

ANALISIS TEGANGAN TEMBUS PADA MINYAK JARAK (Castor Oil) SEBAGAI ALTERNATIF ISOLATOR MINYAK TRANSFORMATOR

Agung Ansori¹, Nining Purwasih², Herman H Sinaga³, Diah Permata⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung; Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1, Bandar Lampung

Riwayat artikel:

Received: 25 Februari 2022

Accepted: 18 Maret 2022

Published: 10 April 2022

Keywords:

transformator, minyak nabati, minyak jarak, kadar air, tegangan tembus, pemanasan

Correspondent Email:

mr.agungansori@gmail.com

How to cite this article:

Agung (2022). Analisis Tegangan Tembus Pada Minyak Jarak (Castor Oil) Sebagai Alternatif Isolator Minyak Transformator. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 10(2)

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstrak. Isolasi transformator berbasis minyak mineral memiliki beberapa masalah yaitu tidak ramah lingkungan, tidak dapat terurai, tidak dapat diperbarui, dan jarang. Minyak nabati adalah alternatif isolasi transformator yang salah satunya adalah minyak jarak. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan minyak nabati yaitu minyak jarak sebagai alternatif minyak mineral untuk bahan isolasi pada transformator. Minyak jarak didapatkan dari proses pengepresan biji jarak dan penyaringan minyak jarak. Hasil pengukuran kadar air dan tegangan tembus serta pengaruh proses pemanasan terhadap kadar air dan tegangan tembus dari minyak jarak dianalisis dalam penelitian ini. Penelitian ini menemukan bahwa kadar air dalam minyak jarak murni adalah sebesar 0,33 % dan tegangan tembus dalam minyak jarak murni adalah 13,9 kV, proses pemanasan yang dilakukan terhadap minyak jarak mempengaruhi kadar air di dalam minyak dan meningkatkan nilai tegangan tembus dari minyak jarak.

Abstract. *The mineral oil based transformer insulation has several issues i.e. non-environment friendly, non-biodegradable, non-renewable, and rarely. Vegetable oil is an alternative transformer insulation which is castor oil. This research is aimed to describe a vegetable oil namely castor oil as a substitute for mineral oil in oil transformer insulation. Castor oil is obtained from the castor seed pressing process and filtration process. The results of measurement of water content, breakdown voltage, and the effect of the heating process on the water content and breakdown voltage will be analysed in this research. This study has found that the water content of castor oil is 0,33 %, and breakdown voltage of castor oil is 13,9 kV, the heating process on castor oil affects the water content in the oil and increases the breakdown voltage of castor oil.*

1. PENDAHULUAN

Minyak isolator memiliki peranan penting bagi kinerja transformator. Kegunaan minyak isolator adalah untuk memisahkan terjadinya hubung singkat yang dapat menyebabkan lompatan api (*flashover*) atau percikan (*sparkover*). Umumnya minyak isolasi pada transformator berbahan dasar minyak mineral.

Kelebihan minyak mineral sebagai minyak isolasi adalah memiliki nilai tembus tegangan yang tinggi. Akan tetapi kekurangannya adalah ketersediaannya terbatas, tidak dapat diperbarui dan juga menimbulkan pencemaran lingkungan karena tidak dapat terdegradasi. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi penggunaan minyak mineral sebagai isolasi dan

mengurangi pencemaran lingkungan adalah mencari alternatif lain yaitu menggunakan minyak nabati sebagai isolasi.

Minyak jarak (*castor oil*) termasuk jenis minyak nabati yang diperoleh dari tanaman jarak yang biasa tumbuh secara liar di Indonesia. Kelebihan dari minyak jarak adalah dapat diperbaharui sehingga potensi ketersediaannya dapat terjaga, dapat terdegradasi sehingga tidak mencemari lingkungan. Dalam upaya untuk mengurangi penggunaan minyak mineral dan mengurangi pencemaran lingkungan maka perlu dilakukan penelitian terhadap peran minyak jarak sebagai minyak isolator.

Metode yang digunakan adalah pemanasan. Parameter yang dianalisis dari minyak jarak adalah kadar air dan nilai tegangan tembus. Acuan analisis kadar air menggunakan SNI 8904-2020 dan IEC 60296-2003 sedangkan acuan analisis tegangan tembus minyak jarak adalah SPLN 49-91 : 1982 dan IEC 60156-95.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Minyak Nabati Sebagai Isolasi

Minyak isolasi transformator umumnya berbahan dasar minyak mineral dan tidak dapat terdegradasi sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan. Seiring dengan perkembangan zaman, tuntutan terhadap keamanan lingkungan membuat penggunaan bahan dari minyak mineral dikurangi sehingga bahan isolasi cair yang ramah lingkungan dan dapat terdegradasi perlu diteliti guna menjadi alternatif minyak isolasi. Kondisi ini memungkinkan penggunaan bahan isolasi yang berasal dari minyak nabati [1].

Penggunaan minyak ester sebagai bahan isolasi sudah cukup untuk penggunaan trafo distribusi. Namun jika minyak tersebut digunakan dalam waktu yang lama, masih dibatasi oleh tegangan tembus yang rendah [1]. 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 [2]. Studi tentang analisis tegangan tembus minyak kelapa murni (*Virgin Coconut Oil*) sebagai isolasi cair dilakukan oleh Eko budyantoro, Abdul Syakur, dan M facta, dimana jenis minyak nabati yang dianalisis adalah minyak

kelapa murni (*Virgin Coconut Oil*) dengan variasi pengujian tegangan tembus diantaranya adalah menggunakan jenis elektroda yang berbeda yaitu elektroda setengah bola dengan diameter yang berbeda-beda dan elektroda bidang dengan diameter dan ketebalan tetap. Tahap satu pada penelitian ini adalah pengujian menggunakan elektroda setengah bola – setengah bola dengan susunan elektroda horisontal, pengujian tahap dua adalah dengan menggunakan elektroda bidang-bidang dengan susunan elektroda horisontal, pengujian tahap tiga pada penelitian ini adalah menggunakan elektroda setengah bola – setengah bola dengan susunan elektroda vertikal, tahap empat adalah pengujian dengan menggunakan elektroda bidang-bidang yang disusun secara vertikal, kemudian tahap lima dalam penelitian ini adalah pengujian dengan menggunakan elektroda bidang – setengah bola dengan susunan elektroda horisontal. Pada setiap tahap pengujian, jarak sela elektroda diperbesar sehingga akan diketahui pengaruh jarak sela antar elektroda terhadap nilai tegangan tembus dari minyak kelapa murni.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengujian tegangan tembus dari minyak nabati jenis minyak kelapa murni pada posisi elektroda tersusun horisontal akan menghasilkan nilai tegangan tembus yang lebih tinggi dibanding dengan nilai tegangan tembus dengan elektroda tersusun vertikal, hal ini dikarenakan laju pelepasan elektron pada posisi vertikal ikut dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Ukuran elektroda juga berpengaruh terhadap nilai tegangan tembus dari minyak kelapa murni yaitu semakin besar diameter elektroda setengah bola yang digunakan maka nilai dari tegangan tembus dari minyak kelapa murni juga akan semakin besar, hal ini dikarenakan semakin besar diameter elektroda yang digunakan maka energi yang dibutuhkan untuk proses terjadinya pelepasan elektron akan semakin besar. Perbandingan nilai tegangan tembus antara elektroda bidang-bidang dan elektroda setengah bola-bidang adalah nilai tegangan tembus dari pengujian menggunakan elektroda bidang-bidang lebih besar dibanding pengujian tegangan tembus menggunakan elektroda setengah bola-bidang, hal ini dikarenakan luas permukaan elektroda bidang lebih besar dibanding elektroda setengah bola yang memiliki permukaan lebih runcing,

sehingga pada elektroda bidang akan sulit terbentuknya elektron awal penyebab kegagalan. Pengaruh dari jarak sela terhadap tegangan tembus minyak kelapa murni adalah semakin besar jarak sela antar elektroda baik pada elektroda setengah bola ataupun elektroda bidang. Berdasarkan IEC 156, nilai tegangan tembus tersebut belum memenuhi syarat sebagai isolasi minyak transformator yang besar minimal kekuatan tegangan tembusnya adalah 30 kV. Akan tetapi, berdasarkan standarisasi NESCA (*National Electrical Safety Code*) 1990 minyak kelapa murni tersebut dapat dijadikan sebagai alternatif isolasi cair pada peralatan dengan tegangan kerja kurang dari sama dengan 2,4 kV [3].

Uji tegangan tembus arus bolak-balik pada minyak jarak sebagai alternatif isolasi cair dilakukan oleh Elia Krismiandaru. Pengujian dilakukan dengan menggunakan salah satu jenis minyak nabati yaitu minyak jarak, jenis elektroda yang digunakan adalah elektroda setengah bola - setengah bola pada konfigurasi elektroda horisontal dan vertikal, elektroda bola - bola pada konfigurasi elektroda horisontal dan vertikal, dan elektroda bola - bidang dengan konfigurasi horisontal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh medan seragam dan tak seragam, posisi konfigurasi elektroda, diameter elektroda, dan jarak sela antar elektroda terhadap nilai tegangan tembus pada minyak jarak. Data hasil yang didapatkan pada pengujian medan seragam dan tak seragam menunjukkan bahwa tegangan tembus dari pengujian medan seragam lebih besar daripada pengujian medan tak seragam, hal ini dikarenakan pada elektroda medan tak seragam proses pembentukam elektron awal lebih mudah karena elektroda bola jauh lebih runcing dibanding elektroda bola. Pengaruh posisi konfigurasi dari elektroda menunjukkan bahwa pengujian dengan elektroda yang disusun secara horisontal dan pengujian dengan elektroda yang disusun secara vertikal memiliki perbedaan nilai tegangan tembus yang tidak begitu besar. Sehingga disimpulkan bahwa posisi elektroda tidak berpengaruh terhadap nilai tegangan tembus yang diperoleh. Pengaruh diameter elektroda adalah jika semakin besar diameter elektroda maka nilai tegangan tembusnya akan semakin besar, hal ini dikarenakan semakin besar elektroda maka semakin besar energi yang digunakan untuk

dapat melepaskan elektron, sehingga pelepasan elektron akan terjadi lebih lama. Pengaruh jarak sela antar elektroda terhadap nilai tegangan tembus adalah seiring bertambah besarnya jarak sela antar elektroda maka nilai tegangan tembus yang dihasilkan akan semakin besar, hal ini dikarenakan semakin jauh jarak sela antar elektroda maka energi yang dibutuhkan untuk mencapai kegagalan akan semakin besar, sehingga terjadinya kegagalan akan semakin lama dan nilai tegangan tembus akan semakin besar. Berdasarkan IEC 156 minyak jarak mencukupi kualifikasi untuk dijadikan sebagai minyak isolasi dan sesuai dengan ketentuan SPLN 49-1: 1982 maka minyak jarak dapat digunakan sebagai isolasi dengan tegangan kerja ≤ 70 kV. Sedangkan menurut standar NESCA: 1990 minyak jarak yang diuji dapat digunakan pada peralatan dengan tegangan kerja 2,4 kV sampai dengan 6,9 kV [4].

Studi tentang karakteristik tegangan tembus arus bolak balik pada minyak jarak pagar (*Jatropha curcas*) sebagai alternatif isolasi cair dilakukan oleh Rendy Kamerlisa Putra. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tegangan tembus dengan variasi *gap* antar elektroda dan variasi kadar air, pengujian titik nyala, pengujian kadar air, titik tuang, viskositas, dan pengujian massa jenis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan tembus dari minyak jarak pagar lebih tinggi dibanding dengan minyak mineral trafo. Setelah dilakukan pengurangan kadar air dengan memanaskan minyak jarak pagar dalam oven, tegangan tembus yang dimiliki oleh minyak jarak jauh lebih baik jika dibandingkan dengan minyak mineral. Hubungan antara *gap* elektroda atau jarak sela antar elektroda dan kekuatan dielektrik dari minyak jarak pagar adalah berbanding lurus. Semakin besar jarak sela antar elektroda dalam pengujian maka nilai tegangan tembus dari minyak jarak pagar akan semakin besar. Kandungan air pada minyak jarak pagar sangat berpengaruh terhadap kekuatan dielektrik dari minyak. Hubungan antara kandungan air dan kekuatan dielektrik dari minyak jarak pagar adalah berbanding terbalik, apabila kandungan air di dalam minyak semakin tinggi maka nilai tegangan tembus dari minyak akan semakin rendah. Hasil pengujian yang lain menunjukkan hasil bahwa kadar air, titik nyala, dan kekuatan tegangan tembus dari minyak jarak memenuhi spesifikasi

sebagai alternatif minyak isolasi berdasarkan SPLN 49-91: 1982, akan tetapi tidak memenuhi standar dari nilai viskositas, titik tuang, dan massa jenis minyak isolasi [5].

B. Pengaruh Pemanasan Terhadap Kandungan Air Isolasi Cair

Umumnya semua bahan dielektrik cair bahkan jenis isolasi minyak yang baru juga memiliki kadar air yang terkandung didalamnya. Syarat kadar air isolasi baru berdasarkan IEC 60296-2003 adalah maksimal 30 mg/kg. Analisa tegangan tembus minyak nabati dengan perlakuan pemanasan berulang dilakukan oleh Ika Novia Anggraini, Diana, dan M. Khairul Amri Rosa membahas tentang pengaruh pemanasan terhadap persentase kadar air dalam minyak, viskositas minyak dan pengaruh pemanasan terhadap nilai tegangan tembus minyak. Pemanasan berulang dilakukan sebanyak enam kali terhadap minyak kelapa murni, minyak sawit, dan minyak trafo. Dari hasil penelitian yang didapat diketahui bahwa dari ketiga sampel minyak, persentase kandungan air didalam tiap minyak akan semakin berkurang seiring dengan meningkatnya intensitas pemanasan yang dilakukan terhadap minyak atau dapat juga dikatakan bahwa semakin lama pemanasan yang dilakukan pada setiap minyak, maka persentase kadar air didalam minyak tersebut akan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan terjadinya proses penguapan kandungan air didalam minyak, air memiliki titik didih yang lebih rendah dibandingkan dengan titik didih minyak sehingga ketika sampel dipanaskan, kandungan air didalam minyak akan terlebih dahulu menguap dibandingkan minyak. Di antara ketiga sampel, persentase penguapan yang terjadi di dalam sampel menunjukkan kandungan air didalamnya, semakin sedikit penguapan yang terjadi di dalam sampel menunjukkan bahwa semakin sedikit kandungan air di dalam sampel tersebut [6].

C. Pengaruh Pemanasan Terhadap Tegangan Tembus Isolasi Cair

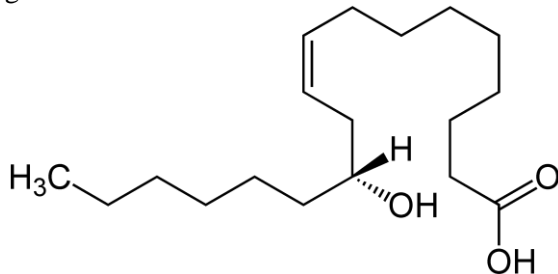
Analisa tegangan tembus minyak nabati dengan perlakuan pemanasan berulang dilakukan oleh Ika Novia Anggraini, Diana, dan M. Khairul Amri Rosa membahas tentang pengaruh pemanasan terhadap persentase kadar air dalam minyak, viskositas minyak dan pengaruh pemanasan terhadap nilai tegangan tembus minyak. Pemanasan berulang dilakukan

sebanyak enam kali terhadap minyak kelapa murni, minyak sawit, dan minyak trafo. Pengujian tegangan tembus mengacu kepada standar IEC 60156. Data hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus dari minyak akan semakin tinggi seiring dengan semakin banyaknya pengulangan pemanasan yang dilakukan terhadap sampel sehingga dapat dikatakan semakin lama pemanasan yang dilakukan terhadap minyak maka akan semakin tinggi nilai tegangan tembus dari minyak tersebut. Hal ini dikarenakan pemanasan berulang menyebabkan kadar air pada sampel berkurang dan minyak menjadi lebih cair. Di antara ketiga sampel, minyak kelapa murni memiliki tegangan tembus yang paling rendah. Hal ini karena pada minyak kelapa murni terdapat kontaminan berupa endapan yang dapat mempercepat terjadinya tembus tegangan [6].

D. Minyak Jarak

Minyak jarak (*castor oil*) termasuk kedalam jenis minyak nabati yang baik untuk dijadikan bahan dielektrik karena memiliki karakteristik resistansi yang cukup tinggi, konstanta dielektrik yang tinggi, tidak beracun, titik nyala tinggi, titik lebur -10°C sampai dengan -18°C . Sifat minyak jarak adalah tidak terlarut [7]. Minyak jarak didapatkan dari buah tanaman pohon jarak. Buah pohon jarak yang telah matang dipanen, dijemur, dan dikeringkan, proses ini dilakukan agar mudah ketika melakukan pengambilan daging biji jarak yang berwarna putih. Biji jarak yang telah terpisah dari kulit dan cangkangnya, biji jarak kemudian dicuci dan dimasak lalu dikeringkan kembali sebelum diekstraksi menggunakan alat pengestrak. Pemasakan daging buah biji jarak dilakukan untuk menggumpalkan protein dan melepaskan minyak. Daging biji jarak yang telah melalui tahap awal kemudian dimasukkan ke dalam pengempa bertekanan tinggi untuk menghasilkan minyak tingkat satu dan ampas. Untuk mendapatkan minyak dengan tingkat yang lebih tinggi, maka minyak sebelumnya disaring dan diendapkan untuk memisahkan pengotor. Pengotor yang didapat kemudian dialirkan kembali ke pengempa awal, minyak hasil saringan di simpan dalam tangki untuk selanjutnya dilakukan pemurnian. Biji jarak adalah bagian dari tanaman jarak yang memiliki kandungan minyak sebesar 40-50% dengan bermacam-macam trigliserida. Minyak jarak

didominasi oleh asam risinoleat ($C_{18}H_{34}O_3$) dengan persentase sebesar 89,5 % dengan besar bilangan iod adalah 81 – 90. Berikut adalah gambar struktur asam risinoleat.



Gambar 1 Struktur Asam Risinoleat

Nilai viskositas dari minyak jarak pagar adalah 295,4 cSt pada suhu 40 °C dan 20,34 cSt pada suhu 100 °C, nilai indeks viskositas dari minyak jarak adalah 87 VI, dengan nilai titik tuang dan titik nyala adalah -10 °C, dan 307 °C [8].

Studi tentang pengujian kekuatan dielektrik minyak sawit dan minyak castor menggunakan elektroda bola-bola dengan variasi jarak antar elektroda dan temperatur dilakukan oleh Ngurah Ayu Ketut Umiati. Adanya medan listrik yang tinggi menyebabkan suatu bahan dielektrik akan kehilangan kemampuannya sebagai bahan isolasi cair antar penghantar bermuatan, jarak antar penghantar mempengaruhi besar kecilnya tegangan tembus dari bahan isolasi cair. Medan listrik menyebabkan elektron – elektron bebas pada elektroda mendapat energi yang cukup besar sehingga mampu memindahkan elektron, semakin besar jarak sela antar elektroda maka akan semakin lama proses pemindahan elektron sehingga nilai tegangan tembus minyak akan semakin besar. Minyak jarak dengan suhu 40 °C, memiliki kekuatan dielektrik sebesar 20,274 kV pada jarak sela antar elektroda yaitu 1 mm. Minyak sawit pada suhu 40 °C memiliki kekuatan dielektrik sebesar 30,412 kV pada jarak sela 1,5 mm. Pada studinya dikatakan bahwa dielektrik cair cenderung tidak stabil pada suhu 40 °C. Viskositas dielektrik cair setelah dadal lebih kecil dibanding sebelum dadal [9].

Studi tentang pengujian tembus dielektrik minyak jarak sebagai alternatif pengganti isolasi pada minyak trafo yang dilakukan oleh Purwiyanto dan Galih Mustiko Aji menunjukkan bahwa tegangan tembus minyak

jarak pada pengujian menggunakan elektroda bidang-jarum dengan kondisi minyak yang belum terpengaruh suhu dan jarak sela adalah 2,317 kV. Setiap kenaikan jarak sela 1 mm peningkatan tegangan tembusnya sebesar 0,157 kalinya dan setiap kenaikan suhu 1 °C peningkatan tembusnya adalah 0,008 kalinya. Hasil pengujian kekuatan dielektrik minyak jarak pada pengujian dengan elektroda jarum-bidang dan jarak sela 1,5 mm, 2,5 mm, 3,5 mm, dan 5mm adalah 18,2222 kV, 22,8889 kV, 26,4444 kV, dan 31,2222 kV [10].

3. METODE PENELITIAN

A. Pemanasan Minyak Jarak

Penelitian ini menggunakan metode pengukuran langsung [11], dimana proses pemanasan pada minyak jarak dilakukan dengan menggunakan *hot plate*. Sebelum dipanaskan wadah pemanas dibersihkan dahulu dengan dicuci dan dipanaskan dengan *hotplate* yang telah diatur suhunya sebesar 105 °C. Kemudian menuangkan minyak jarak yang akan dipanaskan ke dalam wadah pemanas yang telah mencapai suhu 60 °C terukur thermometer dengan volume minyak jarak adalah 1250 mL yang telah diukur menggunakan plastik beker. Setelah pemanasan selesai, dilanjutkan dengan membagi tiga minyak jarak yang telah dipanaskan dan memasukkannya ke dalam botol, sehingga tiap botol berisi 400 mL minyak jarak, sisa pembagian minyak jarak dimasukkan ke dalam botol dengan volume minyak jarak 10 mL. Pemanasan dilakukan dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam pemanasan.

B. Pengujian Kadar Air Dalam Minyak Jarak

Pengujian kadar air di dalam minyak jarak diperlukan untuk mengetahui kandungan air dan pengaruh pemanasan terhadap kandungan air minyak jarak. Minyak jarak yang tidak melalui proses pemanasan dan yang melalui proses pemanasan selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam yang telah dimasukkan ke dalam wadah kemudian dikenai pengujian selanjutnya yaitu pengujian kadar air.

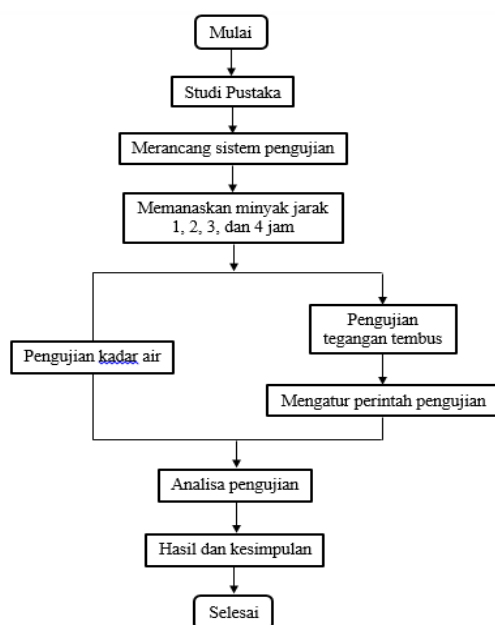
Proses pengujian kadar air dalam minyak jarak dilakukan oleh UPT. LTSIT (Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi) dengan metode uji SNI 8904-2020.

C. Pengujian Tegangan Tembus Minyak Jarak

Pengujian tegangan tembus minyak jarak dilakukan menggunakan alat yang disebut *Megger OTS80Af Oil Tester*, elektroda yang digunakan adalah elektroda berbentuk *mushroom* (jamur) berdiameter 12,5 mm dengan jarak elektroda 2,5 mm dengan acuan syarat nilai tegangan tembus standar minyak isolasi trafo yaitu >30kV/2,5 mm berdasarkan SPLN 49-91 : 1982 dan IEC 60156-95.

Masing-masing sampel minyak diuji tegangan tembus sebanyak 6 kali uji yang kemudian dihitung nilai rata-rata tegangan tembusnya. Proses pengujian tegangan tembus dimulai dengan memasukkan larutan N-Heksan ke dalam tabung uji kemudian dikocok hingga sisa-sisa minyak yang tertinggal di permukaan elektroda dan dinding tabung uji larut kemudian membersihkannya. Setelah itu menuangkan minyak jarak yang akan diuji ke dalam tabung uji. Proses pengujian tegangan tembus setelah menghidupkan alat ukur terlihat dalam layar yaitu, menunggu selama 5 menit untuk mengkondisikan minyak dalam tabung uji, kemudian tegangan naik hingga terjadi tembus tegangan, *stirrer* akan berputar selama 2 menit yaitu saat setelah terjadi tembus tegangan dan sebelum pengujian berikutnya.

D. Diagram Alir Program



Gambar 1 Diagram Alir Program

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemanasan Minyak Jarak

Proses pemanasan minyak jarak dilakukan menggunakan *hot plate* sebagai alat pemanas dan wadah pemanas sebagai tempat memanaskan minyak jarak. Banyaknya minyak jarak yang digunakan dalam pemanasan adalah 4 minyak jarak. Masing-masing pemanasan menggunakan jumlah minyak yang sama yaitu 1250 mL. Sebelum menuangkan masing-masing minyak, wadah pemanas dicuci terlebih dahulu, hal ini berfungsi untuk menghilangkan kontaminan pada wadah seperti debu, kemudian wadah pemanas dipanaskan diatas *hot plate* yang telah diatur suhunya pada 105 °C untuk menghilangkan butiran air bekas pencucian hingga suhu permukaan wadah mencapai 60 °C terukur thermometer. Setelah dilakukan pemanasan, minyak jarak dibagi menjadi tiga sampel dan dimasukkan ke dalam botol dengan masing-masing sampel dalam botol berisi 400 mL minyak jarak, dan menyisakan 10 mL minyak jarak untuk selanjutnya dilakukan pengujian kadar air.

B. Pengaruh Pemanasan Terhadap Kandungan Air Minyak Jarak

Untuk mengetahui pengaruh proses pemanasan terhadap kandungan air di dalam minyak jarak perlu dilakukan pengujian kadar air minyak jarak. Proses pengujian kadar air dalam minyak jarak dilakukan oleh UPT. LTSIT (Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi) dengan metode uji SNI 8904-2020. Data hasil pengujian kadar air dalam minyak jarak pada penelitian ini ditunjukkan oleh tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pengujian kadar air minyak jarak.

Lama Pemanasan	Kadar air (mg/kg)	Kadar air (%)
0	33	0,33
1	23	0,23
2	26	0,26
3	46	0,46
4	27	0,27

Berdasarkan teori diketahui bahwa pemanasan yang dilakukan pada dielektrik cair akan berpengaruh kepada kandungan air di dalamnya. Semakin lama pemanasan yang dilakukan pada dielektrik cair maka kadar air di dalamnya akan semakin kecil. Akan tetapi data

hasil pada penelitian ini menunjukkan adanya ketidaksesuaian dengan teori. Hal ini bisa terjadi karena proses pemanasan minyak jarak tidak dilakukan di dalam laboratorium khusus dimana faktor lingkungan seperti kelembaban udara dan suhu ruang dapat terjaga. Lamanya rentang waktu antara pemanasan minyak jarak dengan pengujian kandungan air di dalam minyak jarak juga dapat mempengaruhi hasil pengujian kadar air di dalam minyak jarak. Hal ini dikarenakan faktor eksternal seperti kelembaban udara dapat mempengaruhi karakteristik minyak jarak, salah satunya adalah kandungan air. Berdasarkan penelitian Ayu Ngurah K.U. sifat dan karakteristik dielektrik cair tidak stabil saat terkena gaya eksternal. Selain itu, minyak jarak memiliki sifat

ketidakstabilan terhadap oksidasi sehingga minyak jarak yang telah dipanaskan dan hendak dilakukan pengujian kadar air mengalami reaksi oksidasi.

Berdasarkan IEC 60296-2003 yang menjelaskan bahwa syarat kandungan air dalam minyak isolasi adalah $\leq 0,3\%$ atau 30 mg/kg, maka dapat disimpulkan minyak jarak yang belum dipanaskan tidak memenuhi syarat sebagai isolasi trafo karena memiliki kadar air lebih besar 0,03% atau 3 mg/kg dari standar. Minyak jarak yang memenuhi syarat sebagai isolasi trafo adalah minyak jarak yang dipanaskan selama 1 jam, 2 jam, dan 4 jam dengan nilai kadar air 0,23%, 0,26%, dan 0,27%.

C. Pengujian Tegangan Tembus

Pengujian tegangan tembus dilakukan untuk mengetahui kekuatan dielektrik dari minyak jarak. Pengujian tegangan tembus dilakukan sebanyak 6 kali pada masing-masing sampel minyak jarak baik yang belum dipanaskan ataupun minyak jarak yang dipanaskan selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam.

Berikut adalah data hasil dari tiga sampel minyak jarak yang telah dilakukan pengujian tegangan tembus.

Tabel 2. Pengujian tegangan tembus

Nama Sampel	Lama Pemanasan (Jam)	Tegangan Tembus Minyak Jarak (kV)					
		V1	V2	V3	V4	V5	V6
Minyak A	0	11,3	15,5	13,4	11,5	14,5	11,2
	1	12,6	16,0	16,1	18,3	16,7	16,3
	2	14,6	17,9	20,1	14,9	17,3	16,1
	3	20,0	19,4	13,9	14,2	19,6	19,0
	4	22,9	18,6	27,7	21,8	15,8	25,7
Minyak B	0	16,1	13,5	14,1	13,3	12,5	12,2
	1	17,6	15,9	15,9	15,0	10,7	15,3
	2	13,6	15,4	15,5	15,8	17,6	19,5
	3	16,3	17,1	19,5	13,7	15,7	17,4
	4	16,3	24,4	22,4	18,3	23,2	18,2
Minyak C	0	15,4	16,8	14,3	16,9	13,9	13,0
	1	15,7	16,5	19,1	17,1	16,2	20,9
	2	17,5	17,0	23,8	17,8	17,1	15,1
	3	25,0	15,5	25,3	19,8	20,3	26,6
	4	23,8	24,6	21,1	26,2	22,4	26,5

Sangat sulit mengkondisikan nilai tegangan tembus dari suatu dielektrik cair agar bernilai tetap. Oleh karena itu dalam pengujian dielektrik cair yaitu minyak isolasi perlu dilakukan enam kali pengujian yang kemudian diambil nilai rata-ratanya untuk mengetahui kekuatan tegangan tembus dari minyak isolasi, semakin banyak pengujian yang dilakukan pada minyak isolasi maka nilai rata-rata dari semua pengujian akan semakin teliti.

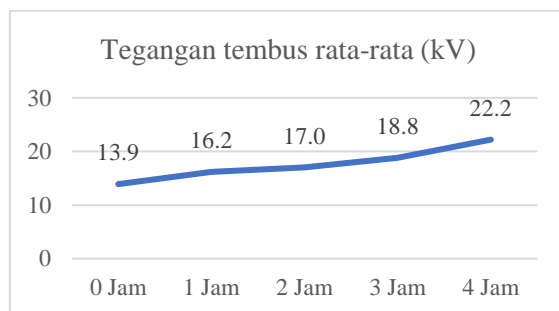
Nilai rata-rata tegangan tembus didapatkan dari penjumlahan nilai tegangan tembus minyak jarak A, B, dan C dengan lama pemanasan yang sama kemudian dibagi dengan total pengujian yaitu 18 kali. Berikut adalah tabel 3 yang menunjukkan hasil rata-rata tegangan tembus minyak jarak.

Tabel 3. Rata-rata tegangan tembus

Lama Pemanasan (Jam)	Rata-Rata Tegangan (kV)			
	Minyak A	Minyak B	Minyak C	Total
0	12,9	13,6	15,1	13,9
1	16,0	15,1	17,6	16,2
2	16,8	16,2	18,1	17,0
3	17,7	16,6	22,1	18,8
4	22,1	20,5	24,1	22,2

Data hasil pada Tabel 2 dan 3 menunjukkan hasil pengujian dari tiga sampel minyak jarak yang tidak dipanaskan dan minyak jarak yang dipanaskan selama 1, 2, 3, dan 4 jam. Nilai tegangan rata-rata, tegangan tembus terkecil dan terbesar untuk minyak jarak yang tidak dipanaskan adalah 13,9 kV, 11,3 kV dan 16,9 kV. Nilai tegangan rata-rata, tegangan tembus terkecil dan terbesar untuk minyak jarak yang dipanaskan selama 1 jam adalah 16,2 kV, 12,6 kV dan 20,9 kV. Nilai tegangan rata-rata, tegangan tembus terkecil dan terbesar untuk minyak jarak yang dipanaskan selama 2 jam adalah 17,0 kV, 13,6 kV dan 23,8 kV. Nilai tegangan rata-rata, tegangan tembus terkecil dan terbesar untuk minyak jarak yang dipanaskan selama 3 jam adalah 18,8 kV, 13,7 kV dan 26,6 kV. Nilai tegangan rata-rata, tegangan tembus terkecil dan terbesar untuk minyak jarak yang dipanaskan selama 4 jam adalah 22,2 kV, 15,8 kV dan 27,7 kV.

Berikut adalah gambar grafik yang menunjukkan nilai tegangan rata-rata dari minyak jarak.



Gambar 3 Grafik tegangan tembus rata-rata minyak jarak

Berdasarkan data hasil dari ketiga sampel minyak jarak, diketahui bahwa semakin lama pemanasan yang dilakukan pada minyak jarak maka besar tegangan tembus dari minyak jarak

juga semakin tinggi. Hal ini dikarenakan proses pemanasan minyak jarak akan menyebabkan atom-atom pada minyak merenggang sehingga interaksi antar muatan dalam atom penyusun minyak jarak menjadi lemah, dengan demikian proses terjadinya tembus tegangan akan semakin lama. Proses pemanasan juga mengurangi nilai viskositas dari minyak jarak, sehingga minyak akan semakin mudah untuk bersirkulasi dan kemampuan untuk menghantarkan panasnya semakin baik. Proses pemanasan juga mengakibatkan kandungan air dalam minyak jarak menjadi berkurang, saat diterpa medan listrik kandungan air pada minyak jarak akan terpolarisasi menjadi dipole, dimana semakin sedikit kandungan air dalam minyak maka akan semakin lama terjadinya jembatan elektron yang menyebabkan tembus tegangan.

Berdasarkan SPLN 49-91-1982 dan IEC 60156-95, syarat minyak isolasi trafo adalah memiliki nilai tegangan tembus minimal 30 kV/2,5 mm. Oleh karena itu, pada penelitian ini minyak jarak tidak layak digunakan sebagai minyak isolasi karena nilai rata-rata tegangan tembus dari minyak jarak tidak mencapai standar yang ditentukan. Dimana nilai tertinggi dari rata-rata tegangan tembus minyak jarak adalah 22,2 kV.

5. KESIMPULAN

Pengujian kadar air minyak jarak menunjukkan bahwa kandungan air pada minyak jarak ini adalah 0,33% atau 33 mg/kg. Berdasarkan IEC 60296-2003 yang menjelaskan bahwa syarat kandungan air dalam minyak isolasi adalah ≤ 0,3% atau 30 mg/kg dapat disimpulkan bahwa minyak jarak ini tidak memenuhi syarat sebagai minyak isolasi karena kandungan air dalam minyak jarak ini lebih besar 0,03% atau 3 mg/kg dari standar. Minyak jarak yang memenuhi syarat sebagai isolasi trafo adalah minyak jarak yang dipanaskan selama 1 jam, 2 jam, dan 4 jam dengan nilai kadar air 0,23%, 0,26%, dan 0,27%. Berdasarkan SPLN 49-91-1982 dan IEC 60156-95, syarat minyak isolasi trafo adalah memiliki nilai tegangan tembus minimal 30 kV/2,5 mm. Oleh karena itu, pada penelitian ini minyak jarak tidak layak digunakan sebagai minyak isolasi karena nilai tegangan tembus tertinggi adalah sebesar 22,2 kV.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Budiyanoro, Eko., Abdul Syakur., M Facta. "Analisis Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni (*Virgin Coconut Oil*) Sebagai Isolasi Cair Dengan Variasi Elektroda Uji" Teknik Elektro Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.
- [4] Krismiandaru Elia., Abdul Syakur., M Facta. "Uji Tegangan Tembus Arus Bolak-Balik Pada Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair" Teknik Elektro Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.
- [5] Rendy K.P., Murdiya Fri. (2017) "Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*) Sebagai Alternatif Isolasi Cair" Jom FTEKNIK Volume 4 No. 2.
- [6] Anggraini, Ika Novia, Dkk. 2015. *Analisa Tegangan Tembus Minyak Nabati Dengan Perlakuan Pemanasan Berulang*. Program Studi Teknik Elektro, Universitas Bengkulu.
- [7] Insulating Liquid Determination of The Breakdown Voltage at power Frequency – Test Method, IEC Publication 156, 1995.
- [8] K. Sudrajat., R. Ariatmi., D. Setiawan., "Pengolahan Minyak Jarak Pagar Menjadi Epoksi Sebagai Bahan Baku Minyak Pelumas". Vol. 25 No. 1, Februari 2007: 57-74. Jurnal Penelitian Hasil Hutan.
- [9] Ayu Ngurah, K. U. Pengujian Kekuatan Dielektrik Minyak Sawit dan Minyak Castor Menggunakan Elektroda Bola-Bola Dengan Variasi Jarak Antar Elektroda dan Temperatur. Jurnal Teknik Elektro, Jilid 11, No.1 Maret 2009, hlm. 23-36.
- [10] Purwiyanto., Galih Mustiko. Pengujian tembus dielektrik minyak jarak sebagai alternatif pengganti isolasi pada minyak trafo. Jurnal Ecotipe, Vol:4, No:1, April 2017. ISSN 2355-5068.
- [11] WP, P. N. S., Nama, G. F., & Komarudin, M. (2022). Sistem Pengendalian Kadar PH dan Penyiraman Tanaman Hidroponik Model Wick System. Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 10(1).