

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK PARTIAL DISCHARGE INCEPTION VOLTAGE PADA
MINYAK KELAPA MURNI (VIRGIN COCONUT OIL) DENGAN
PENAMBAHAN NANOPARTIKEL TITANIUM DIOXIDE (TiO_2)**



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

Oleh :
DINDA YULIANA TRIANI
03041181621030

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI TEKNIK TENAGA LISTRIK
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

LEMBAR PENGESAHAN
KARAKTERISTIK PARTIAL DISCHARGE INCEPTION VOLTAGE PADA
MINYAK KELAPA MURNI (VIRGIN COCONUT OIL) DENGAN
PENAMBAHAN NANOPARTIKEL TITANIUM DIOXIDE(TiO_2)



SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya

Oleh :

DINDA YULIANA TRIANI
03041181621030

Palembang, Januari 2021

Menyetujui,

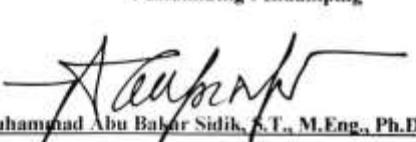
Pembimbing Utama



Ir. Ansori, M.T.

NIP. 195708311987031001

Pembimbing Pendamping



Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP : 197108141999031005

Mengetahui,

Ketua Jurusan



Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP : 197108141999031005

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dinda Yuliana Triani

NIM : 030411821030

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Universitas : Sriwijaya

Menyatakan bahwa karya ilmiah dengan judul "**KARAKTERISTIK PARTIAL DISCHARGE INCEPTION VOLTAGE PADA MINYAK KELAPA MURNI (VIRGIN COCONUT OIL) DENGAN PENAMBAHAN NANOPARTIKEL TITANIUM DIOXIDE(TiO_2)**" merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari karya ilmiah ini merupakan hasil plagiat atas karya ilmiah orang lain, maka saya bersedia bertanggung jawab dan menerima sanksi yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

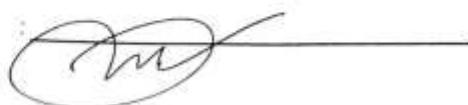
Palembang , Januari
2021




Dinda Yuliana Triani

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

Tanda Tangan



Pembimbing Utama : Ir. Ansyori, M.T.

Tanggal : 25 / Feb / 2021

Tanda Tangan



Pembimbing Kedua : Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.

Tanggal : 25 / Feb / 2021

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“KARAKTERISTIK PARTIAL DISCHARGE INCEPTION VOLTAGE PADA MINYAK KELAPA MURNI (VIRGIN COCONUT OIL) DENGAN PENAMBAHAN NANOPARTIKEL TITANIUM DIOXIDE (TiO_2)”**. Shalawat beserta salam semoga selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW, beserta keluarga, sahabat dan para pengikutnya.

Penulis menyadari bahwa dalam Penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Suratman selaku pahlawan dan cinta pertama saya, yang selalu menyemangati dan menasehati saya. Ratnawati sang bidadari cantik yang selalu mendengarkan keluh kesah saya dan pastinya sebagai support terbesar dalam hidup saya.
2. Ketua Jurusan Teknik Elektro serta pembimbing pendamping saya, Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D yang telah memberi banyak sekali bantuan selama penelitian dan pembuatan skripsi ini.
3. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Bapak Ir. Ansyori, M.T. yang telah membimbing penulis dalam penyelesaian penulisan tugas akhir.
4. Almarhum Bapak Dr. Eka Putra Waldi, S.T.,M.Eng yang telah banyak membantu terkait rangkaian pengujian kami.
5. Pak Lukman yang telah banyak membantu di awal pengujian. Serta kak Rio yang membantu selama pengujian di padang selasa.
6. Dosen pembimbing akademik Bapak Ir. Rudyanto Tayib, M.Sc., yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan dan memberi saran serta masukan dalam pengambilan mata kuliah.

7. Kak Suci Siswandari selaku partner dalam penelitian yang selalu saya repotkan dan sangat membantu dalam hal penelitian saya.
8. Semua keluarga saya yang telah banyak membantu dan menghibur saya, Adel, Yoga, Yuk Putri, Krisna dan keponakan-keponakan saya, Atan, Al, EL dan tentunya Alm.Mbah yang ingin sekali melihat saya menjadi sarjana.
9. Teman-teman Strong Girls, Rike Muthiani, Amanda Restuliliani, Lara Pebriani, Ervini Adriyani, Sere Naomi, Laras Yunika, Salu Widayati, Pratiwi Anggraini, dan Citra Paripurna yang telah menemani selama masa kuliah.
10. Teman-Teman Astroya, Radius, Gilang, Raka, Diaz, Akbar, Samsul dan anggota Astroya lainnya yang telah menyemangati dan menemani selama masa kuliah.
11. SADIBA yang selalu ada disaat saya jenuh dalam penyusunan skripsi ini. Rini, Diana, Dwi, Itsana, Purbani, Nadya.
12. Keluarga besar ELECTERAL JANNISARY 2016

Palembang, Januari 2021

Penulis

ABSTRAK

Tranformator merupakan alat listrik yang memiliki fungsi sebagai pemindah energi dengan prinsip induksi elektromagnetik.. Sebagian besar minyak isolasi yang digunakan pada Transformator berasal dari minyak bumi yang tidak terbarukan. Maka dari itu dibutuhkannya alternatif minyak isolasi dengan tingkat biodegradabilitas tinggi. Minyak nabati yang dirasa cocok untuk diteliti sebagai minyak isolasi yaitu minyak kelapa murni (Virgin Coconut Oil). Penelitian yang dilakukan ini menggunakan Minyak VCO dengan penambahan *Titanium Dioxide TiO₂* yang bertujuan untuk mengetahui besarnya tegangan awal Partial Discharge (*Partial Discharge Inception Voltage*). Pembahasan dilakukan mencangkup *Partial Discharge Inception Voltage*, Viskositas, dan Kadar Air. Penambahan *Titanium Dioxide TiO₂* dengan konsentrasi 0,025% dan 0,050%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pengaruh suhu dan penambahan Titanium Dioxsida TiO₂ cukup berpengaruh. Pada Konsentrasi 0,050% kenaikan tegangan PDIV yang paling optimal dengan kenaikan terbesar 4,493 Kv. Nilai Viskositas mengalami kenaikan terhadap penambahan Titanium Dioxide dan penngaruh suhu pemanasahn. Dan pengujian Kadar air mengalami penurunan untuk konsentrasi 0,025% dan 0,050% namun mengalami kenaikan pada sample uji VCO murni.

Kata Kunci : Minyak kelapa Murni (VCO). Titanium Dioxide TiO₂, *Partial Discharge Inception Voltage*, Viskositas, kadar air.

ABSTRACT

Tranformator is an electrical tool that has a function as an energy transferer with the principle of electromagnetic induction.. Most of the insulating oil used in transformers comes from petroleum that is not renewable. Therefore, the need for alternative oil insulation with a high level of biodegradability. Vegetable oil that is considered suitable to be researched as insulating oil is virgin coconut oil. This research was conducted using VCO Oil with the addition of Titanium Dioxide TiO₂ which aims to find out the amount of initial voltage Partial Discharge (Partial Discharge Inception Voltage). The discussion was conducted to include Partial Discharge Inception Voltage, Viscosity, and Water Content. Addition of Titanium Dioxide TiO₂ with concentrations of 0.025% and 0.050%. Based on the research conducted the influence of temperature and the addition of Titanium Dioxide TiO₂ is quite influential. At a concentration of 0.050% the most optimal increase in PDIV voltage with the largest increase of 4,493 Kv. Viscosity value increases against the addition of Titanium Dioxide and heating temperature. And water content testing decreased for concentrations of 0.025% and 0.050% but increased in pure VCO test samples.

Keyword: Virgin Coconut Oil (VCO). Titanium Dioxide TiO₂, Partial Discharge Inception Voltage, Viscosity, Moisture Content.

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS...	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	Error! Bookmark not defined.
ABSTRACT	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR GAMBAR	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR TABEL.....	Error! Bookmark not defined.
NOMEKLATUR	Error! Bookmark not defined.
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Minyak Isolasi	6
2.2 Minyak Kelapa Murni (<i>Virgin Coconut Oil</i>)	7
2.2. Sifat-sifat Minya Kelapa Murni (VCO).....	7
2.3 Nanopartikel TiO_2	8
2.4 Tegangan Tembus Minyak Isolasi	9
2.5 <i>Partial Discharge</i> (PD)	9
2.5.1 <i>Partial Discharge Inception Voltage</i> (PDIV).....	10
2.5.2 Pengujian PDIV	11
2.6 Mekanisme Terjadinya <i>PD</i>	12
2.7 Penelitian Sebelumnya	16

BAB 3 METODELOGI PENELITIAN	16
3.1 Lokasi Penelitian	16
3.2 Waktu Penelitian	16
3.3 Peralatan Penelitian	16
3.3.1 Minyak Kelapa Murni (<i>Virgin Coconut Oil</i>)	16
3.3.2 Oven	17
3.3.3 <i>Magnetic Stirrer</i>	17
3.3.4 Sumber Tegangan	18
3.3.5 Kabel Penghubung	18
3.3.6 Viscometer Bath	19
3.3.7 Nanopartikel <i>Titanium Dioxide TiO₂</i>	19
3.3.8 Gelas Beaker	20
3.3.9 Timbangan Digital	20
3.3.10 PicoScope	20
3.3.11 Coupling Capacitor	21
3.3.12 HV Probe	21
3.3.13 Low Voltage Calibration Signal Coupler	22
3.3.14 Rangkain kalibrasi Pengujian <i>PDIV</i>	22
3.3.15 Rangkain Pengujian <i>PDIV</i>	22
3.4 Pembuatan Kotak Uji dan Elektroda Uji	23
3.5 Pengambilan Data	24
3.6 Perancangan Penelitian	24
3.6.1 Pembuatan Kotak Uji dan Elektroda Uji	24
3.6.2 Pencampuran Sample Minyak	25
3.6.3 Kalibrasi Peralatan Pengujian	26
3.6.4 Pengujian Kadar Air	27
3.6.5 Pengujian Viskositas	28
3.6.6 Pengujian Partial Discharge Inception Voltage	28
3.8 Pengolahan Data	29
3.9 Diagram Alir Penelitian	30

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Pendahuluan	31
4.2 Pengujian <i>PDIV</i>	31
4.3 Analisa <i>PDIV</i>	32
4.4 Pengujian Viskositas	36
4.5 Pengujian Kadar Air	37
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Partial Discharge</i> pada <i>Cavity</i>	13
Gambar 2.2 Kegagalan isolasi karena adanya Partikel	13
Gambar 3.1 Minyak Kelapa Murni (<i>Virgin Coconut Oil</i>).....	17
Gambar 3.2 Oven	17
Gambar 3.3 <i>Magnetic Stirrer</i>	18
Gambar 3.4 Sumber Tegangan.....	18
Gambar 3.5 Kabel Penghubung	19
Gambar 3.6 <i>Viscometer Bath</i>	19
Gambar 3.7 <i>Titanium Dioxide</i> (TiO_2)	20
Gambar 3.8 Gelas Beaker	20
Gambar 3.9 Timbangan Digital	20
Gambar 3.10 PicoScope	21
Gambar 3.11 Coupling Capasitor	21
Gambar 3.12 HV Probe Tetronikx P6015A	22
Gambar 3.13 Low Voltage Calibration Signal Coupler	22
Gambar 3.14 Rangkaian Kalibrasi Pengujian <i>PDIV</i>	22
Gambar 3.15 Rangkaian Pengujian <i>PDIV</i>	23
Gambar 3.16 Kotak Uji dan Elektroda Uji	23
Gambar 3.17 Kotak Uji dan Elektroda Uji 3D	24

Gambar 3.18 Diagram Alur Proses Pencampuran Minyak	23
Gambar 4.1 Hasil Kalibrasi Rangkaian <i>PDIV</i>	27
Gambar 4.2 Pengujian <i>PDIV</i> Minyak VCO pada suhu ruangan	32
Gambar 4.3 Pengujian <i>PDIV</i> Minyak VCO pada suhu 60°C	33
Gambar 4.4 Pengujian <i>PDIV</i> Minyak VCO pada suhu 120°C	33
Gambar 4.5 Muatan <i>PDIV</i> pada setiap sample uji	34
Gambar 4.6 Rata-rata tegangan <i>PDIV</i> disetiap Sample uji minyak VCO	34
Gambar 4.7 Hasil Pengujian Viskositas Kinematik 40° Minyak VCO	36
Gambar 4.6 Nilai Kadar Air pada minya VCO.....	37

DAFTAR TABEL

Tabel. 2.1 Batasan Minyak Isolasi baru IEC 60296 – 2003.....	6
Tabel 2.2 Karakteristik dari minyak kelapa murni (Virgin Coconut Oil).....	7
Table 2.3 Sifat Fisika dari TiO_2	8
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	25
Tabel 3.1 Sample Uji Penelitian	26

NOMENKLATUR

- *Internal Partial Discharge* : Fenomena peluahan dalam
- *Barrier* : Pembatas yang digunakan saat pengujian *PDIV*
- *Partial Discharge (PD)* : Peluahan Sebagian
- *Partial Discharge Inception Voltage (PDIV)* : Tegangan awal peluahan sebagian
- *Virgin Coconut Oil (VCO)* : Minyak kelapa murni
- *Titanium Dioxide (TiO_2)* : Nanopartikel yang dicampurkan pada VCO untuk pembuatan sample uji
- *Breakdown* : Tembus
- *Breakdown voltage* : Tegangan tembus

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada sistem tenaga listrik agar dapat membangkitkan listrik dari pembangkit ke konsumen diperlukan peralatan-peralatan listrik, salah satu dari peralatan listrik tersebut ialah transformator. Tranformator merupakan alat listrik yang memiliki fungsi sebagai pengubah energi dengan prinsip induksi elektromagnetik. Pada transformator, isolasi merupakan hal diperlukan karena fungsinya sebagai pemisah antara dua atau lebih bagian yang bertegangan agar tidak adanya loncatan api yang dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan.

Jenis dari transformator yang banyak pada jaringan sistem tenaga yaitu transformator berisolasi yang menggunakan isolasi cair berbasis minyak [1]. Selain sebagai pendingin pada transformator minyak isolasi juga memiliki fungsi untuk menghilangkan panas yang timbul karena adanya kumparan dari inti transformator [2].

Sebagian besar minyak isolasi yang digunakan berasal dari minyak bumi yang tidak terbarukan. Maka dari itu dibutuhkannya sebuah alternatif minyak isolasi yang memiliki tingkat biodegradabilitas tinggi, agar dapat digunakan secara terus menerus. Dalam penelitiannya, Elia et al [3], berpendapat bahwa “Minyak nabati telah layak untuk dijadikan alternatif minyak isolasi cair. Dimana karakteristik yang ada pada minyak nabati telah memenuhi standar kelayakan minyak isolasi”.

Minyak nabati yang dirasa cocok untuk diteliti sebagai minyak isolasi yaitu minyak kelapa murni (*Virgin Coconut Oil*) dengan pertimbangan ketersediaannya yang banyak di indonesia. Sebelum minyak kelapa murni di implementasikan pada transformator maka perlu dilakukannya sebuah penelitian mengenai *Partial Discharge* terlebih dahulu. Karena pada minyak isolasi pada umumnya dapat mengalami kegagalan atau kenaikan suhu yang dapat berlangsung secara terus menerus dan dapat mengakibatkan beban lebih sehingga menyebabkan kerusakan pada minyak isolasi. Kerusakan terjadi ketika sistem isolasi mengalami tekanan medan listrik yang tinggi. Medan listrik yang tinggi pada bahan isolasi inilah yang menyebabkan atau memicu terjadinya peluahan sebagian (*Partial Discharge*) [3].

PD merupakan saat terjadinya loncatan muatan listrik pada sistem isolasi listrik yang tidak menjembatani ruang antara dua konduktor secara baik. Pengukuran besar tegangan awal *PDIV* sangat perlu dilakukan agar dapat mengetahui secara cepat kerusakan isolasi dan dapat mengambil tindakan yang perlu dilakukan untuk perbaikan agar dapat mencegah terjadinya kerusakan secara menyeluruh pada peralatan listrik. *PD* dapat menurunkan kualitas pada sistem isolasi, dan jika terjadi secara terus-menerus akan mengurangi kekuatan isolasi sehingga menyebabkan kegagalan isolasi [2].

Pada minyak transformator *PD* dapat terjadi berupa gelembung-gelembung (*bubbles*) udara/gas yang dapat menimbulkan fenomena peluahan dalam (internal *Partial discharge*). Gelembung udara dapat menyebabkan arus bocor yang mengalir pada isolasi minyak. Identifikasi kondisi *PD* pada minyak kelapa murni menjadi salah satu hal yang mendesak untuk dianalisis ketika minyak kelapa murni akan diimplementasikan dalam peralatan tegangan tinggi di masa mendatang. Pengenalan dan interpretasi pola *PD* telah terbukti sangat berguna untuk diagnostik kondisi isolasi tegangan tinggi. Untuk mempercepat mengetahui *PD* yang terjadi pada minyak kelapa murni maka diperlukan penambahan Nanopartikel.

Dalam beberapa dekade terakhir penggunaan nanopartikel dalam cairan untuk memperbaiki sifat termal telah banyak dilakukan dan pencampuran nanopartikel dengan minyak transformator akan berguna karena nanopartikel terbukti dapat mengurangi dampak negatif pada karakteristik listrik dan dielektri. Pada penelitian sebelumnya dapat dilihat bahwa dengan mencampurkan nanopartikel *Titanium Dioxide* (TiO_2) dengan minyak kelapa murni dapat meningkatkan kekuatan tembus minyak tersebut. Untuk mengetahui tegangan awal PD pada minyak isolasi maka perlu dilakukannya sebuah penelitian mengenai $PDIV$ agar dapat mengetahui kapan terjadinya awal tegangan PD pada minyak isolasi dan dapat dilakukan peminimalisiran kerusakan pada minyak isolasi sehingga dapat mengetahui kapan terjadinya tembus tegangan dan dapat membuat umur dari transformator menjadi lebih tahan lama [4].

1.2 Perumusan Masalah

Salah satu pengujian terhadap kondisi sistem isolasi cair yaitu pengukuran $PDIV$, pengujian ini dilakukan untuk mendeteksi pola dan tingkat $PDIV$ pada minyak transformator. Isolasi merupakan salah satu faktor terpenting pada transformator dan ketika isolasi mengalami cacat yang menyebabkan panas maka dapat membuat transformator tersebut bekerja secara maksimal. Dalam hal ini menyebabkan adanya stress(tekanan) listrik yang terjadi secara terus menerus dan mengalami penuaan sehingga menyebabkan terjadinya PD pada minyak isolasi yang merupakan awal terjadinya breakdown atau kegagalan isolasi. Oleh karena itu sangat dibutuhkannya isolasi traformator yang baik agar dapat membuat umur transformator menjadi tahan lama [3].

Maka dari itu penelitian kali ini dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan awal peluahan yang terjadinya pada minyak kelapa murni/*Virgin Coconout Oil(VCO)* dan melihat pengaruh dari penambahan nanopartikel TiO_2

menggunakan elektroda jarum dan elektroda bola, dengan pengaruh suhu yaitu 60°C dan 120°C .

1.3 Tujuan Penelitian

Adapula tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan pengaruh penambahan nanopartikel TiO_2 terhadap muatan $PDIV$ pada minyak kelapa murni (VCO)
2. Untuk mendapatkan pengaruh temperatur terhadap $PDIV$ pada minyak transformator yaitu minyak kelapa murni (VCO)

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ada beberapa batasan masalah yang penulis ambil agar pembahasan penelitian ini lebih terarah, sebagai berikut :

1. Elektroda bola yang digunakan berdiameter 12,7 mm dan Elektroda jarum yang digunakan mempunyai diameter ujung jarum 0,01 mm
2. Sample uji yang digunakan minyak kelapa murni (VCO)
3. Pada pengujian kali ini sela atau jarak antara kedua elektroda yang akan diujikan yaitu 0,5 mm.
4. Pada pengujian $PDIV$ digunakan barrier yaitu mika plastik yang berukuran 9 x 7 cm dengan tebal 0,1 mm. Namun tidak membahas lebih lanjut terkait mika yang digunakan.
5. Tegangan yang digunakan yaitu tegangan tinggi AC (50Hz)
6. Pengujian yang akan dilakukan yaitu pengujian $PDIV$, Viskositas dan kadar air.

7. Minyak kelapa murni di campur dengan TiO_2 dengan konsentrasi pencampuran 0,025 % dan 0,050 %.
8. Pemanasan minyak dilakukan pada suhu 60° dan 120° dengan lama pemanasan selama 4 jam.
9. Lama dari pemanasan ke pengujian yaitu 24 jam setelah pemanasan

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, perumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan dan manfaat penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan membahas tentang teori-teori yang mendukung dan menunjang tugas akhir ini.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan penjelasan mengenai prosedur, metode penelitian yang digunakan dan metode pengumpulan data.

BAB IV EVALUASI DATA DAN ANALISA

Bab ini berisikan menjelaskan tentang hasil penelitian serta pembahasan hasil penelitian berdasarkan sifat kelistrikan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan yang didapat dari pembahasan permasalahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N.F Anuar, N. A. M Jamail, R. Abid-Rahman, and M. S Kamarudin,"Breakdown karakteristik Analysis of Paper –Oil Insulation Under AC and DC Voltage." *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, Vol.226, no.1, 2017.
- [2] H. Sayogi, "Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Transformator Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum-Bidang" *Diponegoro Univ.*, 2011.
- [3] A. Rajab *et al.*, "Partial discharge phase distribution of palm oil as insulating liquid," *Telkomnika*, vol. 9, no. 1, pp. 151–160, 2011.
- [4] R. Kurnia, "Investigasi Karakter Partial Discharge Pada Material Isolasi Tegangan Tinggi Melalui Pengukuran Tegangan Awal Partial Discharge," *J. Mikrotiga*, vol. 2, no. 1, pp. 1–4, 2015.
- [5] E. Ordiansyah, Danial, and Y. M. Simanjuntak, "uji tegangan tembus pada minyak kelaStudi Komparatif Penentuan Karakteristik Peluahan Korona pada Dilektrik Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil)," *Univ. Tanjungpura Pontianak*, 2015.
- [6] I. E. Commision, " Specification for Unused Mineral insulation Oils for Transformator and Switchgear."
- [7] J. F. Pristanto, "Degredasi Fotokalitik Surfaktan, NaL.S (Natrium Lauril Sulfat) dengan kombinasi Reagen Fenton dan TiO₂," PP. 5-23, 2011.
- [8] R. Barlina, S. Karouw, B. Penelitian, T. Kelapa, and D. A. N. Palma, "Minyak kelapa murni (virgin," pp. 9–19, 2003.
- [9] R. B. Permana, T. Saragi, M. Saputri, L. Safriani, I. Rahayu, "Sintesis Nanopartikel ZnO dengan Metode Kopresipitasi," *J. Tek. POMITS*, vol. 07, no. 02, pp. 1–7, 2009.

- [10] IEC 60270. *High-Voltage-test-techniques-partial-discharge-measurmenst*,2001.
- [11] IEC 61294. *Insulating Liquids-determination of the partial discharge inception voltage (PDIV)- test procedure*. 1993.
- [12] M. Pompili, C. Mazzetti and R. Bartnikas, “Comparative PD pulse burst characteristics of transformer type natural and synthetic ester fluids and mineral oils”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.16, No. 6,December2009, pp.1511 -1518.
- [13] E. Budiyantoro, A. Syakur, and M. Facta, “Analisis Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil) Sebagai Isolasi Cair Dengan Variasi Elektroda Uji,” *Dipenogoro Univ.*, pp. 1–9, 2011.
- [14] N. Pattanadech, F. Pratomosiwi, B. Wieser, M. Baur, and M. Muhr, “Partial discharge characteristics of mineral oil using needle - Plane and needle - sphere electrode configuration base on pulse current measurement,” *Annu. Rep. - Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenomena, CEIDP*, pp. 64–67, 2012.
- [15] I. Garniwa and J. F. S, “Tembus Minyak Transformator,” *Anal. Pegaruh Kenaikan Temp. Dan Miny. Transpormasi Terhadap Degrad. Tegangan Tembus Miny. Transform.*
- [16] A. R. I. Muladi, F. Teknik, P. Magister, T. Elektro, K. Tenaga, and L. Dan, *Universitas indonesia analisis pola dan tingkat*. 2009.
- [17] I. 60812, “International Standard International Standard,” *61010-1 © Iec2001*, vol. 2006, p. 13, 2006.
- [18] A. I. Cair, “IEC 60296 (03) , Product Data Sheet Nytro Libra . <http://www.nynas.com> (10 Frebruari 2010),” vol. 60296, no. 03, 2010.
- [19] Y. A. O. Li, G. J. Chan, J. Chen, L. I. Min, dan H. U. Yi, “Study on Viscidity Behavior of Fe 3 O 4,” *Int. Conf on High Voltage Engineering and Application*hal. hal 2–5, 2012.

- [20] M. Bin Yahya dan R. M. K. R. Chik, "Study on breakdown voltage for vegetable oils with additive TiO₂," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 12, no. 1, hal. 175–181, 2018.
- [21] H. Jin, "Dielectric Strength and Thermal Conductivity of Mineral Oil based Nanofluids," *Disertasi, Master of Electrical Engineering, Delft University of Technology, the Netherlands* 2015.
- [22] A. Chumaidy, "Analisis kegagalan minyak isolasi pada transformator daya berbasis kandungan gas terlarut," *Bina_teknika.*, vol 8, no 1, hal. 41–54, 2012.
- [23] A. Fallah-Shojaie, A. Tavakoli, M. Ghomashpasand, dan S. Hoseinzadeh, "Experimental evaluation on the dielectric breakdown voltage of fresh and used transformer oil mixed with titanium dioxide nanoparticles in the Gilan electrical distribution company," *2013 21st Iran. Conf. Electr. Eng. ICEE 2013*, vol. c, hal. 13–16, 2013.
- [24] M. S. Sulemani, A. Majid, F. Khan, N. Ahmad, M. A. Abid, dan I. U. Khan, "Effect of nanoparticles on breakdown, aging and other properties of vegetable oil," *Proc. - 2018, IEEE 1st Int. Conf. Power, Energy Smart Grid, ICPESG 2018*, no. May, hal. 1–6, 2018.
- [25] S. Abduh, *Teori Kegagalan Isolasi*. Univesitas Trisakti, 2003.
- [26] Tadjuddin, "Mekanisme Kegagalan Isolasi Padat" Universitas Hasanuddin, 1998.