam minyak transformator, termasuk minyak mineral dan minyak nabati[22].

2.5.1 Fungsi Minyak Transformator

Berikut beberapa fungsi minyak transformator, antara lain:

1. Menahan tegangan tembus (kualitas minyak isolasi lebih baik dengan tegangan tembus yang lebih tinggi).



2. Sebagai pendingin untuk meredam panas yang dihasilkan oleh bagian-bagian transformator yang menghasilkan panas.
3. Sebagai alat pemadam busur api, transformator dapat menghasilkan senyawa gas selama pengoperasiannya karena penuaan dan efek gangguan, peningkatan temperatur dapat menyebabkan loncatan bunga api di dalam belitan transformator.
4. Melindungi komponen-komponen di dalam transformator dari korosi serta oksidasi.

Syarat-Syarat Minyak Transformator

Adapun syarat- syarat minyak transformator yang layak digunakan antara lain[23]:

1. Minyak transformator yang baru dan belum difilter harus memiliki kekuatan isolasi tinggi dengan kekuatan dielektrik lebih dari 30 kV/2,5 mm.
2. Minyak harus memiliki kemampuan konduksi panas yang baik dan berat jenis yang rendah, sehingga kontaminan dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
3. Minyak isolasi sebaiknya memiliki viskositas rendah, yang mempercepat proses pendinginan.
4. Titik nyala minyak harus tinggi dan tidak mudah menguap.
5. Minyak isolasi tidak boleh merusak bahan isolasi padat yang ada dalam transformator.
6. Minyak harus bebas dari kontaminan atau partikel asing.
7. Minyak isolasi harus bebas dari kandungan uap air, karena keberadaan air dalam minyak dapat menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi.
8. Minyak isolasi tidak boleh mengandung gas seperti hidrogen (H_2), metana (CH_4), etana (C_2H_6), dan etilen (C_2H_4).
9. Angka kenetralan minyak isolasi harus maksimal 0,5 mg KOH/gr. Angka kenetralan menunjukkan tingkat asam dalam minyak dan dapat digunakan untuk mendeteksi partikel kontaminan. Angka ini menjadi acuan untuk mengganti atau memfilter minyak isolasi.

Standar spesifikasi minyak isolasi cair baru transformator terdapat pada standar SPLN 491:1982 yang mengatur karakteristik minyak transformator yang harus memenuhi standar tertentu untuk digunakan dalam transformator.



Tabel 2. 1 Spesifikasi minyak isolasi cair transformator berdasarkan SPLN 49-1:1982

No	Parameter Uji	Tegangan Peralatan	Batasan
1.	Tegangan Tembus	$\geq 70 \text{ kV}$ $70-170 \text{ kV}$ $\geq 170 \text{ kV}$	$\leq 30 \text{ Kv}/2,5 \text{ mm}$ $\leq 40 \text{ Kv}/2,5 \text{ mm}$ $\leq 50 \text{ Kv}/2,5 \text{ mm}$
2.	Kandungan Air	$\geq 170 \text{ kV}$ $\leq 170 \text{ kV}$	$\leq 20 \text{ mg/l}$ $\leq 30 \text{ mg/l}$
3.	Faktor kebocoran Dielektrik	Semua tegangan	$\leq 0,2 - 2,0$
4.	Tahanan Jenis	Semua tegangan	$1,0 \text{ G}\Omega\text{m}$
5.	Angka Kenetralan (Keasaman)	Semua tegangan	$\leq 0,5 \text{ mg KOH/gr}$
6.	Sedimen		Tidak terukur penurunan maksimum 15°C
7.	Titik Nyala		Tidak terukur penurunan maksimum 15°C
8.	Tegangan Permukaan		$\geq 150 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$
9.	Kandungan Gas	$\geq 170 \text{ kV}$	Sedang Digarap oleh IEC

1. Tegangan Tembus

Menurut hukum *Paschen*, isolasi cair dipilih karena memiliki kekuatan dielektrik yang 1000 kali lebih besar dibandingkan isolasi gas. Namun, salah satu kelemahan dari isolasi cair adalah kemudahannya untuk terkontaminasi[5]. Tegangan tembus adalah besarnya tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh isolator.



Tegangan tembus pada minyak isolasi cair baru harus memenuhi syarat berdasarkan SPLN 49-1:1982, yang dimana pada tegangan ≥ 70 kV minyak isolasi cair baru harus memiliki nilai ≤ 30 Kv/2,5 mm. Pada tegangan 70-170 kV minyak isolasi cair baru harus memiliki nilai ≤ 40 Kv/2,5 mm dan Pada tegangan ≥ 170 kV minyak isolasi cair baru harus memiliki nilai ≤ 50 Kv/2,5 mm.

Tegangan tembus merupakan parameter penting dalam sistem tenaga listrik dan peralatan listrik yang menggunakan isolasi untuk mencegah arus bocor atau gangguan listrik. Jika tegangan tembus dari suatu isolasi terlampaui, isolasi tersebut dapat menjadi tidak efektif dan menyebabkan terjadinya hubungan arus listrik yang tidak diinginkan, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik atau bahkan kebakaran. Dalam hal ini, minyak transformator berfungsi sebagai media isolasi selama masih mampu menahan tegangan yang diberikan. Namun, jika minyak tidak lagi mampu menahan tegangan tersebut, fungsinya sebagai isolator hilang. Suhu dan usia minyak transformator juga mempengaruhi kualitas serta tegangan tembus dari isolasi cair tersebut.

Kandungan Air

Kandungan air pada sifat kimia isolator minyak merujuk pada jumlah atau persentase air yang terlarut atau terkandung dalam minyak isolator. Air dapat menjadi kontaminan yang signifikan dalam minyak isolator dan dapat berdampak negatif pada sifat isolasi serta kinerja peralatan listrik yang menggunakan minyak tersebut.

Berdasarkan SPLN 49-1:1982 menyebutkan bahwa kadar air yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi cair baru adalah ≤ 20 mg/l untuk tegangan ≥ 170 kV dan ≤ 30 mg/l untuk tegangan ≤ 170 kV.

Kandungan air pada minyak isolator adalah parameter penting yang harus dimonitor dan dikendalikan. Kelebihan air dalam minyak isolator dapat menyebabkan beberapa masalah. Keberadaan air dalam minyak transformator dapat menimbulkan risiko serius bagi transformator itu sendiri. Tingginya kandungan air dan oksigen dalam minyak dapat menyebabkan proses korosi yang merugikan, menghasilkan asam, mengendapkan partikel-partikel yang merusak, serta mempercepat penurunan usia transformator. Air yang masuk ke dalam transformator bisa berasal dari udara yang masuk saat transformator dibuka untuk inspeksi, atau jika terjadi kebocoran, uap air dapat masuk ke dalam transformator karena perbedaan tekanan parsial uap air.



3. Faktor Kebocoran Dielektrik

Faktor kebocoran dielektrik yang diukur dengan karakteristik $\tan \delta$ adalah sebuah metode berharga dalam menilai kualitas isolasi dielektrik. Ini merupakan alat yang sensitif dan efektif untuk mengidentifikasi serta mengevaluasi degradasi dielektrik yang terjadi akibat penggunaan dalam jangka waktu yang lama. Faktor kebocoran dielektrik pada minyak isolasi cair baru transformator pada semua tegangan berdasarkan SPLN 49-1:1982 adalah $\leq 0,2 - 2,0$.

Nilai $\tan \delta$ yang menunjukkan isolasi dielektrik yang baik biasanya sangat rendah. Idealnya, nilai $\tan \delta$ untuk isolasi dielektrik yang baik harus mendekati nol atau semakin mendekati nol. Semakin kecil nilai $\tan \delta$, semakin baik isolasi dielektriknya. Nilai $\tan \delta$ yang tinggi menunjukkan adanya kebocoran energi listrik melalui isolasi dielektrik, yang dapat menunjukkan adanya masalah pada isolasi seperti kontaminasi, penuaan, atau kerusakan. Oleh karena itu, dalam pengujian isolasi dielektrik, tujuannya adalah untuk mendapatkan nilai $\tan \delta$ yang seminimal mungkin agar isolasi dielektrik dapat berfungsi secara optimal dalam mengisolasi arus listrik dan mencegah kebocoran energi.

4. Tahanan Jenis (Viscositas)

Tahanan jenis (*specific resistance*) pada sifat listrik isolator minyak merujuk pada kemampuan isolator minyak untuk menghambat arus listrik yang mengalir melaluinya. Tahanan jenis menggambarkan seberapa baik isolator minyak dapat mengisolasi arus listrik.

Berdasarkan SPLN 49-1:1982 menyebutkan bahwa Tahanan jenis yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi cair baru pada semua tegangan adalah $1,0 \text{ G}\Omega$. Secara matematis, tahanan jenis dapat dihitung sebagai perbandingan antara tegangan yang diterapkan pada isolator dengan arus listrik yang mengalir melalui isolator tersebut. Isolator minyak yang memiliki tahanan jenis yang tinggi menunjukkan kemampuan yang baik dalam menghambat arus listrik, yang merupakan indikasi isolasi dielektrik yang efektif. Sebaliknya, tahanan jenis yang rendah pada isolator minyak dapat menunjukkan adanya kebocoran arus atau degradasi isolasi, yang dapat menyebabkan masalah dalam sistem listrik seperti kerusakan peralatan atau risiko kebakaran. Pemantauan tahanan jenis isolator minyak penting untuk memastikan kualitas isolasi dielektrik tetap optimal dan untuk mencegah masalah yang dapat timbul akibat kebocoran arus listrik.



5. Angka Kenetralan (Keasaman)

Kadar asam pada minyak trafo mengacu pada jumlah asam organik dan anorganik yang terkandung dalam minyak, yang diukur dalam miligram kalium hidroksida (KOH) yang diperlukan untuk menetralkan asam dalam satu gram minyak. Kadar asam adalah parameter penting untuk menilai kondisi dan kualitas minyak trafo, karena peningkatan kadar asam dapat menunjukkan degradasi minyak akibat oksidasi atau kontaminasi.

Kadar Asam pada minyak isolasi cair baru transformator pada semua tegangan berdasarkan SPLN 49-1:1982 adalah $\leq 0,5$ mg KOH/gr. Minyak trafo yang terdegradasi dapat menghasilkan produk sampingan seperti asam karboksilat dan aldehida, yang dapat meningkatkan kadar asam dan menurunkan sifat isolasi serta menyebabkan korosi pada komponen internal transformator[22].

Pengukuran kadar asam biasanya dilakukan dengan metode titrasi, di mana sampel minyak dicampur dengan pelarut tertentu dan dititrasi dengan larutan KOH hingga mencapai titik akhir netralisasi. Kadar asam yang tinggi menunjukkan adanya proses degradasi minyak yang aktif, yang dapat disebabkan oleh suhu operasi yang tinggi, keberadaan air, atau kontak dengan bahan-bahan reaktif. Untuk menjaga kadar asam dalam batas yang aman, penting dilakukan perawatan dan pemantauan rutin, termasuk filtrasi minyak, penghilangan air, dan penambahan inhibitor oksidasi. Kadar asam yang rendah menunjukkan bahwa minyak trafo dalam kondisi baik dan memiliki sifat isolasi serta pelumas yang optimal, sementara kadar asam yang meningkat dapat mengindikasikan perlunya tindakan perbaikan atau penggantian minyak untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada transformator.

Sedimen

Sedimen pada isolator minyak merujuk pada endapan atau partikel yang terbentuk dalam minyak isolator. Sedimen ini dapat berasal dari berbagai sumber, seperti oksidasi minyak, kontaminasi eksternal, atau penuaan isolator. Sedimen dapat terbentuk dari partikel-partikel padat, residu kimia, atau material lain yang terlarut dalam minyak isolator. Keberadaan sedimen dalam isolator minyak dapat menjadi masalah serius karena dapat menyebabkan berbagai dampak negatif. Sedimen dapat mengganggu sifat isolasi dielektrik minyak, sehingga dapat meningkatkan risiko kebocoran arus atau penurunan daya tahan isolasi. Keberadaan sedimen dapat memicu korona atau busur listrik yang dapat merusak isolator dan peralatan listrik lainnya. Jika sedimen terakumulasi dalam saluran minyak,



dapat menyebabkan penyumbatan yang menghambat aliran minyak dan mengganggu pendinginan transformator.

Titik Nyala (*Flash Point*)

Flash point minyak trafo adalah suhu terendah di mana minyak menguap cukup untuk membentuk campuran yang dapat terbakar dengan udara di dekat permukaan minyak. *Flash point* merupakan parameter penting dalam menentukan keamanan dan stabilitas minyak trafo, karena memberikan indikasi tentang volatilitas dan kecenderungan minyak untuk terbakar. Minyak trafo dengan *flash point* yang tinggi lebih aman digunakan karena memiliki risiko kebakaran yang lebih rendah dibandingkan dengan minyak yang memiliki *flash point* rendah. Pengukuran *flash point* dilakukan dengan metode uji standar seperti *Pensky-Martens Closed Cup*, di mana sampel minyak dipanaskan secara perlahan dan diuji untuk melihat pada suhu berapa uap minyak akan menyala saat kontak dengan nyala api [21].

Flash point yang tinggi biasanya menunjukkan bahwa minyak memiliki sedikit kontaminan mudah menguap dan degradasi termal yang minimal, sehingga penting dalam pemeliharaan transformator untuk memastikan bahwa *flash point* tetap dalam batas yang ditentukan untuk mencegah bahaya kebakaran dan memastikan kinerja yang andal.

Tegangan Permukaan

Tegangan antar muka pada minyak trafo adalah ukuran penting yang menunjukkan kualitas minyak dan potensi degradasinya. Tegangan antarmuka mengacu pada gaya per satuan panjang di sepanjang garis pemisah antara minyak trafo dan air, yang mengukur kecenderungan minyak untuk mempertahankan permukaannya tanpa bercampur dengan air. Tegangan antarmuka yang tinggi umumnya menandakan minyak trafo yang berkualitas baik dengan sedikit kontaminasi, sementara tegangan yang rendah dapat menunjukkan adanya kontaminan seperti air, asam, atau produk oksidasi. Faktor-faktor seperti kontaminasi, penuaan minyak, dan jenis minyak itu sendiri dapat mempengaruhi tegangan antarmuka. Pengukuran tegangan ini biasanya dilakukan dengan metode *du Nouy Ring* atau *Wilhelmy Plate* [20].

Untuk menjaga tegangan antarmuka yang tinggi, penting dilakukan perawatan rutin seperti filtrasi, dehidrasi, penambahan inhibitor, dan pengujian berkala. Tegangan antarmuka juga sering dikorelasikan dengan parameter kualitas minyak lainnya, dan pemantauan yang cermat dapat membantu mencegah kegagalan transformator serta memperpanjang umur layanannya.



9. Kandungan Gas

Kandungan gas pada isolator minyak merujuk pada jumlah dan jenis gas yang terlarut dalam minyak isolator. Gas-gas ini dapat berasal dari berbagai sumber, seperti proses degradasi termal minyak, kontaminasi eksternal, atau reaksi kimia yang terjadi dalam isolator. Beberapa gas umum yang terlarut dalam minyak isolator meliputi oksigen, nitrogen, hidrogen, karbon dioksida, dan gas-gas lainnya. Kandungan gas dalam isolator minyak dapat memberikan informasi berharga tentang kondisi isolasi dan kondisi operasional peralatan listrik. Peningkatan kandungan gas tertentu atau munculnya gas-gas yang tidak biasa dapat menjadi indikasi adanya masalah dalam sistem isolasi, seperti kerusakan termal, busur listrik, atau degradasi isolasi. Pemantauan kandungan gas dalam isolator minyak dapat dilakukan dengan menggunakan metode analisis gas terlarut (DGA - *Dissolved Gas Analysis*). DGA adalah teknik diagnostik yang umum digunakan untuk mengevaluasi kondisi isolasi minyak dengan menganalisis jenis dan jumlah gas yang terlarut dalam minyak. Dengan memantau kandungan gas secara teratur, dapat dilakukan deteksi dini terhadap potensi masalah isolasi dan diambil langkah-langkah pencegahan yang diperlukan untuk menjaga kinerja optimal peralatan listrik.

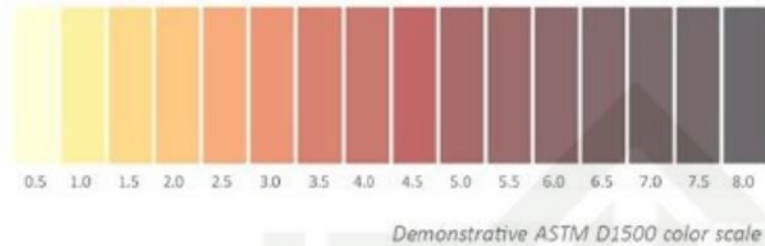
10. Warna

Warna minyak trafo adalah indikator visual yang penting untuk menilai kondisi dan kualitas minyak trafo. Warna minyak dapat berubah seiring waktu karena berbagai faktor seperti kontaminasi, oksidasi, dan degradasi termal. Minyak trafo baru biasanya berwarna kuning muda atau hampir jernih, menandakan bahwa minyak tersebut bersih dan dalam kondisi baik. Namun, seiring dengan berjalannya waktu dan penggunaan, minyak trafo dapat berubah warna menjadi lebih gelap, biasanya ke coklat atau hitam, yang mengindikasikan adanya degradasi atau kontaminasi[23].

Warna minyak yang gelap umumnya menunjukkan bahwa minyak telah terdegradasi dan mungkin mengandung sejumlah besar partikel padat atau zat kimia yang dapat merusak komponen internal transformator dan mengurangi kemampuan isolasi minyak. Penilaian warna minyak adalah bagian dari program pemeliharaan preventif yang bertujuan untuk mendeteksi masalah pada tahap awal sebelum menyebabkan kerusakan serius. Jika minyak trafo menunjukkan perubahan warna yang signifikan, biasanya dilakukan analisis lebih lanjut untuk menentukan penyebab pasti degradasi dan tindakan perbaikan yang diperlukan, seperti filtrasi, penggantian minyak, atau penambahan inhibitor. Dengan demikian, pemantauan warna minyak trafo adalah alat penting untuk



memastikan transformator tetap beroperasi dengan aman dan efisien. Pemeriksaan warna dilakukan sesuai dengan standar ASTM D 1500, yang merupakan metode visual untuk mengevaluasi warna minyak mineral transformator yang telah digunakan. Warna sampel minyak diukur dengan cara membandingkan secara visual dengan standar warna yang memiliki nomor seri khusus [18].



Gambar 2.2 Skala Warna Standar Minyak Transformator

Tabel 2. 2 Skala Warna Standar Minyak Transformator

Skala Warna Minyak Transformator	Tingkatan Warna	Indeks
0 - 0,1	Kuning pucat	KP
0,1 – 1,5	Kuning muda	KM
1,5 – 2,0	Kuning terang	KT
2,0 – 3,0	Kuning sawo	KS
3,0 – 5,0	Kuning kehitaman	KK
5,0 – 7,0	Coklat kehitaman	CK
7,0 – 8,0	Hitam	H

2.5.3 Bahan Minyak Trafo

a. Minyak Mineral Transformator

Minyak mineral adalah jenis minyak yang paling umum digunakan sebagai isolasi pada transformator. Penggunaannya yang luas disebabkan oleh sifat dielektriknya yang baik serta harganya yang lebih terjangkau dibandingkan jenis minyak isolasi lainnya. Namun, minyak mineral memiliki tingkat biodegradasi yang relatif rendah, sekitar 30%. Jika terjadi kebocoran pada tangki transformator atau minyak tumpah, rendahnya tingkat biodegradasi ini dapat mengakibatkan



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

pencemaran lingkungan. Selain itu, karena minyak mineral berasal dari minyak bumi, yang merupakan sumber daya tidak terbarukan, persediaannya akan habis di masa mendatang[5]. Salah satu opsi yang dapat dijadikan pengganti minyak isolasi trafo adalah minyak tumbuhan, atau yang sering disebut minyak nabati. Minyak yang biasa digunakan dalam trafo umumnya memiliki warna yang terang, hampir transparan, dan terdiri dari senyawa hidrokarbon seperti parafin (C_nH_{2n+2}), naftalen (C_nH_{2n}), dan senyawa aromatik (C_nH_n). Saat minyak mineral digunakan dalam jangka waktu tertentu, kualitasnya akan mengalami penurunan sehingga mengandung kontaminan dan berubah warna menjadi lebih gelap karena penggunaan yang sudah lama dan pemanasan berlebihan yang berlangsung secara terus-menerus[14].

b. Minyak Biji Ketapang

Sejak zaman dahulu, biji ketapang telah dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional di beberapa budaya. Biji ketapang digunakan untuk berbagai tujuan, mulai dari pengobatan luka hingga perawatan kulit dan rambut. Biji ketapang mengandung berbagai nutrisi dan senyawa bioaktif yang bermanfaat bagi kesehatan tubuh, seperti antioksidan, vitamin, mineral, lemak sehat, dan serat. Manfaat kesehatan biji ketapang termasuk membantu dalam penyembuhan luka, menjaga kesehatan jantung, dan mendukung sistem pencernaan yang sehat. Meskipun biji ketapang memiliki potensi kesehatan yang besar, pemanfaatannya masih terbilang minim di beberapa masyarakat karena kurangnya pengetahuan akan manfaat kandungan gizinya yang tinggi. Biji ketapang seringkali dianggap sebagai sampah organik daripada sebagai sumber daya alam yang berharga. Dengan peningkatan kesadaran akan manfaat biji ketapang, ada potensi untuk mengembangkan pemanfaatan biji ini secara lebih luas.

Penelitian terhadap biji ketapang menunjukkan bahwa biji ini memiliki kandungan minyak yang cukup tinggi dalam jangka pendek, yaitu 583,0 g/kg bahan kering, sebanding dengan minyak sayur lainnya seperti minyak kacang tanah, rapeseed, dan bunga matahari. Penelitian lain mengungkapkan bahwa biji ketapang mengandung sekitar 60 gr minyak mentah per 100 gr biji. Kandungan utama asam lemak dalam minyak biji ini adalah asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA), yaitu asam *oleat* ($C_{18:1}$), dan asam lemak tak jenuh ganda (PUFA), yaitu asam *linoleat* ($C_{18:2}$), masing-masing sebesar 32,4% dan 30,3%[17].



BAB III METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Kuantitatif. Penelitian kuantitatif berfokus pada pengumpulan dan analisis data numerik untuk memahami pola, hubungan, atau fenomena tertentu dari hasil pengembangan analisis penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, pada penelitian ini dilakukan pembuatan sampel menggunakan biji ketapang dan dilakukan pengembangan pada pengujian minyak ketapang sebagai pengganti isolasi cair transformator. Penelitian ini menggunakan metode maserasi. Pada ekstraksi minyak terdapat 2 metode yang berbeda, yaitu metode maserasi dan sokletasi. Pada kedua metode tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing. Metode maserasi melibatkan perendaman bahan dalam pelarut dalam suhu ruang, sedangkan metode sokletasi adalah metode ekstraksi panas dengan sirkulasi pelarut. Keunggulan metode maserasi adalah proses sederhana dan murah, tidak memerlukan alat khusus cukup wadah tertutup, pelarut, dan waktu. Cocok untuk senyawa yang sensitif terhadap panas karena prosesnya berlangsung pada suhu kamar, sangat ideal untuk ekstrak yang mudah rusak bila dipanaskan. Minim risiko degradasi senyawa aktif karena suhu rendah menghindari kerusakan senyawa bioaktif yang peka terhadap panas. Sedangkan keunggulan metode sokletasi diantaranya, Efisiensi ekstraksi tinggi yaitu dengan sirkulasi pelarut secara berulang-ulang, ekstraksi bisa lebih menyeluruh dan optimal. Menggunakan pelarut lebih sedikit secara relatif Karena pelarut terus digunakan kembali melalui proses distilasi dan kondensasi. Ekstraksi otomatis karena Setelah alat diatur, proses berjalan secara otomatis tanpa perlu intervensi terus-menerus.

Tabel 3.1 Perbandingan Metode maserasi dan sokletasi

Aspek	Maserasi	Sokletasi
Suhu	Suhu kamar	Suhu tinggi (<i>refluks</i>)
Waktu ekstraksi	Lama	Lebih cepat
Risiko degradasi	Rendah	Cenderung tinggi (karena panas)
Efisiensi	Sedang	Tinggi
Kebutuhan alat	Sederhana	Perlu alat <i>soxhlet</i> dan pemanas



3.2 Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah menggunakan biji ketapang yang diekstraksi dan dimurnikan sebagai minyak alternatif bahan isolasi cair, dan dilakukan uji kelayakan pada minyak biji ketapang tersebut. Spesifikasi minyak biji ketapang dan spesifikasi alat yang digunakan akan diambil pada tahapan penelitian. Dengan objek penelitian yang jelas, eksperimen yang sistematis, dan alat yang tepat, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi yang lebih mendalam tentang potensi minyak biji ketapang sebagai bahan isolasi alternatif yang dapat diterapkan pada industri transformator, serta memberi wawasan mengenai keberlanjutan dan efisiensinya dalam konteks penggunaan energi yang lebih ramah lingkungan.

3.3 Tahapan Penelitian

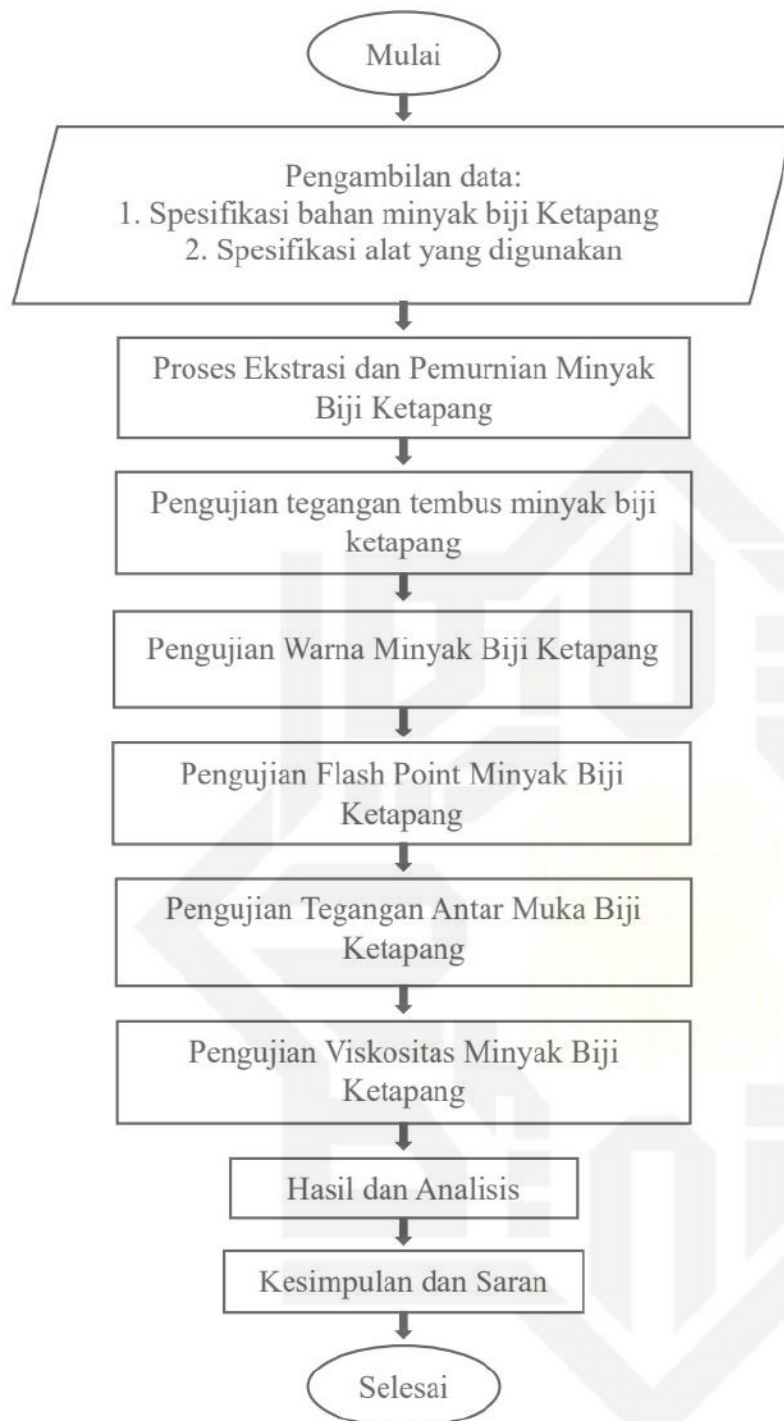
Tahapan penelitian adalah serangkaian langkah yang diambil secara sistematis untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini, studi literatur dipelajari untuk mengidentifikasi masalah, menemukan masalah, dan meninjau penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Selanjutnya, objek penelitian diamati untuk mengumpulkan data yang diperlukan untuk penelitian. *Flowchart* di bawah ini menggambarkan urutan langkah-langkah yang akan dilalui dalam penelitian, mulai dari perencanaan awal hingga tahap analisis data. Setiap langkah dalam flowchart ini memiliki peranan penting dalam keseluruhan proses penelitian, untuk memastikan bahwa setiap aspek dianalisis dengan cermat dan saling terhubung dengan baik.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah langkah fundamental dalam menganalisis kelayakan minyak biji ketapang sebagai bahan isolasi cair untuk transformator. Proses ini mencakup pengukuran parameter fisik dan kimia minyak, seperti warna, bau, titik didih, dan viskositas, serta pengujian sifat dielektrik dan kestabilan terhadap pengoksidasi. Selain itu,



spesifikasi alat yang digunakan dalam pengujian juga dicatat untuk memastikan akurasi dan validitas hasil. Data yang terkumpul akan memberikan gambaran menyeluruh tentang potensi minyak biji ketapang dalam aplikasi isolasi, yang dapat dilihat pada tabel di bawah

Tabel 3.2 Spesifikasi Bahan Minyak Biji Ketapang

No.	Bahan	Jumlah
1.	Biji Ketapang yang sudah di keringkan	3,6 Kg
2.	<i>N-hexane</i>	6 Liter

Tabel 3.3 Spesifikasi Alat yang digunakan dalam pembuatan minyak biji ketapang

No.	Alat	Jumlah
1.	Wadah dan tutup	1 buah
2.	Tabung kaca	2 buah
3.	Oven	1 buah
4.	Pengaduk	1 buah
5.	Saringan	2 buah
6.	<i>Vakum Rotary Evaporator</i>	1 buah
7.	Botol kaca	2 buah

Spesifikasi alat yang digunakan mencakup alat ekstraksi dan pemurnian minyak biji ketapang di laboratorium.

3.5 Ekstraksi dan Pemurnian Sampel Minyak Biji Ketapang

Ekstraksi dan pemurnian sampel minyak biji ketapang adalah langkah penting dalam mempersiapkan minyak untuk analisis lebih lanjut. Proses ini bertujuan untuk memperoleh minyak dengan kualitas optimal yang dapat digunakan dalam aplikasi isolasi cair. Pada penelitian ini menggunakan metode maserasi untuk menghasilkan minyak dari biji ketapang. Metode maserasi adalah suatu teknik ekstraksi yang digunakan dalam pengambilan senyawa-senyawa aktif atau zat-zat tertentu dari bahan alami, seperti tumbuhan atau herbal, dengan menggunakan pelarut. Proses maserasi ini merupakan salah satu metode ekstraksi yang bersifat non-panas, yang berarti ekstraksi dilakukan pada suhu ruangan atau pada suhu rendah tanpa pemanasan yang berlebihan.



Langkah langkah ekstraksi dengan metode maserasi pada minyak biji ketapang:

1. Pengupasan biji ketapang dari cangkang.
2. Pengeringan biji ketapang setelah terkumpul.
3. Biji ketapang yang sudah kering di blender dan dimasukkan ke dalam oven untuk menghilangkan kadar air pada sampel biji ketapang tersebut.
4. Setelah di oven dengan suhu 103°C , sampel biji ketapang dengan berat 3,6 Kg dibagi 6 yaitu menjadi 600 gr. Sampel biji ketapang yang dibagi 6 untuk 6x proses maserasi.
5. Memasukkan sampel sebanyak 600 gr kedalam wadah besar dan memasukkan larutan N-Hexane sebanyak 1 liter. Aduk hingga merata dan tutup selama 2x24 jam untuk maserasi sampel.
6. Setelah 2x24 jam sampel disaring untuk memisahkan biji ketapang dengan larutan N-Hexane yang terkandung minyak juga dalam cairan tersebut.
7. Setelah di maserasi, pelarut N-Hexane dipisahkan kembali untuk menghasilkan minyak murni biji ketapang menggunakan alat *Vakum Rotary Evaporator*.
8. Setelah di *Vakum Rotary*, minyak biji ketapang sudah siap untuk dilakukan pengujian.

3.6 Pengujian Sampel Minyak Biji Ketapang ke Gardu Induk Garuda Sakti

Pengujian sampel minyak biji ketapang dilakukan di Gardu Induk Garuda Sakti, pengujian bertujuan untuk mengevaluasi kelayakannya sebagai bahan isolasi cair dalam transformator. Proses ini melibatkan pengujian berbagai sifat fisik dan kimia minyak untuk memastikan bahwa minyak memenuhi standar kualitas yang dibutuhkan.

3.7 Pengujian Tegangan Tembus Sampel Minyak Biji Ketapang

Pengujian tegangan tembus dilakukan untuk menilai kemampuan minyak biji ketapang dalam mencegah arus bocor. Tegangan tembus yang tinggi menunjukkan bahwa minyak memiliki kemampuan isolasi yang baik, penting untuk mencegah kegagalan sistem dalam transformator.

Alat dan bahan yang diperlukan:

1. Megger OTS100AF (*Oil Test Set 100 kV Automatic*) sudah dikalibrasi
2. Sampel minyak biji Ketapang yang sudah disaring dan bebas dari air/kotoran
3. Gelas ukur dan corong untuk menuang minyak



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber;
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah;
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4. Kain bersih

5. Sarung tangan

Langkah-langkah pengujian tegangan tembus:

1. Memastikan alat *Megger* OTS100AF (*Oil Test Set 100 kV Automatic*) dalam kondisi baik dan bersih.
2. Membersihkan elektroda dan ruang uji dari minyak atau debu
3. Stel jarak antar elektroda sesuai standar yaitu 2,5 mm
4. Memastikan sempel minyak dalam kondisi jenuh dan tidak ada gelembung udara
5. Tuang minyak kedalam ruang uji secara perlahan untuk menghindari gelembung udara
6. Diamkan beberapa menit agar gelembung udara yang mungkin terbentuk bisa keluar
7. Menyalakan alat *Megger* OTS100AF (*Oil Test Set 100 kV Automatic*)
8. Pilih mode pengujian sesuai standar yaitu SPLN
9. Memasukkan parameter jumlah pengulangan pengujian sebanyak 6x
10. Selanjutnya tegangan naik otomatis secara bertahap yaitu 2kV/detik
11. Setelah mengatur parameter tekan tombol start
12. Alat akan secara otomatis menaikkan tegangan hingga terjadi breakdown dan mencatat tegangan tembus
13. Tegangan tembus dari keenam pengujian dijumlahkan untuk mendapatkan tegangan rata rata.

1.8 Pengujian Warna Sampel Minyak Biji Ketapang

Pengujian warna minyak biji ketapang dilakukan untuk mengevaluasi kemurnian dan kualitas minyak. Warna yang tidak normal dapat menunjukkan adanya kontaminasi atau degradasi. Metode pengujian ini umumnya menggunakan skala warna untuk penilaian visual. Warna minyak isolasi dapat diklasifikasikan dalam rentang skala 0,5 hingga 8,0, di mana kelompok skala yang lebih tinggi menunjukkan minyak yang lebih keruh atau berwarna hitam. Ini menandakan bahwa semakin tinggi kelompok skala warna, semakin rendah kualitas minyaknya. Pemeriksaan warna dilakukan sesuai dengan standar ASTM D 1500, yang merupakan metode visual untuk mengevaluasi warna minyak mineral transformator yang telah digunakan.



Alat dan bahan yang diperlukan:

1. *Lovibond PFX-i Series*
2. Cuvette kaca transparan (10 mm atau 33 mm) Wadah untuk sampel saat dimasukkan ke alat
3. Alkohol/Pelarut non-polar (seperti heksana atau etanol 70%) untuk membersihkan *cuvette*.
4. Tisu bebas serat (*lint-free tissue*) untuk mengeringkan *cuvette* tanpa meninggalkan serat.
5. Minyak biji ketapang Sampel utama yang akan diuji.

Langkah-langkah Pengujian warna:

1. Memastikan alat *Lovibond PFX-i Series* dalam kondisi baik dan bersih.
2. Membersihkan *cuvette* dengan alkohol atau pelarut non-polar.
3. Mengeringkan dengan tisu bebas serat agar tidak ada noda.
4. Memastikan tidak ada gelembung udara saat pengisian minyak biji ketapang sebanyak 30 ml
5. Masukkan *cuvette* berisi minyak ke dalam kompartemen sampel di alat *PFX-i*
6. Memastikan terpasang dengan benar dan tidak terbalik
7. Tekan tombol "*Measure*" atau "*Start*" alat akan memproses dan memberikan hasil digital secara otomatis.
8. Setelah selesai pengujian bersihkan *cuvette* dan alat dari sisa minyak.

99 Pengujian *Flash Point* Sampel Minyak Biji Ketapang

Pengujian *flash point* bertujuan untuk menentukan suhu di mana minyak mulai mengeluarkan uap yang dapat terbakar. Nilai *flash point* yang tinggi menunjukkan bahwa minyak lebih aman untuk digunakan, terutama dalam kondisi operasi yang ekstrem. Pengujian ini biasanya dilakukan dengan metode *Pensky-Martens* atau *Abel*.

Alat dan bahan yang diperlukan:

1. *Koehler K11670 (Pensky-Martens Closed Cup Flash Point Tester)*
2. Termometer
3. Pemantik api
4. *Stopwatch*
5. Gelas ukur dan corong
6. Sampel minyak biji ketapang



Langkah-langkah pengujian *Flash Point*:

1. Memastikan alat dalam kondisi bersih dan siap pakai.
2. Menuangkan sampel ke dalam cawan uji sebanyak 50 mL hingga batas volume sesuai spesifikasi alat.
3. Menyalakan alat dan pilih metode pengujian ASTM D93
4. Atur suhu awal pengujian (biasanya 20–30 °C di bawah perkiraan titik nyala).
5. Secara manual, nyala api kecil akan diarahkan ke dalam cup pada interval suhu tertentu (misalnya setiap 1 °C atau setiap 2 °C).
6. Mulai pemanasan dengan laju pemanasan sesuai standar (biasanya sekitar 5–6 °C per menit)
7. Aduk sampel (dengan kecepatan sesuai metode 90–120 RPM)
8. Amati saat terdapat "*flash*" atau nyala api sesaat di atas permukaan minyak.
9. Catat suhu saat flash terjadi dan inilah titik nyala (*flash point*).
10. Matikan pemanas agar alat dingin, Buang sampel dengan aman.
11. Membersihkan cawan dan komponen lain sesuai prosedur agar siap untuk pengujian berikutnya.

3.10 Pengujian Tegangan permukaan Sampel Minyak Biji Ketapang

Pengujian tegangan antar muka mengukur kemampuan minyak untuk menahan arus listrik di antara dua fase. Hasil dari pengujian ini memberikan indikasi tentang stabilitas elektrik minyak dan kemampuannya untuk berfungsi secara efektif dalam isolasi.

Langkah-langkah pengujian tegangan permukaan pada sampel minyak biji ketapang adalah:

Alat dan bahan yang digunakan:

1. Alat KRUSS GMBH K20S EASY DYNE 20003712
2. Cincin *platinum-iridium* / *Wilhelmy Plate*
3. Beaker kaca
4. Pipet atau *syringe*
5. Termometer digital
6. Lap mikrofiber / tissue bebas serat
7. Sampel minyak biji ketapang
8. Air suling (*aquadest*)
9. Etanol / aseton (untuk pembersih)



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

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Langkah-langkah pengujian tegangan permukaan

1. Menyiapkan dan membersihkan semua alat dengan etanol untuk menghindari kontaminasi.
2. Isi beaker dengan air suling sebagai fase bawah.
3. Menambahkan sampel minyak biji ketapang perlahan di atas air.
4. Menyalakan alat *Krüss K20S Easy Dyne* dan pilih mode pengukuran IFT.
5. Pasang cincin (atau *plate*) dan melakukan kalibrasi jika diperlukan.
6. Menurunkan cincin ke antarmuka minyak-air sesuai petunjuk alat.
7. Menyalakan pengukuran; alat akan mencatat gaya yang dibutuhkan untuk memisahkan cincin dari antarmuka.
8. Catat nilai IFT yang ditampilkan (dalam satuan mN/m).
9. Ulangi pengujian 2–3 kali untuk akurasi data.
10. Bersihkan alat setelah selesai.

11 Pengujian viskositas Sampel Minyak Biji Ketapang

Alat dan bahan yang digunakan:

1. *koehler KV3000 Series (Kinematic Viscosity Bath)*
2. *Viscometer glass tube* (seperti *Cannon-Fenske*, *Ubbelohde*, atau *Ostwald*)
3. *Stopwatch/digital timer* (biasanya sudah terintegrasi dalam alat)
4. Termometer presisi (bila tidak terintegrasi)
5. Pipet atau alat ukur volume kecil
6. Sarung tangan, lap bersih, dan alat pembersih tabung (*solvent*, dll.)
7. Sampel minyak biji ketapang
8. Larutan pembersih

Langkah-langkah pengujian viskositas pada sampel minyak biji ketapang

1. Hidupkan alat *Koehler KV3000* dan atur suhu bak mandi sesuai dengan standar pengujian (biasanya 40°C atau 100°C tergantung kebutuhan).
2. Memastikan suhu stabil dan telah tercapai sebelum mulai pengujian ($\pm 0.01^\circ\text{C}$).
3. Membersihkan viscometer tube hingga benar-benar bebas dari kotoran dan sisa sampel sebelumnya.
4. Keringkan dengan sempurna.
5. Masukkan sampel minyak biji ketapang ke dalam tabung viscometer sesuai volume yang ditentukan (biasanya 10–15 ml tergantung tipe viscometer).



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutip sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

6. Pasang tabung viscometer secara vertikal dalam bath KV3000, pastikan posisi dan perendaman sudah sesuai prosedur.
7. Tunggu hingga suhu sampel dalam tabung mencapai suhu bath (± 10 menit).
8. Gunakan stopwatch (atau fitur timer otomatis pada alat) untuk mengukur waktu yang dibutuhkan sampel minyak mengalir dari tanda atas ke tanda bawah pada viscometer.
9. Catat suhu, waktu alir, nilai viskositas, dan ID viscometer yang digunakan.
10. Segera setelah pengujian selesai, bersihkan viscometer menggunakan solvent yang sesuai.
11. Keringkan dan simpan dengan hati-hati.

3.12 Analisis Hasil Pengujian

Analisis hasil pengujian dilakukan dengan membandingkan data yang diperoleh dari pengujian dengan standar yang ditetapkan untuk minyak isolasi. Hasil ini akan memberikan gambaran komprehensif mengenai sifat dan kualitas minyak biji ketapang, serta potensi penggunaannya sebagai bahan isolasi dalam transformator. Dengan analisis ini, rekomendasi dapat dibuat terkait kelayakan penggunaan minyak biji ketapang dalam aplikasi industri. Hasil dalam penelitian ini adalah menghasilkan minyak sari biji ketapang dengan metode maserasi, hasil kedua mendapatkan perbandingan Tegangan Tembus pada sampel minyak biji ketapang pada penelitian ini dengan penelitian[17] sebelumnya. Hasil ketiga yaitu analisis warna pada minyak biji ketapang yang telah siap dibuat, hasil keempat yaitu mendapatkan analisis *flash point* atau titik nyala pada sampel minyak biji ketapang, hasil kelima yaitu mendapatkan analisis Viskositas yang terkandung dalam sampel minyak biji ketapang, dan hasil terakhir yaitu analisis tegangan permukaan yang terdapat dalam sampel minyak biji ketapang.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai analisis kelayakan minyak biji ketapang sebagai bahan isolasi cair transformator, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Proses ekstraksi dan pemurnian minyak biji ketapang dengan metode maserasi berhasil menghasilkan minyak murni yang layak diuji sebagai bahan isolasi cair. Metode maserasi dinilai efektif karena tidak melibatkan pemanasan tinggi, sehingga menjaga stabilitas senyawa aktif dalam minyak.
2. Hasil pengujian tegangan tembus menunjukkan nilai sebesar 75,4 kV, jauh melampaui batas minimum SPLN 49-1:1982 yaitu 30 kV/2,5 mm. Hal ini menunjukkan bahwa minyak biji ketapang memiliki kekuatan dielektrik yang sangat baik dan layak digunakan sebagai media isolasi.
3. Pengujian warna menunjukkan hasil warna kuning cerah dengan indeks 2.2 pada alat Lovibond PFX-i Series, sesuai standar ASTM D1500. Ini menunjukkan minyak dalam kondisi jernih, belum terdegradasi, dan bebas kontaminasi.
4. Pengujian *flash point* menghasilkan nilai 142°C, melebihi batas standar $\geq 135^\circ\text{C}$. Nilai ini menandakan bahwa minyak biji ketapang memiliki stabilitas termal tinggi dan aman digunakan dalam aplikasi transformator.
5. Pengujian tegangan antar muka (IFT) menunjukkan hasil 5,4 mN/m dapat disimpulkan bahwa minyak biji ketapang pada kondisi ini belum memenuhi batas minimum yang ditentukan oleh standar SPLN untuk aplikasi sebagai minyak isolasi transformator. Rendahnya nilai tersebut menunjukkan bahwa kemungkinan masih terdapat senyawa polar atau kontaminan dalam minyak, yang berpotensi mengganggu kestabilan antarmuka antara minyak dan air.
6. Pengujian viskositas menghasilkan nilai 25,53 mm²/s (cSt) pada suhu 40°C, tingginya nilai viskositas yang melampaui batas standar mengindikasikan bahwa minyak memiliki kekentalan yang cukup besar, sehingga berpotensi menimbulkan hambatan dalam proses sirkulasi di sistem pendinginan transformator.



5.2

Saran

Ada beberapa saran dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian lebih lanjut menggunakan metode penelitian yang sama perlu dilakukan untuk menguji parameter tambahan seperti kadar air, kadar asam, sediment, dan kandungan gas guna memperoleh gambaran lebih menyeluruh mengenai performa minyak biji ketapang dalam aplikasi transformator.
2. Disarankan untuk mengkaji penggunaan antioksidan alami atau aditif lain dalam minyak biji ketapang agar kualitasnya dapat ditingkatkan lebih lanjut, khususnya untuk aplikasi pada sistem tegangan tinggi.
3. Minyak biji ketapang memiliki potensi besar secara ekonomi dan lingkungan. Oleh karena itu, disarankan untuk dilakukan pengembangan industri ekstraksi dan pemurnian secara masif, serta mendorong penelitian kolaboratif antara akademisi, industri, dan pemerintah dalam pemanfaatan sumber daya nabati lokal.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR PUSTAKA

- H. Elnizar, H. Gusmedi, and O. Zebua, "Analisis Rugi-Rugi (Losses) Transformator Daya 150/20 KV di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sutami ULTG Tarahan," *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 15, no. 2, pp. 116-126, 2021.
- S. Herviany, J. Juningtyastuti, and A. Syakur, "Analisis Perbandingan Karakteristik Dielektrik Pada Minyak Bekas Transformator 20 Kv Sebelum Dan Setelah Purifikasi Dengan Adsorben," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 4, no. 3, pp. 734-744, 2015.
- M. Tohari, B. Sukoco, and M. Haddin, "Analisis Kondisi Transformator Daya 20kv/150kv Dengan Metode Uji Dissolved Gas Analysis (DGA) Di PT. PJB PLTU Rembang," *Prosiding Konstelasi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU) Klaster Engineering*, 2021.
- R. Ondrialdi and U. Situmeang, "Analisis Pengujian Kualitas Isolasi Transformator Daya di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang," *SainETIn: Jurnal Sains, Energi, Teknologi, dan Industri*, vol. 4, no. 2, pp. 72-81, 2020.
- W. Meitesa, "Pengaruh Penambahan Bentonit terhadap Viskositas dan Tegangan Tembus Minyak Transformator Terkontaminasi," *VOLT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 1-11, 2024.
- A. Azis, R. Anjasmara, P. Perawati, and I. K. Pebrianti, "Studi Kinerja Relai Arus Lebih Pada Transformator Daya 30 Mva Gardu Induk Seduduk Putih Palembang," *Teknika: Jurnal Teknik*, vol. 9, no. 2, pp. 89-105, 2023.
- F. X. J. H. Setiyawan, T. D. P. D. Disetujui, And P. I. Pembimbing Ii, "Hala Man Pengesahan Tugas Akhir Dengan Judul Analisa Tegangan Tembus Transformator Menggunakan Fuzzy Logic."
- P. Purwiyanto and G. M. Aji, "Pengujian Tembus Dielektrik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Pengganti Isolasi Pada Minyak Trafo," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 4, no. 1, pp. 30-35, 2017.
- A. Ansori, "Analisis Tegangan Tembus Pada Minyak Jarak (Castor Oil) Sebagai Alternatif Isolator Minyak Transformator," 2022.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



- [10] A. P. Umar, S. Hulopi, and L. M. K. Amali, "Analisis Karakteristik Tegangan Tembus Isolasi Minyak Transformator Menggunakan Oli Sepeda Motor Shell Advance 20w-50 Dan Pertamina Mesran 20w-50," *Jurnal EL Sains P-ISSN*, vol. 2527, p. 6336, 2023.
- [11] S. Samsurizal, A. Makkulau, and S. A. Zahra, "Studi Pengujian Karakteristik Minyak Nabati Terhadap Tegangan Tembus Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Trafo," *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 11, no. 1, 2022.
- [12] A. Djafar, B. Wijaya, M. R. A. Bolilio, A. I. Tolango, and L. M. K. Amali, "Analisis Perbandingan Minyak Kemiri dan Minyak Zaitun sebagai Pengganti Minyak Transformator," *Jurnal Multidisiplin Indonesia*, vol. 2, no. 4, pp. 836-843, 2023.
- [13] R. Rahmawati, S. Agustina, and M. R. Malau, "Evaluasi Kandungan Air Terhadap Tegangan Tembus Pada Minyak Jarak Yang Telah Melalui Proses Transesterifikasi Sebagai Alternatif Minyak Transformator," *Jurnal Mikrotiga*, vol. 1, no. 3, 2014.
- [14] N. Fandu Ryansyah, "Analisis Tegangan Tembus Crude Palm Oil Dengan Penambahan Bentonit Dan Zeolit Teraktivasi Sebagai Alternatif Isolator Cair," 2023.
- [15] R. K. Putra and F. Murdiya, "Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas*) Sebagai Alternatif Isolasi Cair," Riau University, 2017.
- [16] J. Jumardin, J. Ilham, and S. Salim, "Studi Karakteristik Minyak Nilam Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 40-48, 2019.
- [17] J. Kamilatin, W. Warindi, and I. M. A. Nrartha, "Uji Kelayakan Minyak Biji Ketapang Sebagai Bahan Isolasi Cair Transformator," *Dielektrika*, vol. 8, no. 1, pp. 21-30, 2021.
- [18] B. Fechera, J. Kustija, and S. Elvyanti, "Optimasi penggunaan membership function logika fuzzy pada kasus identifikasi kualitas minyak transformator," *Electrans*, vol. 11, no. 2, pp. 27-35, 2012.
- [19] A. Syakur and W. Lazuardi, "Penerapan Metode Interpretasi Rasio Roger, Segitiga Duval, Breakdown Test, dan Water Content Test untuk Diagnosis Kelayakan Minyak Transformator," *Teknik*, vol. 40, no. 1, pp. 63-68, 2019.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1

2

3

4

5

6

7

8

9

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



- [20] F. Pakpahan, T. Ramadani, S. A. Pradana, M. A. Supriyanto, and E. Mardiyono, "Implementasi kebijakan satu peta energi sumber daya mineral (esdm one map) di kementerian energi sumber daya mineral republik Indonesia," *Matra Pembaruan: Jurnal Inovasi Kebijakan*, vol. 3, no. 2, pp. 109-118, 2019.
- [21] M. Arfianda, "Analisa Penggunaan Rele Differensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Gardu Induk Paya Pasir (PT. PLN PERSERO)," *Skripsi. FT, Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan*, 2019.
- [22] M. Fikri, D. J. Damiri, M. R. Safariansyah, S. Pratiwi, and M. R. Hidayat, "Pengaruh Kontaminan Air terhadap Tegangan Tembus Isolasi Cair Minyak Mineral dan Nabati sebagai Alternatif Isolasi Minyak Transformator," *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*, vol. 21, no. 1, pp. 42-51, 2022.
- [23] A. S. Ronald, "Uji Tegangan Tembus Dan Viskositas Minyak Sawit Dengan Penambahan Butylated Hydroxytoluene (Bht) Sebagai Alternatif Isolasi Minyak Transformator," 2024.
- [24] P. L. Hariani, F. Riyanti, and H. Oktaviani, "Analisis Mutu Minyak Biji Ketapang (*Terminalia Catappa* Linn.) Hasil Sokletasi," *Jurnal penelitian sains*, vol. 10, no. 3, 2017.
- [25] Ayoola, H. B., Adeyeye, E. I., Onawumi, O. O., & Ogunlola, I. A., "Chemical Evaluation and Composition of *Terminalia catappa* Seed Oil," *International Journal of Science and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 10–13, 2014.
- [26] Ajayi, E. O., & Oderinde, D. O., "Fatty acid composition and physicochemical properties of *Terminalia catappa* seed oil," *Nigerian Journal of Science*, vol. 37, no. 2, pp. 95–101, 2003.
- [27] Almad, M. F., "Pengaruh Proses Netralisasi terhadap Nilai Tegangan Antar Muka Minyak Nyamplung sebagai Isolator Cair," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, no. 2, pp. 145–152, 2020.
- [28] Y. Zhang, Q. Liu, H. Liu, dan Y. Wang, "Aging behavior and condition monitoring of transformer oil under thermal stress," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 19, no. 5, pp. 1606–1612, Oct. 2012. doi: 10.1109/TDEL.2012.6396963

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



[29]

W. Sima, H. He, dan M. Du, "Influence of moisture and particles on transformer oil dielectric properties," in *Proceedings of the Electrical Insulation Conference (EIC)*, 2017, pp. 256–259. doi: 10.1109/EIC.2017.8004672

[30]

I. M. Nazri, M. H. Ruslan, dan A. N. M. Yasin, "Effect of oil processing method on physicochemical properties of insulating oils derived from vegetable sources," *Renewable Energy*, vol. 136, pp. 1116–1122, 2019. doi: 10.1016/j.renene.2018.09.086

[31]

Fadillah, R. A., "Karakterisasi Minyak Biji Karet sebagai Bahan Baku Minyak Isolasi Nabati dengan Proses Bleaching," *Skripsi, Universitas Sumatera Utara*, 2021.

[32]

G. Knothe dan K. R. Steidley, "Kinematic viscosity of biodiesel components and related compounds," *Fuel*, vol. 84, no. 9, pp. 1059–1065, 2005. doi: 10.1016/j.fuel.2005.01.016

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

[32]

G. Knothe dan K. R. Steidley, "Kinematic viscosity of biodiesel components and related compounds," *Fuel*, vol. 84, no. 9, pp. 1059–1065, 2005. doi: 10.1016/j.fuel.2005.01.016

:

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



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Retno Aulia Setiani, lahir di Hangtuah Kabupaten Kampar, Provinsi Riau pada tanggal 05 september 2001. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Ayah Bernama Nur Ali dan Ibu Bernama Sri Agustin. Adik pertama Bernama Rizki Dwi Prasetyo yang sekarang duduk dikelas 3 sekolah menengah pertama dan adik kedua penulis Bernama Tri Febri Anggraini duduk dikelas 5 Sekolah Dasar. Penulis tinggal di desa Hangtuah Kecamatan Perhentian Raja kabupaten Kampar,

Provinsi Riau. Riwayat Pendidikan penulis yaitu Paud di Taman Kanak-Kanak dan lulus pada tahun 2007. Penulis melanjutkan sekolah dasar di SD N 005 Hangtuah dan lulus pada tahun 2014. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan Pendidikan ke jenjang selanjutnya yaitu sekolah menengah pertama di SMP N 01 Perhentian Raja dan lulus pada tahun 2017. Pada tahun 2017 penulis melanjutkan sekolah kejuruan di SMK Manajemen Penerbangan Pekanbaru dengan jurusan *Airframe and Powerplant*, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT Dirgantara Indonesia tepatnya di Kota Bandung dan penulis lulus pada tahun 2020. Ketika lulus pada tahun 2020 penulis mengikuti tes untuk melanjutkan kuliah di sekolah kedinasan yaitu PPI Curug Indonesia, namun penulis tidak lulus. Pada tahun 2021 penulis lulus di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim dengan jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Pada semester 5 penulis memilih konsentrasi Energi Berkelanjutan dan penulis berhasil menyelesaikan kuliah pada tahun 2025.

Atas izin Allah SWT dan dukungan yang luar biasa penulis dapatkan dari orangtua tercinta, keluarga serta sahabat, penulis berhasil menyelesaikan kuliah ini tepat waktu. Semoga skripsi ini yang berjudul “**Analisis Kelayakan Minyak Biji Ketapang Sebagai Bahan Isolasi Cair Transformator**” bisa membantu banyak orang dalam menyelesaikan karya tulis nya.

Email: auliaseptianiretno@gmail.com

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya atau melakukan tindakan lainnya yang melanggar hak cipta milik UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.