

**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL TiO₂ TERHADAP NILAI
TEGANGAN TEMBUS MINYAK RBDPO OLEIN MENGGUNAKAN ELEKTRODA
BOLA-BOLA**



SKRIPSI

**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh :

RIDWAN SANNY

03041181520015

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2019

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL TiO₂ TERHADAP NILAI
TEGANGAN TEMBUS MINYAK RBDPO OLEIN MENGGUNAKAN
ELEKTRODA BOLA-BOLA**



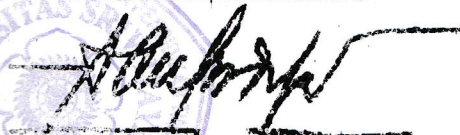
**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh :

RIDWAN SANNY

03041181520015

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**


Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP : 197108141999031005

**Indralaya, Juli 2019
Menyetujui,
Pembimbing Utama**



Ir. Ansyori, M.T.
NIP. 195708311987031001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ridwan Sanny
NIM : 03041181520015
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya

Menyatakan bahwa karya ilmiah dengan judul “PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL TiO_2 TERHADAP NILAI TEGANGAN TEMBUS MINYAK RBDPO OLEIN MENGGUNAKAN ELEKTRODA BOLA-BOLA” 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.

Indralaya , Juli 2019



Ridwan Sanny

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 : 30 / Juli / 2019

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah S atas rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL TiO₂ TERHADAP NILAI TEGANGAN TEMBUS MINYAK KELAPA SAWIT MINYAK KELAPA SAWIT RBDPO OLEIN MENGGUNAKAN ELKTRODA BOLA BOLA”. 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. Kedua Orang tua, Ayah Ahmad dan Ibu Rosida, saudari Hesti Agusdianti, beserta keluarga besar yang telah mendukung penulis pada proses perkuliahan dan penyelesaian tugas akhir.
2. Ketua Jurusan Teknik Elektro, Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D yang telah memberi banyak arahan kepada penulis selama proses perkuliahan.
3. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Bapak Ir. Ansyori, M.T. yang telah membimbing penulis dalam penyelesaian penulisan tugas akhir.
4. Dosen pembimbing akademik Bapak Ir. Antonius Hamdadi, M.S., yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan dan memberi saran serta masukan dalam pengambilan mata kuliah.
5. Tim penelitian Laboratorium Medan kampus Indralaya, kak Samuel, kak Odi, kak Jon, Rizki Aditama, Johan dan Ana yang telah membantu dalam proses pengambilan data.
6. Orang-orang terdekat penulis green saber kos M. Fajar Siddik S.I.Kom, Rizky Anugrah, Aldo Feriansyah S.E yang selalu mendukung penulis.

7. Rekan-rekan Teknik Elektro angkatan 2015.

Indralaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
ABSTRAK	xiv
BAB 1	
PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Lingkup Kerja	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB 2	
TINJAUAN PUSAKA	
2.1 <i>Discharge</i> (Perluahan)	6
2.2 Tembus Elektrik pada Cairan.....	7
2.2.1 Kegagalan Butiran Padat Dalam Zat Cair	7
2.2.2 Teori Kavitasi dan Gelembung Gas.....	9

2.2.3 Teori Kegagalan Elektronik pada Zat Cair	11
2.2.4 Teori Kegagalan Bola Cair dalam Zat Cair	12
2.3 Dielektrik Cair	13
2.4 Minyak Transformator	14
2.5 Ester Alami atau Minyak Nabati.....	16
2.6 RBDPO Olein	18
2.7 Titanium Dioxide	19
2.8 Riset-Riset Sebelumnya	20

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi penelitian	22
3.2 Waktu Penelitian	22
3.3 Metode Penelitian	22
3.4.1 Peralatan Pengujian Tegangan Tembus	23
3.4.1.1 Kotak Uji dan Elektroda	23
3.4.1.2 <i>Hot Plate</i>	24
3.4.1.3 <i>High Voltage Testing Unit</i>	24
3.4.1.4 Rangkaian Pembangkitan dan Pengukuran Tegangan Tinggi AC ..	25
3.4.1.5 Kabel Penghubung	25
3.4.2 Peralatan Pengujian <i>Water Content</i>	26
3.4.3 Peralatan Pengujian <i>Viscosity</i>	26
3.4.4 Peralatan Pengujian <i>Flash Point</i>	27
3.4.5 Sketchup	28
3.5 Bahan Pengujian	28
3.6 Prosedur Percobaan	29

3.6.1 Pembuatan <i>Sampling</i>	29
3.6.2 Prosedur Pengujian Tegangan Tembus	31
3.6.3 Prosedur Pengujian <i>Water Content</i>	32
3.6.4 Prosedur Pengujian <i>Viscosity</i>	32
3.6.5 Prosedur Pengujian <i>Flash Point</i>	33
3.7 Diagram Alir Penelitian	35

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan.....	36
4.2 Pengukuran Tegangan Tembus.....	36
4.4 Pengukuran <i>Viscosity</i>	58
4.5 Pengukuran <i>Water Content</i>	61

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN	64
5.2 Saran	65

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

2.1	Sifat-sifat beberapa dielektrik cair.....	14
2.2	Standar minyak transformator (IEC 156)	15
2.3	Electrical Properties dari Minyak RBDPO Olein.....	18
2.4	Sifat-sifat fisika titanium	19
2.5	Daftar artikel atau <i>paper</i> yang berkaitan dengan penelitian ini.....	20
3.1	Sampel uji yang digunakan pada penelitian	30
4.1	<i>Flash Point</i> RBDPO olein setelah ditambahkan TiO ₂	55
4.2	Viskositas RBDPO olein setelah ditambahkan TiO ₂	58
4.3	Kadar air minyak RBDPO olein dengan penambahan TiO ₂	61

DAFTAR GAMBAR

Kegagalan butiran padat.....	8
2.1 Pengaruh medan listrik terhadap gelembung udara.....	10
2.2 Karakteristik tegangan tembus – pd untuk air, CO ₂ dan hidrogen	11
2.3 Kegagalan elektrolit zat cair	12
2.4 Bola cair yang memicu terjadinya kegagalan total.....	13
2.5 Struktur kimia triester	17
3.1 Kotak Uji dan Elektroda	23
3.2 <i>Hot plate</i>	24
3.3 <i>High voltage testing unit</i>	24
3.4 Rangkaian pembangkit dan pengukuran tegangan tinggi AC	25
3.5 Kabel penghubung	25
3.6 Oven.....	26
3.7 KV-6 <i>Viscometer bath</i>	27
3.8 Pensky-Martens <i>flash point tester</i>	27
3.9 Perangkat lunak desain <i>sketchUp</i>	28
3.10 Minyak kelapa sawit RBDPO Olein.....	28
3.11 Titanium dioksida.....	29
3.12 Diagram alur proses persiapan sampel	29
4.1 Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 30°C – Konsentrasi 0,025% TiO ₂	37
4.2 Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 30°C – Konsentrasi 0,05% TiO ₂	37
4.3 Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 30°C – Konsentrasi 0,075% TiO ₂	38
4.4 Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 40°C – Konsentrasi 0,025% TiO ₂	38
4.5 Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 40°C – Konsentrasi 0,05% TiO ₂	39

4.6	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 40°C – Konsentrasi 0,075%	
	TiO ₂	39
4.7	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 50°C – Konsentrasi 0,025%	
	TiO ₂	40
4.8	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 50°C – Konsentrasi 0,05%	
	TiO ₂	40
4.9	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 50°C – Konsentrasi 0,075%	
	TiO ₂	41
4.10	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 60°C – Konsentrasi 0,025%	
	TiO ₂	41
4.11	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 60°C – Konsentrasi 0,05%	
	TiO ₂	42
4.12	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 60°C – Konsentrasi 0,075%	
	TiO ₂	42
4.13	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 70°C – Konsentrasi 0,025%	
	TiO ₂	43
4.14	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 70°C – Konsentrasi 0,05%	
4.15	TiO ₂	43
4.16	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 70°C – Konsentrasi 0,075%	
	TiO ₂	44
4.17	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 80°C – Konsentrasi 0,025%	
	TiO ₂	44
4.18	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 80°C – Konsentrasi 0,05%	
	TiO ₂	45
4.19	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 80°C – Konsentrasi 0,075%	
	TiO ₂	45
4.20	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 90°C – Konsentrasi 0,025%	
	TiO ₂	46
4.21	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 90°C – Konsentrasi 0,05%	
	TiO ₂	46

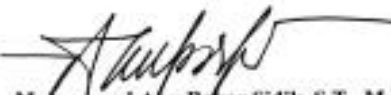
4.22	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 90°C – Konsentrasi 0,075% TiO ₂	47
4.23	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 100°C – Konsentrasi 0,025% TiO ₂	47
4.24	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 100°C – Konsentrasi 0,05% TiO ₂	48
4.25	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 100°C – Konsentrasi 0,075% TiO ₂	48
4.26	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 110°C – Konsentrasi 0,025% TiO ₂	49
4.27	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 110°C – Konsentrasi 0,05% TiO ₂	49
4.28	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 110°C – Konsentrasi 0,075% TiO ₂	50
4.29	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 120°C – Konsentrasi 0,025% TiO ₂	50
4.30	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 120°C – Konsentrasi 0,05% TiO ₂	51
4.31	Grafik Tegangan Tembus Pemanasan Suhu 120°C – Konsentrasi 0,075% TiO ₂	51
4.32	Tegangan Tembus AC RBDPO	53
4.33	Tegangan Tembus AC RBDPO dan CO	53
4.34	Grafik Tegangan Tembus Kenaikan RBDPO Olein dengan Penambahan TiO ₂	55
4.35	Grafik <i>Flash Point</i> RBDPO Olein dengan penambahan TiO ₂	58
4.36	Grafik Viskositas RBDPO Olein dengan penambahan TiO ₂	61
4.37	Grafik Kandungan Air RBDPO Olein dengan Penambahan TiO ₂	64

ABSTRACT

Electricity has become one of the basic needs that dominates all human activities today. We can easily find its use in everyday life from the household to the industrial world. To meet these energy needs high voltage plays a very important role. One component in high voltage is a transformer. There are many types of vegetable oils, one of which is Redefined, Bleached and Deodorized Palm Oil (RBDPO). The addition of nanoparticles into insulating oil has been identified to increase the performance of the insulating oil. Further research on mixing Titanium Dioxide (TiO₂) with RBDPO olein oil as research material has not been carried out intensively. Therefore, in this study we will discuss about the increase in the performance of RBDPO Olein oil with the addition of Titanium Dioxide (TiO₂) with 3 different concentrations of 0.025% wt, 0.05% wt and 0.075% wt. The parameters of the discussion include breakdown stress, viscosity, water content, and flash point. Based on the research carried out the addition of TiO₂ can increase the sample breakdown voltage. From the 3 variations of TiO₂ concentration, the addition of 0.075 wt% has the most optimal breakdown voltage with a total increase in breakdown voltage of 24,13793%. Viscosity shows an increase in the addition of the concentration of Titanium Dioxide (TiO₂). As well as the flash point and water content values decreased with the addition of the concentration of Titanium Dioxide (TiO₂).

Keywords: Palm Oil, Titanium Dioxide (TiO₂), Breakdown Voltage.

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**



Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP : 197108141999031005

**Indralaya, Juli 2019
Menyetujui,
Pembimbing Utama**



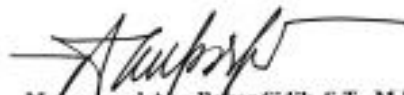
Ir. Ansyori, M.T.
NIP. 195708311987031001

ABSTRACT

Electricity has become one of the basic needs that dominates all human activities today. We can easily find its use in everyday life from the household to the industrial world. To meet these energy needs high voltage plays a very important role. One component in high voltage is a transformer. There are many types of vegetable oils, one of which is Refined, Bleached and Deodorized Palm Oil (RBDPO). The addition of nanoparticles into insulating oil has been identified to increase the performance of the insulating oil. Further research on mixing Titanium Dioxide (TiO₂) with RBDPO olein oil as research material has not been carried out intensively. Therefore, in this study we will discuss about the increase in the performance of RBDPO Olein oil with the addition of Titanium Dioxide (TiO₂) with 3 different concentrations of 0.025% wt, 0.05% wt and 0.075% wt. The parameters of the discussion include breakdown stress, viscosity, water content, and flash point. Based on the research carried out the addition of TiO₂ can increase the sample breakdown voltage. From the 3 variations of TiO₂ concentration, the addition of 0.075 wt% has the most optimal breakdown voltage with a total increase in breakdown voltage of 24,13793%. Viscosity shows an increase in the addition of the concentration of Titanium Dioxide (TiO₂). As well as the flash point and water content values decreased with the addition of the concentration of Titanium Dioxide (TiO₂).

Keywords: Palm Oil, Titanium Dioxide (TiO₂), Breakdown Voltage.

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**



Muhammad Abu Basar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP : 197108141999031005

**Indralaya, Juli 2019
Menyetujui,
Pembimbing Utama**



Ir. Ansyori, M.T.
NIP. 195708311987031001

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik telah menjelma menjadi salah satu kebutuhan pokok yang mendominasi seluruh kegiatan umat manusia saat ini. Dikarenakan sangat pentingnya energi listrik, penggunaannya dapat dengan mudah kita jumpai dikehidupan sehari-hari. Mulai dari rumah tangga dengan peralatan listrik yang sederhana sampai ke dunia industri [1]. Dalam memenuhi akan kebutuhan energi listrik tersebut, tegangan tinggi sangat diperlukan untuk mendistribusikan daya dari sumber pembangkitan hingga ke konsumen. Pada saat mendistribusikan daya listrik, transformator adalah bagian terpenting yang tidak dapat dipisahkan dari keseluruhan sistem [2].

Untuk peralatan yang membutuhkan tegangan tinggi seperti transformator daya, isolasi adalah hal yang sangat diperlukan karena fungsinya yang dapat menyekat dua atau bahkan lebih penghantar listrik yang memiliki tegangan agar antar penghantar-penghantar tersebut tidak timbul lompatan atau pecikan api yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan. [3]. Karena kebanyakan dari transformator yang ada pada jaringan sistem tenaga merupakan jenis transformator minyak terisi maka isolasi yang umum dipakai pada transformator adalah isolasi cair berbasis minyak [4]. Selain untuk mengisolasi antar komponen yang memiliki beda potensial, minyak isolasi juga memiliki fungsi untuk menghilangkan panas yang ditimbulkan oleh kumparan dan inti transformator [5].

Menurut Rajab [6] dalam pemilihan akan material yang hendak digunakan untuk minyak isolasi haruslah memenuhi beberapa syarat minimum yang berkenaan dengan kesehatan dan aspek lingkungan, diantaranya material tidak boleh membayakan tubuh dan lingkungan seperti mengandung racun, biodegradable, didapat dari sumber terbarukan, serta produk sampingnya memiliki resiko degradasi termal yang kecil.

Menurut Wang [7] secara khusus, minyak nabati telah menarik perhatian para ilmuwan untuk meneliti sifat dan kinerja dari minyak ini, dan tidak heran banyak penelitian telah dilakukan di beberapa laboratorium. Rajab [8] menyebutkan bahwa sejak awal tahun 1990-an penelitian mengenai minyak transformator berbasis minyak nabati kembali menjadi sorotan para ahli.

Meskipun penggunaan minyak lobak dan minyak jarak pada kapasitor di masa lampau menunjukkan potensi yang cukup menjanjikan, ester alami dari minyak nabati dulunya dianggap kurang cocok digunakan pada transformator. Dari masa kemasa tidak bisa dipungkiri bahwa transformator telah mengalami perubahan yang cukup signifikan. Dan dengan perlakuan yang tepat seperti penambahan sejumlah zat aditif, ester alami dari minyak nabati dapat menggantikan peran minyak bumi sebagai isolasi pada transformator [9].

Ester alami dari minyak kelapa sawit adalah salah satu jenis dari minyak nabati yang dapat digunakan sebagai cairan isolasi dielektrik dalam transformator. Karakteristik kimia yang menunjang hal tersebut diantaranya minyak kelapa sawit diketahui memiliki biodegradabilitas yang tinggi, titik nyala yang tinggi dan tidak beracun karena sebagian besar minyak sawit termasuk jenis tanaman yang dapat dikonsumsi [10].

Terdapat banyak jenis minyak kelapa sawit, salah satunya adalah *Redefined, Bleached and Deodorized Palm Oil* (RBDPO). RBDPO merupakan minyak kelapa sawit yang telah melalui proses pemurnian, pemutihan dan penghilangan bau. Banyak penelitian telah menemukan bahwa RBDPO Olein mempunyai potensi untuk menjadi alternatif bahan isolasi, hal ini dikarenakan minyak RBDPO Olein mempunyai kekuatan dielektrik yang cukup tinggi [11]–[13]. Walaupun minyak nabati memiliki asam lemak *monounsaturated* yang sangat banyak [11], kemampuan minyak RBDPO Olein masih dapat dikembangkan melalui penambahan nanopartikel ke dalam isolasi cair menjadi nanofluida.

Nanofluida merupakan padatan tersuspensi yang terdiri dari nanopartikel dan fluida dasar. Nanofluida juga dapat diartikan sebagai cairan pemindah panas dimana sejumlah kecil bahan nano (nanopartikel, kawat nano atau *nanosheet*) secara stabil tersuspensi dalam cairan pemindah panas bumi seperti air, minyak mineral atau minyak nabati. Nanofluida dapat diperoleh dengan mensintesis nanopartikel ke dalam fluida dasar [14].

Wang et al[15], pada penelitiannya terkait pengembangan nanofluida berbasis minyak transformator dengan cara mendispersikan nanopartikel ke dalam minyak, menunjukkan bahwa sebagian dari nanofluida ini memiliki kekuatan dielektrik yang jauh lebih besar daripada minyak transformator tanpa adanya campuran nanopartikel.

1.2 Perumusan Masalah

Banyak penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan performa dari minyak isolasi salah satunya dengan penambahan nanopartikel ke dalam minyak mineral [16]–[18]. Penambahan nanopartikel ke dalam minyak mineral terbukti dapat memperbaiki tegangan tembusnya. Beberapa contoh nanopartikel yang digunakan dalam penelitian yakni titanium dioxide, *silica* dan *zinc oxide* [19]–[21]. Penelitian sebelumnya [22] menggunakan *titanium dioxide* sebagai bahan nanopartikel yang dicampurkan ke dalam pembuatan nanofluida. Dampak penambahan titanium dioxide ke bahan isolasi menunjukkan peningkatan performa pada bahan isolasi tersebut.

Penelitian lebih lanjut tentang pencampuran *titanium dioxide* dengan minyak nabati sebagai bahan penelitian belum dilakukan secara intensif. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini akan dibahas mengenai besarnya tegangan tembus yang dihasilkan minyak kelapa sawit RBDPO yang sudah dicampurkan dengan *titanium dioxide* serta besarnya persentase optimal dari tegangan tembus yang dihasilkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Untuk mengamati pengaruh *titanium dioxide* (TiO_2) yang dicampur ke dalam minyak kelapa sawit RBDPO Olein terhadap besarnya tegangan tembus yang dihasilkan.
2. Untuk mendapatkan kadar konsentrasi (%wt) yang paling optimum untuk campuran minyak nabati dengan titanium dioxide.

1.4 Lingkup Kerja

Lingkup kerja pada penelitian ini adalah :

1. Mendesain 3D kotak uji dan elektroda.
2. Pembuatan sampel uji dengan mencampurkan minyak RBDPO Olein dan 0,025% wt, 0,05% wt, dan 0,075% wt *titanium dioxide*.
3. Suhu minyak akan ditingkatkan setiap selang 10°C, dimulai dari suhu 30°C-120°C.
4. Pengujian tegangan tembus dilakukan sampai 6x pengukuran, dengan menggunakan standar pengujian yang mendekati IEC 156.
5. Pengujian *viscosity* menggunakan standar ASTM D-445.
6. Pengujian *water content* menggunakan metode Gravimetri.
7. Pengujian *flash point* menggunakan standar ISO 2719.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun Sistematika Penulisan dalam proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, lingkup kerja, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang berkaitan dengan dielektik, minyak isolasi cair, minyak kelapa sawit, nanopartikel *titanium dioxide* dan mekanisme kegagalan isolasi zat cair.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang tempat, waktu, peralatan yang digunakan, rangkaian percobaan, prosedur pengujian, teknik pengambilan data dan pengolahan data yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir dan menjelaskan secara umum tentang proses penelitian yang akan dilakukan.

BAB IV HASIL

Bab ini menjelaskan hasil yang telah diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. A. K. Umiati, "Pengujian Kekuatan Dielektrik Minyak Sawit dan Minyak Castrol Menggunakan Elektrode Bola-Bola Dengan Variasi Jarak Antar Elektrode dan Temperatur," *Transmisi*, vol. II, no. 1, pp. 23–26, 2009.
- [2] M. George, "Dielectric Performance of Solid Dielectric Immersed in Vegetable Oil with Antioxidant," *Int. Conf. Circuit, Power Comput. Technol. [ICCPCT]*, 2016.
- [3] E. Budiyanoro, "Analisa Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil) Sebagai Isolasi Cair Dengan Variasi Elektroda Uji," 2011.
- [4] N. F. Anuar, N. A. M. Jamail, R. Abd-Rahman, and M. S. Kamarudin, "Breakdown Characteristic Analysis of Paper- Oil Insulation Under AC and DC Voltage," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 226, no. 1, 2017.
- [5] H. Sayogi, "Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum – Bidang," *Diponegoro Univ.*, 2011.
- [6] A. Rajab, "Evaluasi Sifat Listrik Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein Sebagai Kandidat Minyak Isolasi Transformator Ramah Lingkungan," vol. 1, no. 28, pp. 26–29, 2007.
- [7] Z. Wang, A. Darwin, and R. Martin, "New insulation fluids: Use of Environmentally Friendly Fluids in Power Transformers," *CIGRÉ Symp. 29, Brügge, Belgium*, 2007.
- [8] A. Rajab, "Prospek Minyak RBD Olein Kelapa Sawit Sebagai Minyak Isolasi Transformator Alternatif," vol. 1, no. 29, pp. 34–37, 2008.
- [9] T. V. Oommen, "Vegetable Oils for Liquid-Filled Transformers," *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 18, no. 1, pp. 6–11, 2002.
- [10] N. Azis, J. Jasni, M. Zainal, A. Ab, and M. N. Mohtar, "Suitability of Palm Based Oil as Dielectric Insulating Fluid in Transformers," vol. 8, no. 2, pp. 662–669, 2014.
- [11] A. Rajab, Suwarno, and S. A. Aminuddin, "Properties of RBDPO Oleum as a Candidate of Palm Based-Transformer Insulating Liquid," *Proc. 2009 Int. Conf.*

- Electr. Eng. Informatics, ICEEI 2009*, vol. 2, no. August, pp. 548–552, 2009.
- [12] S. Aditama, “Dielectric Properties of Palm Oils as Liquid Insulating Materials: Effects of Fat Content,” *Proc. 2005 Int. Symp. Electr. Insul. Mater. 2005. (ISEIM 2005)*., pp. 91-94 Vol. 1, 2005.
- [13] Suwarno, F. Sitinjak, I. Suhariadi, and L. Imsak, “Study on the Characteristics of Palm Oil and it’s Derivatives as Liquid Insulating Materials,” *Proc. 7th Int. Conf. Prop. Appl. Dielectr. Mater. (Cat. No.03CH37417)*, vol. 2, pp. 495–498, 2003.
- [14] S. Witharana, “Boiling of Refrigerated on Enhanced Surfaces Boiling of Nanofluids,” no. 03, 2003.
- [15] B. Wang, J. Li, B. Du, and Z. Zhang, “Study on the Stability and Viscosity of Fe₃O₄ Nano-Particles Vegetable Insulating Oils,” *Int. Conf. High Volt. Eng. Appl. Shanghai, China, Sept. 17-20, 2012*, pp. 2–5, 2012.
- [16] P. M. I and N. Pattanadech, “Dielectric Breakdown Strength of Mineral Oil Based Nanofluids,” *Int. Conf. Cond. Monit. Diagnosis - Xi'an - China*, pp. 266–269, 2016.
- [17] Y. Lv, L. Wang, X. Li, Y. Du, J. Zhou, and C. Li, “Experimental Investigation of Breakdown Strength of Mineral Oil-Based Nanofluids,” *IEEE Int. Conf. Dielectr. Liq.*, pp. 11–13, 2011.
- [18] H. Jin, P. Morshuis, A. R. Mor, J. J. Smit, and T. Andritsch, “Partial Discharge Behavior of Mineral Oil based Nanofluids,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 22, no. 5, pp. 2747–2753, 2015.
- [19] P. Muangpratoom and A. Kunakorn, “Dielectric Properties of Mineral Oil-based Nanofluids Using Zinc Oxide Nano-Composites for Power Transformer Application,” *2018 Cond. Monit. Diagnosis*, pp. 1–4, 2018.
- [20] M. Rafiq, C. Li, Y. Lv, K. Yi, and I. Arif, “Breakdown Characteristics of Transformer Oil Based Silica Nanofluids,” pp. 1–4, 2016.
- [21] M. Rafiq *et al.*, “Insulating and Aging Properties of Transformer Oil-Based TiO₂ Nanofluids,” *Annu. Rep. Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenom. Insul.*, vol. 2, pp. 457–461, 2014.

- [22] C. F. Diego, A. Santisteban, and F. O. Fernández, “Effect of TiO₂ Nanoparticles on the Performance of a Natural Ester Dielectric Fluid,” no. June, pp. 11–14, 2017.
- [23] S. T. Prihatnolo, A. Syakur, and M. Facta, “Pengukuran Tegangan Tembus Dielektrik Udara pada Berbagai Sela dan Bentuk Elektroda dengan Variasi Temperatur Sekitar,” *J. Tek. Elektro Undip*, pp. 1–8, 2011.
- [24] H. T. Kurrahman, S. Abduh, J. Teknik, E. Fakultas, T. Industri, and U. Trisakti, “Studi Tegangan Tembus Minyak Kemiri Sunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator Daya,” *JETri*, vol. 13, pp. 11–28, 2016.
- [25] A. Arismunandar, “Teknik Tegangan Tinggi,” Ghalia Indonesia, 1982, pp. 71–88.
- [26] M. Latif, “Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Dielektrik Minyak Nabati Sebagai Bahan Isolasi Transformator Daya,” *Teknika*, vol. 1, no. 30, pp. 48–51, 2008.
- [27] M. S. Naidu and V. Kamaraju, *High Volatage Engineering*. 1996.
- [28] Y. Kunto Wibowo, Wahyu, “Analisis Karakteristik Breakdown Voltage pada Dielektrik Minyak Shell Diala b pada Suhu 30 0 c-130 0 c,” *Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Diponegoro*, vol. 003, no. 1, pp. 1–11, 2011.
- [29] J. Martinez-Vega, *Dielectric Materials for Electrical Engineering*. WiLEY and liSTE, 2013.
- [30] I. E. Commision, “Specification for Unused Mineral Insulating Oils for Transformers and Switchgear.” .
- [31] A. Rajab, A. Pawawoi, A. Sulaeman, and D. Mujahidin, “Studi Penggunaan Metil Ester Minyak Sawit sebagai Minyak Isolasi Peralatan Listrik,” no. 1, pp. 1–7, 2014.
- [32] Y. Bertrand and L. Hoang, “Vegetable Oils as Substitute for Mineral Insulating Oils in Medium-Voltage Equipments,” *Cigre*, pp. 1–6, 2004.
- [33] G. M. Moraru, A. Niagu, G. Viziteu, P. Andrei, and B. Florean, “Studies About the Breakdown Voltage of Some Liquids Insulators,” *EPE 2012 - Proc. 2012 Int. Conf. Expo. Electr. Power Eng.*, no. Epe, pp. 120–124, 2012.
- [34] FAO (Food and Agriculture Organization) and OMS (Organización Mundial de la Salud), “Codex Standard for Named Vegetable Oils (CODEX-STAN 210 - 1999),”

- vol. 8, pp. 11–25, 1999.
- [35] F. Koushki, M.; Nahidi, M.; Cheraghali, “Physico-chemical properties, fatty acid profile and nutrition in palm oil,” *J. Paramed. Sci.*, vol. 6, no. 3, pp. 117–134, 2015.
- [36] J. F. Pristantho, “Degradasi Fotokatalitik Surfaktan NaLS (Natrium Lauril Sulfat) dengan Kombinasi Reagen Fenton dan TiO₂,” pp. 5–23, 2011.
- [37] S. Grzybowski and M. Zahn, “Preparation of a Vegetable Oil-Based Nanofluid and Investigation of Its,” vol. 28, no. 5, pp. 43–50, 2012.
- [38] D. A. Mansour, E. G. Atiya, R. M. Khattab, and A. M. Azmy, “Effect of Titania Nanoparticles on the Dielectric Properties of Transformer Oil-Based Nanofluids,” pp. 295–298, 2012.
- [39] M. Hanai, S. Hosomi, H. Kojima, N. Hayakawa, and H. Okubo, “Dependence of TiO₂ and ZnO Nanoparticle Concentration on Electrical Insulation Characteristics of Insulating Oil,” pp. 780–783, 2013.
- [40] E. G. Atiya, D. A. Mansour, and A. M. Azmy, “Dispersion Behavior and Breakdown Strength of Transformer Oil Filled with TiO₂ Nanoparticles,” vol. 22, no. 5, 2015.
- [41] M. M. Emara, “Dielectric Properties of Aged Mineral Oil Filled with TiO₂ Nanoparticles,” pp. 15–19, 2015.
- [42] S. F. M. Nor, N. Azis, J. Jasni, M. Z. A. A. Kadir, R. Yunus, and Z. Yaakub, “Investigation on the Electrical Properties of Palm Oil and Coconut Oil Based TiO₂ Nanofluids,” pp. 17–19, 2017.
- [43] Y. Lv *et al.*, “Effect of TiO₂ nanoparticles on the ion mobilities in transformer oil-based nanofluid Effect of TiO₂ nanoparticles on the ion mobilities in transformer oil-based nanofluid,” vol. 105022, 2017.
- [44] A. Mohamad, N. Azis, J. Jasni, and R. Yunus, “Effects of Different Types of Surfactants on AC Breakdown Voltage of Refined , Bleached and Deodorized Palm Oil Based CuO Nanofluids,” *2018 IEEE PES Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf.*, pp. 768–771, 2018.
- [45] Meliana and F. Murdiya, “Karakteristik Pengujian Tegangan Tembus Arus Bolak

- Balik (AC) pada Minyak RBDPO Olein sebagai Alternatif Isolasi Cair,” *Jom FTEKNIK*, vol. 5, pp. 1–12, 2018.
- [46] Ansyori and E. Rahman, “Analisis Karakteristik Tegangan Tembus Menggunakan Virgin Coconut Oil (VCO) Sebagai Isolasi Cair Dengan Pengkondisian Temperatur,” 2018.
- [47] M. Abu Bakar Sidik and Zubaida, “Efek Penambahan Nano-Filler Silica Treated by Silane pada Minyak RBDPO Olein dan Oleum Maydis,” *mikrotiga*, vol. 3, no. 1, 2018.
- [48] M. Dhofir, N. R. Dona, U. Wibawa, and N. Hasanah, “Minyak Kelapa Beraditif Minyak Zaitun sebagai Isolasi Peralatan Tegangan Tinggi,” vol. 11, no. 2, pp. 69–76, 2017.
- [49] P. O. Wijaya, “Penelitian Kekuatan Tegangan Tembus Minyak RBDPO Olein Murni,” Indralaya, 2019.
- [50] S. F. M. Nor, N. Azis, J. Jasni, M. Z. A. A. Kadir, R. Yunus, and Z. Yaakub, “A Study on the AC Breakdown Voltages of As- Received Palm Oil and Coconut Oil under Presence,” pp. 354–357, 2015.