

**KEKUATAN TEGANGAN *BREAKDOWN* MINYAK
KELAPA SAWIT(*Palm Oil*) DENGAN ISOLASI KERTAS
KRAFT (*Craft Paper*) SEBAGAI ISOLASI
PADA TRANSFORMATOR**

(Skripsi)

Oleh

**ASRI FAJAR SIDIQ
NPM 1715031030**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

**KEKUATAN TEGANGAN *BREAKDOWN* MINYAK
KELAPA SAWIT(*Palm Oil*) DENGAN ISOLASI KERTAS
KRAFT (*Craft Paper*) SEBAGAI ISOLASI
PADA TRANSFORMATOR**

Oleh

ASRI FAJAR SIDIQ

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

KEKUATAN TEGANGAN *BREAKDOWN* MINYAK KELAPA SAWIT (*Palm Oil*) DENGAN ISOLASI KERTAS KRAFT (Craft Paper) SEBAGAI ISOLASI PADA TRANSFORMATOR

Oleh :

ASRI FAJAR SIDIQ

Intisari - Bahan isolasi cair yang digunakan pada transformator umumnya berbahan minyak mineral yang memiliki beberapa kekurangan yaitu tidak ramah lingkungan, tidak dapat diperbarui, serta ketersediaan yang terbatas. Oleh karenanya, penggunaan minyak nabati dapat menjadi alternatif bahan isolasi cair pada transformator sebagai pengganti minyak mineral. Pada penelitian ini digunakan minyak nabati yang berasal dari buah kelapa sawit yang dilakukan beberapa perlakuan yaitu pengaruh pemanasan terhadap nilai tegangan breakdown serta pengaruh penambahan dan perendaman kertas kraft kedalam minyak kelapa sawit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses pemanasan terhadap minyak kelapa sawit serta penambahan kertas kraft dapat meningkatkan nilai tegangan tembus dari minyak kelapa sawit.

Kata Kunci: *transformator, minyak nabati, minyak kelapa sawit, pemanasan, tegangan breakdown.*

ABSTRACT

BREAKDOWN VOLTAGE STRENGTH OF PALM OIL WITH KRAFT PAPER INSULATION AS TRANSFORMER INSULATION

By :

ASRI FAJAR SIDIQ

Abstract - Liquid insulating materials used in transformers are generally made of mineral oil which has several disadvantages, namely not environmentally friendly, non-renewable, and limited availability. Therefore, the use of vegetable oil can be an alternative to liquid insulating materials in transformers as a substitute for mineral oil. In this study, vegetable oil derived from oil palm fruit was used which was carried out several treatments, namely the effect of heating on the breakdown voltage value and the effect of adding and soaking kraft paper into palm oil. The test results show that the heating process of palm oil and the addition of kraft paper can increase the value of the breakdown voltage of palm oil.

Index Terms: *transformer, vegetable oil, palm oil, heating process, breakdown voltage.*

Judul Skripsi : **KEKUATAN TEGANGAN BREAKDOWN
MINYAK KELAPA SAWIT (PALM OIL)
DENGAN ISOLASI KERTAS KRAFT (CRAFT
PAPER) SEBAGAI ISOLASI PADA
TRANSFORMATOR**

Nama Mahasiswa : **Asri Fajar Sidiq**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1715031030**

Program Studi : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



Dr. Herman H. Sinaga S.T., M.T.
NIP. 19711130 199903 1 003

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

2. Mengetahui

**Ketua Jurusan
Teknik Elektro**

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**

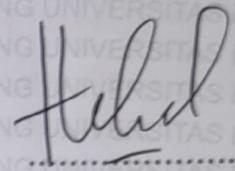
Herlinawati, S.T., MT.
NIP 19710314 199903 2 001

Dr. Eng. Nining Purwasih, ST., MT.
NIP 19740422 200012 2 001

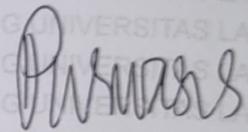
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

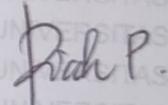
Ketua : Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T.



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



Penguji : Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.

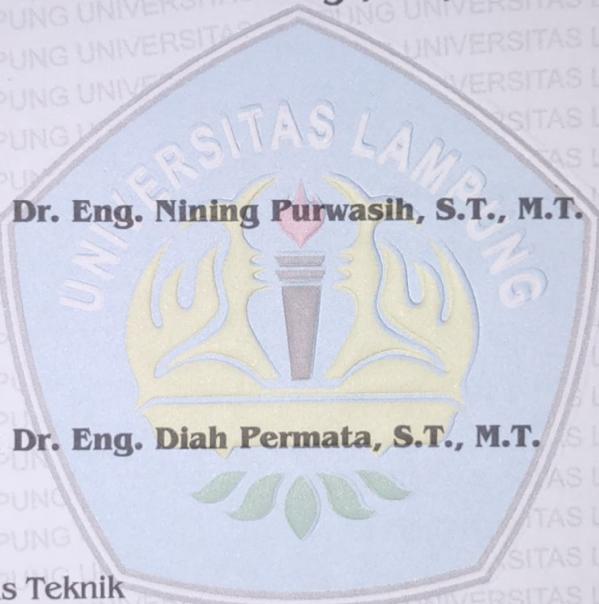


2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian : 24 Mei 2023



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“KEKUATAN TEGANGAN BREAKDOWN MINYAK KELAPA SAWIT (PALM OIL) DENGAN ISOLASI KERTAS KRAFT (CRAFT PAPER) SEBAGAI ISOLASI PADA TRANSFORMATOR”** merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 20 Desember 2023

Yang membuat pernyataan,



Asri Fajaf Sidiq

1715031030

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir pada tanggal 17 Juni 1999 sebagai anak ke empat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Bambang Biwantoro dan Ibu Umi Nurhasanah yang bertempat tinggal di Desa Taman Asri, Kecamatan Purbolinggo, Kabupaten Lampung Timur.

Penulis memiliki riwayat pendidikan yaitu SDN 1 Taman Cari pada tahun 2005 hingga tahun 2011, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Purbolinggo pada tahun 2011 hingga 2014, kemudian melanjutkan di SMAN 1 Purbolinggo pada tahun 2014 hingga tahun 2017. Pada tahun 2017, penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung dengan konsentrasi Teknik Tenaga Listrik.

Penulis memiliki pengalaman Kerja Praktik pada PT. PLN (Persero) Gardu Induk Natar sejak 7 Agustus hingga 10 September 2020 dengan membahas mengenai beberapa pengujian yang dilakukan terhadap PMT (Pemutus Tenaga) 150 kV kemudian mengambil judul “Pengujian Tahanan Isolasi pada Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV Jenis *Single Pole Auto Reclose* pada Gardu Induk Natar Bay Penghantar Tegineneng”.



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Karya ini dipersembahkan untuk

Ayah dan Ibu tercinta

Bambang Biwantoro dan Umi Nurhasanah

Saudara tercinta

Rahmat Ibnu Mas'ud

Ummu Nur Aisyah

Siti Fatimah

Keluarga besar, Bapak dan Ibu dosen, teman-

teman, dan almameter tercinta.





Motto

*“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”*

(QS. Al-Insyirah; 6-8)

*“Barangsiapa yang mengerjakan kebaikan sekecil apapun,
niscaya dia akan melihat balasannya.” (Q.S. Al-Zalzalah : 7)*

“Dan mintalah pertolongan dengan sabar dan sholat.”

(Q.S. AL-Baqarah : 45)

*“Dan kehidupan ini tidak lain hanyalah kesenangan yang menipu.” (Q.S. Al-
Hadid : 20)*

*“Sesungguhnya hanya orang-orang yang bersabarlah yang dicukupkan pahala
mereka tanpa batas.” (Q.S. Az-Zumar : 10)*

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamin, penulis memanjatkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang melimpahkan hidayah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Kekuatan Tegangan *Breakdown* Minyak Kelapa Sawit (*Palm Oil*) dengan Isolasi Kertas Kraft (*Kraft Paper*) sebagai Isolasi pada Transformator” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama masa perkuliahan dan pengerjaan penelitian, penulis mendapatkan banyak motivasi, dukungan, semangat serta banyak hal lainnya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani D.E.A. IPM selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.t., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T. selaku pembimbing utama skripsi yang telah dengan sabar membimbing, memberikan ilmunya, motivasi dalam hidup dan arahnya di sela-sela kesibukan beliau.
5. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping yang telah membimbing, memberi ilmunya, semangat serta pemahaman ketelitian dalam menyusun penelitian ini.

6. Ibu Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T. selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran serta kritikan yang sangat membangun dalam pengerjaan skripsi.
7. Bapak Osea Zebua, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan motivasi dan arahan agar menjadi mahasiswa yang lebih baik sejak dari awal semester sampai sekarang.
8. Segenap dosen dan pegawai di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberi ilmu dan wawasan yang selalu teringat oleh penulis.
9. Ayah dan ibu tercinta, Bambang Biwantoro dan Umi Nurhasanah yang tak terhingga jasa yang telah mereka diberikan. Hanya do'a dan sedikit usaha meraih prestasi sekarang dan kedepannya serta menyelesaikan kewajiban agar terpancar senyum bangga di wajah kalian yang sangat saya impikan.
10. Kakak-kakak tercinta, Rahmat Ibnu Mas'ud, Ummu Nur Aisyah dan Siti Fatimah yang selama ini telah memberikan kasih sayang, motivasi, semangat, dukungan, nasehat dan do'a dalam segala aspek agar istiqomah dalam menuntut ilmu.
11. Keluarga besar Jurusan Teknik Elektro Angkatan 2017, terimakasih atas segala yang telah diberikan.

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

Bandar Lampung, 20 Desember 2023

Penulis,

Asri Fajar Sidiq

NPM. 1715031030

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
MOTTO	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan.....	2
1.3 Perumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Hipotesis	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Isolasi Cair.....	4
2.2 Minyak Nabati Sebagai Bahan Isolasi Cair.....	5
2.3 Minyak Kelapa Sawit (<i>Palm Oil</i>).....	6
2.3.1 Proses Pembuatan Minyak Kelapa Sawit.....	7
2.3.2 Esterifikasi Minyak Sawit.....	8

2.4	Isolasi Kertas	9
2.4.1	Kertas Kraft (<i>Craft Paper</i>).....	10
2.4.2	Pencampuran Isolasi Kertas dengan Minyak Isolasi.....	11
2.5	<i>Pre-Breakdown</i> pada Isolasi Transformator.....	12
2.6	<i>Breakdown</i> pada Minyak Nabati	13

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	4
3.2	Alat dan Bahan	4
3.3	Tahapan Penelitian	16
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	20

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pemanasan Minyak Kelapa Sawit	16
4.2	Perendaman Isolasi Kertas Kraft	22
4.3	Pengujian Tegangan Breakdown.....	22

BAB 5. PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	22
5.2	Saran	22

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Minyak Isolasi pada Transformator[1]	5
Gambar 2. 2 Proses sederhana pengolahan minyak kelapa sawit[9].....	8
Gambar 2. 3 Isolasi kertas pada transformator[10]	9
Gambar 2. 4 Kertas Kraft (<i>craft paper</i>)[10]	10
Gambar 2. 5 Struktur kimia selulosa[1]	11
Gambar 3. 1 <i>Hotplate</i>	16
Gambar 3. 2 Wadah ukur.....	17
Gambar 3. 3 Panci pemanas	17
Gambar 3. 4 Minyak kelapa sawit setelah di panaskan.....	18
Gambar 3. 5 Kertas Kraft	18
Gambar 3. 6 Megger OTS80AF Oil Tester	19
Gambar 3. 7 Diagram alir penelitian	20
Gambar 4. 1 Lembar hasil pengujian dari alat Megger OTS80AF	23
Gambar 4. 2 Grafik rata-rata tegangan tembus minyak sampel A	24
Gambar 4. 3 Grafik rata-rata tegangan tembus minyak sampel B.....	25
Gambar 4. 4 Grafik rata-rata tegangan tembus minyak sampel C.....	26

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3. 1 Penjadwalan Aktivitas Penelitian.....	15

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bahan isolasi cair merupakan salah satu bahan yang berperan penting dalam sistem tenaga listrik. Salah satu peralatan listrik tegangan tinggi yang pengoperasiannya membutuhkan peran dari isolasi cair adalah transformator. Peran isolasi cair dalam transformator adalah menjaga agar tidak terjadi hubung singkat antara belitan dan besi pada transformator.

Isolasi cair yang banyak digunakan pada trafo adalah jenis minyak mineral yang tentunya memiliki beberapa kekurangan. Diantaranya yaitu kurang ramah terhadap lingkungan, ketersediaannya terbatas yang sewaktu-waktu dapat habis serta tidak dapat diperbarui. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi penggunaan minyak mineral dan mengurangi pencemaran lingkungan adalah mendapatkan alternatif lain yaitu menggunakan minyak nabati. Minyak nabati adalah jenis minyak yang berasal dari tumbuhan serta ramah terhadap lingkungan serta mudah terdegradasi secara biologis. Salah satu minyak nabati yang dapat menjadi alternatif adalah minyak yang berasal dari biji buah kelapa sawit.

Akan tetapi terdapat beberapa tantangan untuk menggunakan minyak kelapa sawit sebagai minyak isolasi, yaitu minyak kelapa sawit merupakan bahan baku utama berbagai macam makanan dan juga sebagai bahan kosmetik, yang berarti minyak kelapa sawit menjadi bahan pasokan yang berkelanjutan. Hal ini tentu membutuhkan banyak pertimbangan untuk menjadikan minyak kelapa sawit sebagai bahan dielektrik cair.

Dalam upaya mengurangi penggunaan minyak mineral serta mengurangi pencemaran lingkungan, maka dilakukan pengujian tegangan tembus terhadap minyak kelapa sawit. Pengujian ini juga dilakukan dengan perendaman kertas kraft

pada saat pemanasan minyak. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perendaman kertas kraft tersebut terhadap hasil *breakdown* minyak kelapa sawit jika dijadikan sebagai minyak isolasi trafo.

1.2. Tujuan

Tujuan dari pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menguji tegangan *breakdown* minyak kelapa sawit (palm oil).
2. Menganalisis efek pemanasan terhadap nilai tegangan *breakdown* minyak kelapa sawit (palm oil).
3. Menganalisis efek pemanasan terhadap kekuatan *breakdown* minyak sawit (palm oil) yang diuji bersama isolasi kertas.

1.3 Perumusan Masalah

Pemanasan sistem isolasi transformator (minyak isolasi - kertas isolasi) dapat mengakibatkan kertas isolasi tercampur dengan minyak isolasi. Hal ini akan mengakibatkan minyak isolasi mengalami kenaikan kekuatan *breakdown*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hanya uji tegangan tembus, tidak termasuk sifat kimia pada minyak kelapa sawit.
2. Hanya mengetahui efek pemanasan pada minyak kelapa sawit, tidak menguji kandungan kadar air maupun viskositas.
3. Tidak melakukan analisis kandungan senyawa yang terdapat pada kertas kraft.

1.5 Manfaat Penelitian

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan bahan isolasi sebagai bahan proteksi pada tegangan tinggi, maka penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi tentang kelayakan minyak kelapa sawit jika digunakan sebagai alternatif pengganti minyak mineral sebagai minyak isolasi transformator.

1.6 Hipotesis

Pengujian tegangan breakdown pada minyak kelapa sawit berdasarkan efek pemanasan dan penambahan isolasi kertas jenis kertas kraft diharapkan dapat menunjukkan minyak kelapa sawit layak untuk digunakan sebagai minyak isolasi pada transformator.

1.7 Sistematika Penulisan

1. BAB 1. PENDAHULUAN

Menjelaskan mengenai latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.

2. BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Memuat beberapa teori-teori pendukung mengenai bahan dielektrik khususnya dielektrik cair serta referensi materi yang diperoleh dari berbagai sumber buku, jurnal dan penelitian ilmiah.

3. BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Berisi waktu dan tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, metode penelitian serta diagram alir metode yang diusulka

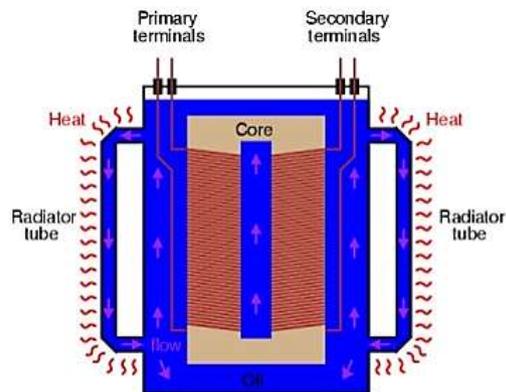
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada peralatan tegangan tinggi, isolasi merupakan salah satu bagian terpenting yang berfungsi untuk menahan medan listrik yang tinggi selama proses pengoperasian peralatan. Terdapat beberapa jenis bahan isolasi yang digunakan pada peralatan listrik, diantaranya adalah isolasi berbahan cair serta isolasi padat. Peralatan listrik yang membutuhkan isolasi cair dan isolasi padat yaitu transformator, yang menggunakan bahan isolasi cair jenis minyak mineral dan juga beberapa jenis kertas untuk isolasi padatnya.

2.1 Isolasi Cair

Minyak mineral berbasis minyak bumi telah sejak lama digunakan sebagai isolasi komposit dengan kertas kraft. Namun terdapat beberapa aspek lingkungan dan ketersediaan di masa yang akan datang, maka peneliti mencari alternatif isolasi minyak transformator yang lebih ramah lingkungan dan terbarukan untuk kebutuhan yang akan datang [1].

Sebagai alternatif minyak isolasi, minyak nabati relatif mudah terurai (*biodegradable*) sehingga lebih ramah terhadap lingkungan daripada minyak mineral. Minyak nabati juga memiliki permitivitas yang lebih tinggi dengan resistivitas yang hampir sama dengan minyak mineral. Sehingga minyak sawit sebagai salah satu minyak nabati yang berpotensi untuk dikembangkan menjadi minyak isolasi transformator pengganti minyak mineral [2].



Gambar 2. 1 Minyak Isolasi pada Transformator[1]

2.2 Minyak Nabati Sebagai Bahan Isolasi Cair

Penggunaan minyak sebagai bahan isolasi pada trafo adalah untuk meningkatkan kekuatan dielektrik isolasi padat (seperti kertas) antara dua penghantar yang berbeda tegangan. Minyak isolasi akan mengisi celah atau rongga yang ada diantara konduktor, serta pori-pori pada kertas isolasi untuk mengurangi kemungkinan *discharge*. Selain itu, minyak yang digunakan harus memiliki ketahanan panas dan viskositas yang baik agar dapat membuang panas yang dihasilkan oleh trafo. Oleh karena itu, selain sebagai bahan isolasi, minyak juga berperan sebagai pendingin trafo. Minyak isolasi trafo (umumnya dikenal sebagai "minyak mineral") adalah bahan isolasi yang umum digunakan pada transformator saat ini. Namun seiring dengan perkembangan zaman, tuntutan akan keamanan lingkungan membutuhkan bahan isolasi cair yang ramah lingkungan dan dapat terurai di alam (*biodegradable*). Kondisi ini memungkinkan penggunaan bahan isolasi yang berasal dari minyak nabati [2].

Turunan minyak nabati yaitu disebut metil ester merupakan bahan yang banyak diteliti sebagai pengganti minyak mineral. Ini karena ester memiliki sifat listrik, fisik dan kimia yang mirip dengan minyak mineral. Saat ini minyak nabati digunakan sebagai bahan isolasi dan telah digunakan sebagai bahan isolasi cair untuk trafo distribusi. Beberapa sumber minyak nabati yang telah digunakan

sebagai minyak isolasi untuk trafo distribusi antara lain bunga matahari, zaitun, jagung, dan kedelai. Penggunaan minyak nabati sebagai bahan isolasi dan pendingin pada trafo distribusi terbukti dapat mengurangi risiko kebakaran dan risiko kerusakan lingkungan[3].

Studi kemungkinan penggunaan minyak kelapa sawit telah dilakukan oleh (Thomas *et al*, 1995; Suwarno *et al*, 2003; Abdullah *et al*, 2004) dengan menguji kekuatan *breakdown* dielektrik dari minyak sawit yang mengalami proses *refined*, *bleached* dan *deodorized* atau dikenal dengan RBD. Pengujian sifat dielektrik turunan minyak sawit menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan minyak mineral. Junko Tokunaga *et.al* 2016 membandingkan minyak nabati komersial dengan minyak sawit dan minyak mineral. Hasil uji pemanasan minyak isolasi dan kertas yang diuji bersama-sama menunjukkan bahwa minyak nabati komersial memiliki keunggulan dibandingkan minyak sawit. Hal ini terjadi karena minyak sawit memiliki kadar air yang relatif lebih tinggi dibandingkan minyak nabati komersial.

2.3 Minyak Kelapa Sawit (*Palm Oil*)

Minyak kelapa sawit merupakan hasil olahan dari daging buah kelapa sawit melalui proses perebusan Tandan Buah Segar (TBS), perontokan, dan pengepresan sehingga menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO) atau minyak kelapa sawit mentah sebanyak 20 – 24%. CPO ini diperoleh dari bagian mesocarp atau daging buah kelapa sawit yang telah mengalami beberapa proses yaitu sterilisasi, pengepresan, dan klarifikasi. Sementara itu, bagian inti biji sawit dapat diekstraksi menjadi minyak inti sawit atau *Palm Kernel Oil* (PKO) sebanyak 3 – 4% [9]. Ester alami dari minyak kelapa sawit terdiri dari hidro karbon dari metil dan asam lemak dan CO (ikatan tunggal) dan C=O (ikatan rangkap) dari ester [1].

Minyak kelapa sawit memiliki kelebihan seperti ramah lingkungan karena mudah terurai dibandingkan dengan minyak mineral, tidak beracun, tidak bereaksi dengan belitan transformator daya karena minyak kelapa sawit tidak mengandung sulfur yang menyebabkan korosi yang disebut tembaga sulfida, ketahanan isolasi yang

cukup baik pada tingkat kandungan air yang rendah bila dibandingkan dengan minyak mineral dalam sistem isolasi padat dan isolasi cair. Namun minyak kelapa sawit memiliki kekurangan yaitu pada kandungan air jenuh pada suhu 20° C yang dapat mengakibatkan kenaikan rugi-rugi dielektrik serta dapat menurunkan tahanan volume minyak [2].

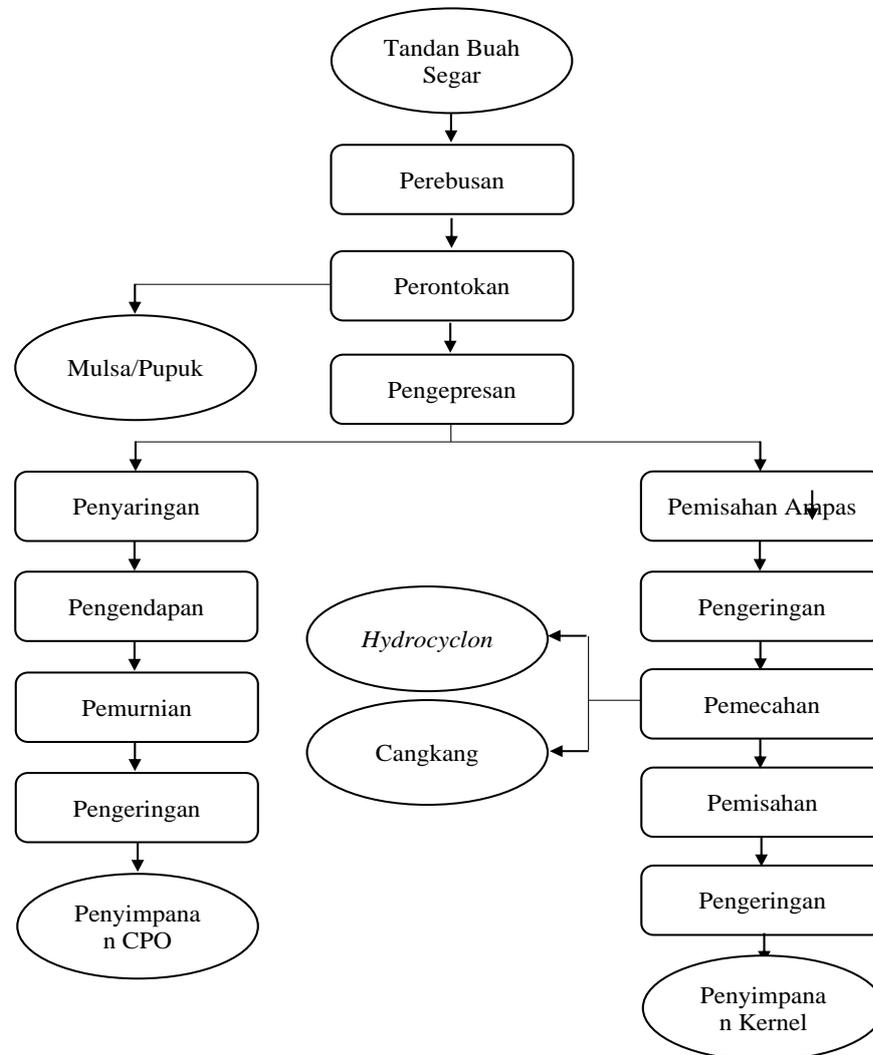
Dengan mempertimbangkan faktor ketersediaan, jenis minyak nabati patut untuk diteliti serta dikembangkan untuk menjadi pengganti isolasi cair hasil olahan minyak bumi. Pada tahun 2016 berdasarkan data GAPKI menunjukkan bahwa produksi minyak kelapa sawit mencapai 31,5 juta ton CPO (*Crude Palm Oil*) dan PKO (*Palm Kernel Oil*) sebanyak 3 juta ton. Sedangkan produksi minyak kelapa murni atau VCO untuk satu UMKM hanya menghasilkan 5 sampai 10 ton per bulan. Dibandingkan dengan minyak nabati jenis lainnya, minyak kelapa sawit memiliki kadar minyak yang paling tinggi [9]

2.3.1 Proses Pembuatan Minyak Kelapa Sawit

Langkah pertama adalah proses *pressing*, yaitu untuk memeras CPO dari mesocarp-nya. Minyak kemudian disaring dan dimurnikan untuk memastikan terhindar dari kontaminasi, selanjutnya dikeringkan untuk memenuhi spesifikasi standar CPO. Selanjutnya CPO ditransfer ke pabrik pengolahan untuk diproses menjadi minyak nabati (minyak goreng, krim dan margarin), bahan oleokimia (digunakan dalam deterjen dan pelumas), biodiesel (bahan bakar) dan asam laurat (digunakan dalam kosmetik dan sabun).

Serat mesocarp digunakan sebagai biofuel atau bahan bakar di boiler pabrik kelapa sawit, yang menghasilkan uap yang menggerakkan turbin untuk menggerakkan mesin di pabrik. Biji kelapa sawit yang tersisa, juga dikenal sebagai inti atau inti sawit, dihancurkan dan dikupas. Cangkangnya diekstraksi untuk dijual sebagai bahan bakar nabati, sedangkan bijinya menjalani peremukan lebih lanjut untuk menghasilkan minyak inti sawit (PKO) dan Palm Kernel Expeller (PKE). Minyak inti sawit mentah (CPKO) juga mengalami proses pemurnian sebelum digunakan dalam pembuatan produk makanan seperti krim non-susu dan es krim, sedangkan

produk sisa dari bungkil inti sawit (PKE) umumnya digunakan untuk membuat pakan ternak[9].



Gambar 2. 2 Proses sederhana pengolahan minyak kelapa sawit[9]

2.3.2 Esterifikasi Minyak Sawit

Pemanfaatan bahan isolasi minyak nabati sebagai bahan isolasi cair pada trafo sangat mungkin untuk di ciptakan. Salah satu masalah utama dengan minyak nabati adalah kekentalan yang tinggi dan tingkat oksidasi yang tidak dapat di hindari untuk waktu yang cukup lama[9]. Untuk mengurangi kekentalan dan mengurangi laju oksidasi, Junko Tokunaga *et.al*, 2016 menggunakan *palm unsaturated fat ester*

(PFAE) dan menunjukkan kapasitas pendinginan yang besar dan oksidasi yang stabil. Untuk membuat PFAE harus dimungkinkan dengan menangani minyak sawit dengan trans-esterifikasi yang mengubah minyak lemak menjadi metil ester lemak tak jenuh.

Proses esterifikasi yang dilakukan A.A.Abdelmalik *et.al* 2011 diharapkan dapat membuat tegangan *breakdown* metil ester yang dihasilkan lebih baik dari minyak mineral. Namun metil ester yang dihasilkan memiliki kemampuan mempertahankan mata rantai *epoxy* yang rendah. Sehingga metil ester gagal pada pengujian penuaan.

2.4 Isolasi Kertas

Transformator adalah salah satu peralatan listrik yang membutuhkan peran isolasi kertas yang terdapat pada lapisan belitan inti trafo. Selain tipis, isolator kertas juga dapat mengikuti bentuk fleksibilitas yang dibutuhkan oleh pabrikan transformator. Sebuah isolasi dapat dikatakan sebagai isolasi yang baik adalah pada waktu mampu menahan tekanan listrik pada permukaannya, salah satu cara yang membuat kekuatan dielektrik isolasi kertas semakin besar adalah dengan merendam di dalam minyak, dengan demikian akan terjadi proses adhesi yaitu tarik-menarik antarmolekul yang tidak sejenis yang terjadi pada rongga-rongga isolasi kertas[10]. Gambar insulasi kertas yang diletakkan pada transformator tersebut ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2. 3 Isolasi kertas pada transformator[10]

2.4.1 Kertas Kraft (*Craft Paper*)

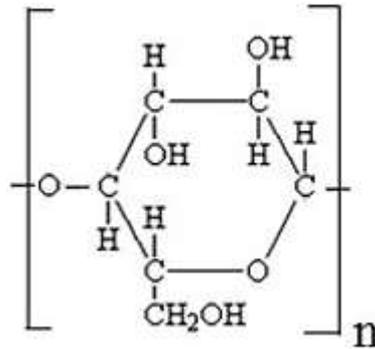
Kertas kraft merupakan kertas isolasi yang paling umum digunakan, kertas kraft merupakan kertas yang dihasilkan dari pulp kimia. Pengolahan tersebut dilakukan melalui proses kimiawi. Dari perlakuan ini akan membuat kertas kraft lebih kuat dibandingkan dengan pemesinan atau pengolahan lainnya. Kualitas dan keandalan kertas tergantung pada proses pembuatannya. Prosedur pembuatan yang umum dimulai dengan pembuatan bubur kayu dari serat kering. Selanjutnya, sejumlah besar air dicampur dengan bubur kayu pulp untuk menghilangkan residu kimia. Pemurnian dilakukan dengan menghancurkan serat dalam keadaan basah yang akan menghasilkan ikatan hydrogen diantara molekul selulosa. Kertas kraft ini banyak kegunaannya antara lain: sebagai pengemas (*packaging*), tas belanja, tas semen dan isolasi pada belitan trafo. Kertas kraft bekerja pada trafo yang biasa digunakan pada lapisan isolasi antara lapisan kumparan tegangan tinggi atau tegangan rendah[10].



Gambar 2. 4 Kertas Kraft (*craft paper*)[10]

Isolasi kertas kraft terdiri dari sekitar 90% selulosa, 6-7% hemi-selulosa dan 3-4% lignin. Kertas kayu kraft kering mengandung sekitar 40 hingga 50% selulosa, 10-30% hemi-selulosa dan sekitar 20-30% lignin. Rumus kimia selulosa yang Menyusun kertas adalah $(C_6H_{10}O_5)$ serta biasanya memiliki massa jenis sebesar $1,5 \text{ g/cm}^3$. Dielektrik pada kertas tergantung dari minyak yang direndamkan dan

selulosa bahan kertasnya. Perendaman kertas menggunakan minyak akan mengurangi kelembapan dan tertutupnya pori-pori pada kertas oleh minyak sehingga sifat dielektriknya semakin kuat dan lebih baik [8]. Struktur kimianya ditunjukkan pada **gambar 2.5** [1]



Gambar 2. 5 Struktur kimia selulosa[1]

2.4.2 Pencampuran Isolasi Kertas dengan Minyak Isolasi

Proses pencampuran isolasi cair (minyak) kedalam isolasi kertas disebut dengan proses impregnasi, proses ini bertujuan meningkatkan kekuatan dielektrik dari kedua bahan dielektrik tersebut. Proses yang terjadi pada perendaman ini adalah pori-pori pada lapisan isolasi kertas akan tertutup oleh minyak yang terserap didalamnya dan kertas isolasi akan membentuk struktur komposit yang lebih sempurna. Isolasi kertas sebagai salah satu isolasi utama pada transformator mempunyai keunggulan yaitu mampu menahan tekanan mekanis maupun elektrik. Tujuan dari pencampuran isolasi minyak adalah sebagai pengisi rongga-rongga pada permukaan isolasi kertas sehingga tertutup lebih kompleks.

Raka Anthony Elfreda melakukan perendaman beberapa jenis kertas isolasi kedalam minyak isolasi trafo jenis nynas nitro libra, perendaman dilakukan dengan rentang waktu 0 hingga 72 jam pada setiap jenis kertasnya tanpa dilakukan pemanasan minyak [10]. Perendaman isolasi kertas kraft dengan ketebalan 1 mm kedalam minyak trafo selama 3 jam mendapatkan nilai tegangan tembus sebesar 24,93 kV , dan pada ketebalan 2 mm dengan perendaman selama 3 jam mendapat nilai tegangan tembus sebesar 28,76 kV. Hal ini membuktikan proses

adhesi yang terjadi pada kertas kraft memiliki waktu yang lebih cepat dibanding dengan isolasi kertas jenis lainnya [10].

Faisal Alim Mas'ud melakukan dua pengujian yaitu pengujian isolasi kertas dengan pengaruh temperature dan ketebalan kertas yang di rendam dalam isolasi minyak mineral dengan merk *Nynas Nitro Libra*, dan pengujian isolasi kertas dengan variasi ketebalan yang berbeda namun tanpa perendaman minyak[8]. Untuk pengujian pengaruh temperature yaitu menggunakan suhu 30° - 135°C dengan penambahan 15°C pada tiap sampelnya. Kemudian ketebalan kertas yang digunakan adalah 0.05 mm, 0.25 mm, 0.5 mm, 0.75 mm dan 1 mm. Hasil tegangan *breakdown* untuk kertas tanpa dilakukan perendaman dengan kertas yang dipanaskan bersama dengan minyak mineral menunjukkan bahwa pada kondisi temperature lebih dari 105°C nilai *breakdown* mengalami penurunan karena terjadi proses degradasi pada isolasi kertas akibat panas yang tinggi[8].

2.5 Pre-Breakdown pada Isolasi Transformator

Penggunaan minyak nabati atau disebut juga metil ester sebagai bahan isolasi sudah cukup untuk penggunaan pada trafo distribusi. Namun jika minyak tersebut digunakan dalam jangka waktu yang lama, hal ini masih dibatasi oleh tegangan tembus yang rendah [2]. Untuk mengetahui masalah yang menyebabkan tegangan tembus rendah, diperlukan uji pra-breakdown. Uji pra-breakdown akan menguraikan fenomena fisik bahan isolasi cair sebelum terjadi gangguan listrik [3].

Dalam upaya pengembangan bahan isolasi cair, Sitorus et.al, 2015 mempelajari fenomena pra-dekomposisi minyak nabati yaitu minyak jarak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa streamer atau pita yang dihasilkan oleh minyak jarak hampir sama dengan streamer yang dihasilkan oleh minyak mineral. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa minyak jarak dapat menjadi salah satu alternatif bahan isolasi cair. Georgios D. Peppas et.al, 2016 menguji pre-breakdown ester minyak nabati dan membandingkannya dengan minyak mineral. Di bawah tingkat tegangan tembus yang sama, arus streamer dalam minyak ester nabati menunjukkan amplitudo yang lebih tinggi daripada minyak mineral. Selain itu, karena kandungan

air yang tinggi, minyak nabati akan menghasilkan gelembung, sehingga mengurangi kekuatan kerusakan bahan isolasi tersebut.

2.6 *Breakdown* pada Minyak Nabati

Pengujian tegangan tembus atau *breakdown* adalah pengujian yang bertujuan untuk mengukur seberapa besar kekuatan bahan isolasi dalam menahan tegangan operasi yang diberikan. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan tegangan secara bertahap hingga terjadi tembus listrik pada sistem isolasi. Sistem isolasi dinyatakan baik apabila tegangan hasil pengukuran lebih tinggi dari spesifikasi yang telah ditentukan. Namun apabila sebaliknya, maka sistem isolasi dinyatakan gagal uji[5].

Nur Rahma Dona melakukan pengujian *breakdown* pada minyak kelapa murni (*virgin coconut oil*) dengan pemanasan dan penambahan minyak zaitun[6]. Pemanasan dilakukan menggunakan oven listrik dengan rentang suhu 50° - 90°C dan waktu pemanasan 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Hasil pengujian minyak kelapa murni (*virgin coconut oil*) menunjukkan nilai tegangan tembus sebesar 23,47 kV/2,5 mm yang tentunya nilai ini belum memenuhi standar IEC. Penambahan minyak zaitun pada minyak kelapa murni berhasil meningkatkan tegangan tembus hingga mencapai 38,73 kV/2,5 mm dan jika dilakukan pemanasan dapat mencapai 51,15 kV/2,5 mm[6].

Rudi Setiawan juga melakukan pengujian *breakdown* pada minyak nabati, yaitu minyak kelapa sawit mmerk Sunco dengan pemanasan suhu mencapai 105°C menggunakan oven yang bertujuan untuk mengurangi kadar air pada minyak[11]. Penelitian yang ia lakukan memiliki beberapa tahap, yaitu pengurangan kadar air, pembuatan metil ester, pengujian tegangan tembus dengan pengaruh jarak sela, pengujian densitas, pengujian viskositas dan pengujian $\tan \delta$. Hasil tegangan tembus sebelum dan sesudah pengurangan kadar air menunjukkan hasil yang sangat baik, RBDPO Olein sebelum pengurangan kadar air yaitu mencapai 40,40 kV dan RBDPO Olein setelah pengurangan kadar air yaitu mencapai 65,44 kV yang berarti nilai tersebut melebihi standar IEC 156 yaitu 30kV/2,5 mm[11].

Eko Budiyanoro melakukan analisis tegangan tembus minyak kelapa murni (*virgin coconut oil*) dengan variasi elektroda uji[7]. Variasi pengujian yang dilakukan meliputi diameter elektroda, jarak sela serta posisi elektroda. Elektroda setengah bola yang digunakan mempunyai diameter 40 mm, 50 mm dan 60 mm serta menggunakan elektroda bidang dengan diameter 45 mm. Elektroda bidang digunakan sebagai contoh penggunaan medan seragam dan juga untuk menganalisis pengaruh jarak sela dan posisi elektroda terhadap tegangan tembus dengan jarak sela 1,5 mm, 2 mm dan 2,5 mm. Selanjutnya dilakukan pemanasan terhadap minyak kelapa murni pada suhu 50° C untuk menghilangkan uap air yang terkandung dalam minyak kelapa murni. Hasil nilai tegangan *breakdown* pada jarak sela 2,5 mm yaitu sebesar 29,17 kV. Nilai tegangan tembus cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya jarak sela dan ukuran diameter antar elektroda[7].

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai langkah-langkah pengujian yang dilakukan, meliputi waktu dan tempat penelitian, kemudian alat dan bahan yang dibutuhkan, serta tahapan penelitian yaitu pemanasan minyak kelapa sawit dengan dan tanpa perendaman kertas kraft, hingga dilakukannya pengujian *breakdown* pada setiap sampelnya.

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung dan PT. PLN Persero Gardu Induk Natar pada bulan April 2021 – Januari 2022 seperti ditunjukkan pada **tabel 3.1**

Tabel 3. 1 Penjadwalan Aktivitas Penelitian

No	Kegiatan	Waktu/Bulan							
		Apr	Mei	Jun	Jul	Okt	Nov	Des	Feb
1.	Studi Literatur	■	■	■					
2.	Perancangan pengujian			■					
3.	Percobaan				■				
4.	Seminar Proposal				■				
5.	Pengujian					■	■		
6.	Penulisan Laporan						■	■	
7.	Seminar Hasil								■
8.	Perbaikan Laporan								■
9.	Komprehensif								■

3.2 Alat dan Bahan

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

1. *Megger OTS80AF Oil Tester*

2. Pemanas atau *Hotplate*
3. Panci Pemanas
4. Gelas Ukur
5. Thermometer
6. Botol dan corong
7. Minyak Kelapa Sawit (Palm Oil)
8. Kertas Kraft (Craft Paper)

3.3 Tahapan Penelitian

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

1. Studi literatur

Pada tahap ini, penulis mempelajari dan mengumpulkan literatur yaitu buku dan jurnal mengenai tembus tegangan bahan isolasi cair dan karakteristik dari minyak kelapa sawit sebagai alternatif pengganti isolasi cair.

2. Studi bimbingan

Pada tahap ini, penulis melakukan diskusi secara berkala terutama dengan dosen pembimbing dalam menyelesaikan kendala dan permasalahan yang didapat dalam pelaksanaan penelitian.

3. Pemanasan Minyak Kelapa Sawit



Gambar 3.1 *Hotplate*

Proses pemanasan minyak kelapa sawit dilakukan dengan menggunakan *hotplate* yang telah di lengkapi dengan pengatur suhu seperti pada **Gambar 3.1**. Kemudian menuangkan minyak kelapa sawit dengan volume 1400 mL ke dalam gelas ukur

untuk selanjutnya dituangkan ke dalam panci pemanas seperti terlihat pada **Gambar 3.3.**

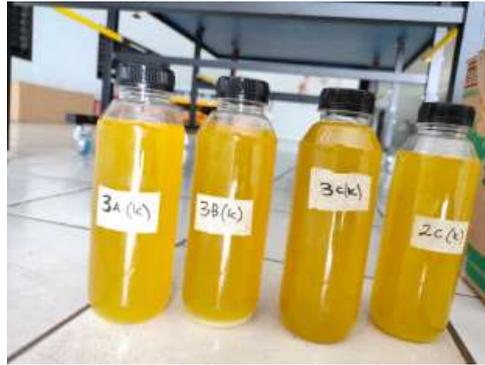


Gambar 3. 2 Wadah ukur



Gambar 3. 3 Panci pemanas

Proses pemanasan ini dilanjutkan dengan mengatur suhu pada *Hotplate* secara perlahan dan bertahap hingga mencapai suhu 120°C . Pemanasan yang dilakukan pada masing-masing sampel yaitu dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Setelah pemanasan minyak selesai, dilanjutkan dengan membagi minyak yang telah dipanaskan sebanyak tiga bagian ke dalam botol dengan masing-masing botol berisi 450 mL minyak seperti pada Gambar 3.4 untuk selanjutnya dilakukan pengujian tegangan *breakdown*.



Gambar 3. 4 Minyak kelapa sawit setelah di panaskan

4. Pemanasan Minyak dengan Perendaman Kertas Kraft



Gambar 3. 5 Kertas Kraft

Pemanasan minyak kelapa sawit dengan pencampuran kertas kraft dilakukan dengan variasi waktu yang sama, yaitu selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam dengan suhu *hotplate* mencapai 120° C. Kertas kraft yang digunakan berukuran 8 x 10 cm seperti pada Gambar 3.5, ukuran tersebut menyesuaikan seberapa besar panci pemanas yang digunakan.

5. Pengujian tegangan *breakdown*

Pengujian tegangan tembus minyak/*breakdown* dilakukan menggunakan alat Megger OTS80AF Oil Tester yang dilakukan di PT. PLN Persero Gardu Induk Natar. Alat tersebut memiliki kapasitas wadah uji minyak sebesar 400 mL serta menggunakan elektroda *mushroom* (jamur) dengan jarak elektroda 2,5 mm dan

dengan acuan syarat nilai tegangan tembus standar minyak isolasi trafo yaitu $>30\text{kV}/2,5\text{ mm}$ berdasarkan SPLN 49-91 : 1982 dan IEC 60156-95.



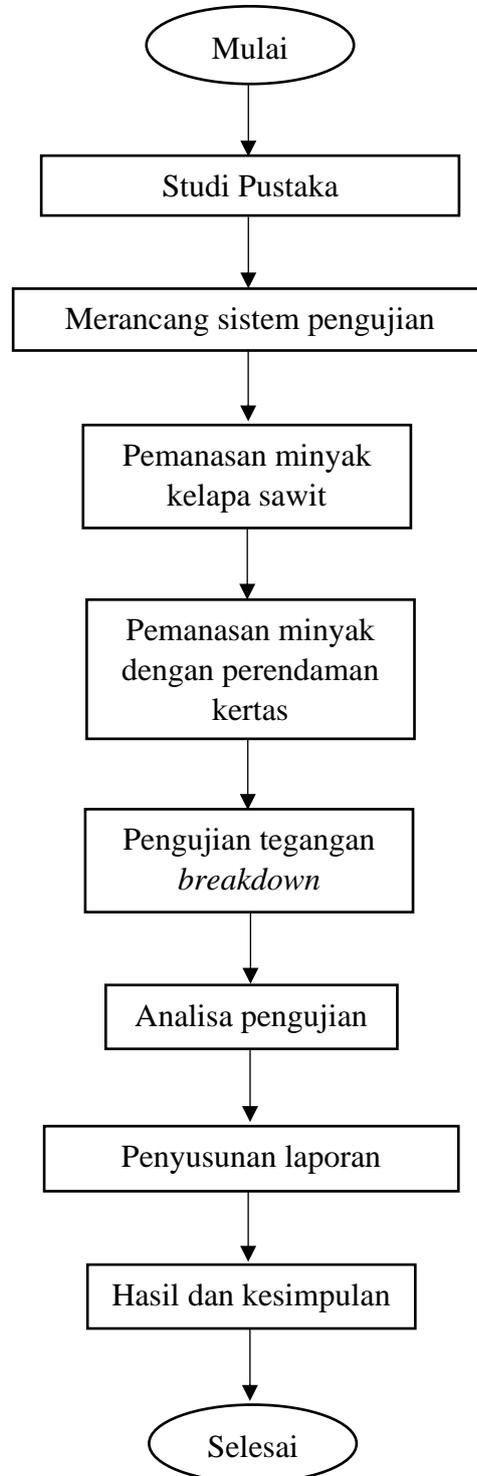
Gambar 3. 6 Megger OTS80AF Oil Tester

Sebelum melakukan pengujian, wadah uji terlebih dahulu dimasukkan larutan *N-Heksana* yang bertujuan untuk melarutkan serta mengangkat sisa-sisa minyak yang menempel di permukaan elektroda serta dinding wadah uji, hal ini dilakukan untuk mencegah adanya kontaminan yang dapat mempengaruhi hasil dari pengujian.

Selanjutnya yaitu menuangkan minyak ke dalam wadah uji yang telah di bersihkan. Proses pengujian tegangan tembus setelah menghidupkan alat uji maka akan terlihat pada layar yaitu proses penyesuaian minyak pada wadah ujia selama 5 menit, kemudian tegangan di naikkan/*step-up* hingga terjadi *breakdown*. Sesaat setelah terjadi *breakdown*, maka *stirrer* akan berputar selama 2 menit yang berfungsi untuk menyirkulasi minyak. Dari total 18 sampel yang tersedia, masing-masing sampel minyak diuji tegangan *breakdown* sebanyak 6 kali yang kemudian dihitung nilai rata-rata tegangan tembusnya. Untuk sekali pengujian sampel dibutuhkan waktu 20 menit hingga mendapatkan nilai rata-rata tegangan tembus minyak.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Urutan diagram alir proses penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 7 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pemanasan yang dilakukan terhadap minyak kelapa sawit terbukti berpengaruh terhadap hasil tegangan *breakdown* minyak kelapa sawit, dimana semakin lama waktu pemanasan maka semakin besar pula nilai tagengan tembus yang dihasilkan.
2. Pemanasan minyak kelapa sawit yang dilakukan bersamaan dengan perendaman kertas kraft juga terbukti berpengaruh terhadap hasil tegangan *breakdown*. Dikarenakan perendaman isolasi kertas ke dalam isolasi minyak dapat menambah kemampuan isolasi untuk menahan tegangan *breakdown*, karena karakteristik minyak yang dapat mengisi suatu ruang pada pori-pori isolasi kertas. Sehingga semakin lama waktu pemanasan maka semakin besar pula tegangan tembus yang dihasilkan.
3. Berdasarkan SPLN 49-91-1982 dan IEC 60156-95 menyebutkan bahwa syarat minyak isolasi pada transformator adalah $\geq 30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$. Sehingga pada penelitian ini menunjukkan hasil bahwa minyak kelapa sawit belum layak digunakan sebagai minyak isolasi pada transformator dikarenakan nilai tegangan tembus tertinggi dari semua sampel yaitu 22,9 kV, 22,5 kV dan 24,2 kV. Begitu pula pada sampel minyak yang dipanaskan dengan perendaman kertas kraft yang mendapatkan nilai sebesar 23,7 kV, 24,9 kV dan 25,9 kV.

5.2 Saran

1. Untuk pengujian lebih lanjut pada isolasi minyak transformator, perlu dilakukan pemanasan minyak dengan waktu lebih dari 3 jam. Hal ini bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu pemanasan yang dibutuhkan hingga

minyak kelapa sawit mencapai nilai standar tegangan tembus yang telah ditetapkan serta untuk mengetahui apakah justru minyak kelapa sawit akan mengalami penurunan kekuatan dielektriknya untuk menahan tegangan *breakdown*.

2. Diperlukan pengujian parameter lainnya seperti sifat fisik, kimia dan listrik untuk melengkapi parameter kelayakan minyak kelapa sawit apabila digunakan sebagai alternatif isolasi minyak transformator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suwarno, S. Amarudin. (2017). *“Investigation on Thermal Aging of Ester from Palm Oil and Kraft Paper Composite Insulation System for High Voltage Transformer”*. Sekolah Teknik Elektro dan Informatika. Institut Teknologi Bandung, vol 13.
- [2] Jian Li, Zhaotao Zhang, and Ping Zou, Stanislaw Grzybowski, Markus Zahn, 2012, *“Preparation of a Vegetable Oil-Based Nanofluid and Investigation of Its Breakdown and Dielectric Properties”*, IEEE Electr. Insulation Mag., Vol. 28, No. 5, pp. 43-50.
- [3] McShane C. P., 2001; *“Relative Properties of the New Combustion-Resistant Vegetable-Oil-Based Dielectric Coolants for Distribution and Power Transformers”*; IEEE Transaction on Industry Applications, 37, pp.1132-1139
- [4] Sayogi H. (2011). *Analisa Mekanisme Kegagalan isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Pada Jarum – Bidang. Teknik Elektro Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.*
- [5] Dona Roza. (2018). *Analisis Sifat Kimia-Fisik dan Tegangan Breakdown Minyak Biji Karet Mentah*. Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
- [6] Dhofir, M., Dona, N. R., Wibawa, U., & Hasanah, R. N. (2018). *Minyak Kelapa Beraditif Minyak Zaitun sebagai Isolasi Peralatan Tegangan Tinggi*. Jurnal EECCIS, 11(2), 69-76.
- [7] Eko Budiyanoro. *“Analisis Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil) sebagai Isolasi Cair dengan Variasi Elektroda Uji”*. Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. Semarang.
- [8] Faisal Alim Mas’ud. (2018). *“Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur dan Variasi Ketebalan Isolasi Kertas yang direndam pada Isolasi Minyak*

Terhadap Breakdown Voltage". Departemen Teknik Elektro. Fakultas Teknologi Elektro. ITS Surabaya.

- [9] M. Renaldy Arief. (2018). "*Analisa Tegangan Tembus Minyak Kelapa Sawit (Crude Palm Oil) dengan Variasi Suhu Menggunakan Elektroda Bola-Bola Standar IEC 156*". Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Sriwijaya.
- [10] Anthony Elfreda A. (2018). "*Analisis Tegangan Tembus Kertas Isolasi Transformator Akibat Lama Perendaman Pada Isolasi Minyak Transformator*". Departemen Teknik Elektro. Fakultas Teknologi Elektro. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Setiawan Rudi, Murdiya F. (2017). "*Perancangan Alat dan Pengujian Tegangan Tembus dengan Minyak Isolasi RBDPO Olein Menggunakan Elektroda Bola-Bola*". PSTE. Fakultas Teknik. Universitas Riau.
- [12] R. Radhitya, "*Pengaruh Rendaman Minyak Transformator Terhadap Kekuatan Dielektrik Isolasi Kertas*" Tek. Elektro Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014.
- [13] D. K. Cahyaningrum, "*Analisis Fenomena Pre-Breakdown Voltage Berbasis Pengujian Pada Media Isolasi Minyak*" vol. 16, no. 03, p. 51, 2017.