

Minyak Kelapa Beraditif Minyak Zaitun sebagai Isolasi Peralatan Tegangan Tinggi

Moch Dhofir, Nur Rahma Dona, Unggul Wibawa, dan Rini Nur Hasanah

Abstract—This paper discusses the improvement of dielectric strength of dielectric coconut oil using olive oil to be used as an alternative to liquid insulation on high voltage equipments. Increasing the breakdown voltage level has been done by adding olive oil of 5% -25% into coconut oil. Heating was considered to reduce the water content in coconut oil. Electrical testing (using breakdown voltage test), physical testing (by testing the water content using oven method), and analysis of the acid content of simple saturated fat using mixing formula, have been performed to determine the feasibility of coconut oil as insulation agent. The test results indicated the breakdown voltage of a pure coconut oil value of 23.47kV / 2.5mm, which did not fulfilled the IEC 156 standard, which is 30kV/2.5mm. The addition of olive oil could increase the breakdown voltage level to 38.73 kV / 2.5 mm and if the heating can reach 51.15kV/2.5mm. The highest breakdown voltage level of 54.01kV/ 2.5mm could be obtained by mixing the olive oil and heating the coconut oil at once. It can be concluded that the addition of olive oil could decrease the saturated fatty acid content from 91% to 72.2%, whereas the heating could reduce the water content from 2697 ppm to 361 ppm. From the point of view of water content, the modified coconut oil could not meet the maximum permitted standard JIS 2320, which is 50 ppm. Based on the achieved breakdown voltage level, the considered coconut oil will be able to work on electrical equipment with a working voltage level of 0.75 kV-13.2 kV.

Index Terms— breakdown voltage; coconut oil; insulation oil; olive oil; water content.

Abstrak—Paper ini membahas peningkatan kekuatan dielektrik minyak kelapa dengan menggunakan minyak zaitun agar dapat digunakan sebagai alternatif isolasi cair pada peralatan tegangan tinggi. Peningkatan level tegangan tembus dilakukan dengan menambahkan minyak zaitun sebesar 5%-25% ke dalam minyak kelapa. Pemurnian melalui pemanasan dilakukan untuk mengurangi kadar air yang terkandung pada minyak kelapa. Pengujian secara elektris (rangkaiannya pengujian tegangan tembus), fisis (dengan pengujian kadar air menggunakan metode oven), serta analisis kandungan asam lemak jenuh sederhana menggunakan rumus pencampuran, dilakukan untuk menentukan kelayakan minyak kelapa sebagai isolasi. Hasil pengujian menunjukkan nilai tegangan tembus minyak kelapa murni sebesar 23,47kV/2,5mm, yang belum memenuhi standar

IEC 156, yaitu sebesar 30kV/2,5mm. Penambahan minyak zaitun berhasil meningkatkan tegangan tembus hingga mencapai 38,73 kV/2,5 mm dan jika dilakukan pemanasan dapat mencapai 51,15kV/2,5mm. Tegangan tembus tertinggi sebesar 54,01kV/2,5mm dapat diperoleh melalui pencampuran minyak zaitun dan pemanasan minyak kelapa sekaligus. Dapat disimpulkan bahwa penambahan minyak zaitun dapat menurunkan kadar asam lemak jenuh dari 91% menjadi 72,2%, sedangkan pemanasan dapat menurunkan kadar air dari 2697 ppm menjadi 361 ppm. Jika dilihat dari kadar airnya, minyak kelapa hasil modifikasi belum dapat memenuhi standar maksimum yang diizinkan JIS 2320, yaitu 50 ppm. Dari tegangan tembusnya, minyak kelapa hasil pengujian dapat bekerja pada peralatan listrik dengan level tegangan kerja 0,75 kV-13,2 kV.

Kata Kunci— kadar air; minyak isolasi; minyak kelapa; minyak zaitun; tegangan tembus.

I. PENDAHULUAN

SELAMA lebih dari seratus tahun minyak bumi digunakan sebagai bahan minyak isolasi cair pada trafo dan peralatan tegangan tinggi. Minyak bumi makin berkurangnya persediaannya serta sifatnya kurang aman dan tidak ramah terhadap lingkungan karena sulit terdegradasi serta mudah terbakar [1]. Dibutuhkan minyak nabati sebagai bahan isolasi cair yang dapat terdegradasi secara sempurna, dari bahan organik yang ramah lingkungan, tidak beracun, memiliki titik api tinggi, dapat diurai kembali (*biodegradable*) dan dapat diperbaharui (*renewable*).

Minyak kelapa (*coconut oil*) adalah minyak nabati yang kaya akan kandungan asam lemak jenuh, yaitu 91%. Sifat ini menyebabkan meningkatnya tingkat konduktivitasnya yang berdampak pada menurunnya kekuatan dielektriknya (tegangan tembus). Pada penelitian sebelumnya dinyatakan bahwa minyak kelapa sawit sebagai alternatif minyak isolasi dengan sedikit asam lemak jenuh memiliki tegangan tembus yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang banyak mengandung asam lemak jenuh [2]. Pada artikel ini, untuk meningkatkan kinerja/ kekuatan dielektrik dari minyak kelapa ditambahkan minyak zaitun yang kaya akan asam lemak tak jenuh (84,2%), dengan tujuan untuk mengurangi kadar asam lemak jenuh dari minyak kelapa.

Tingkat konduktivitas yang tinggi mengindikasikan bahwa terdapat kandungan air di dalamnya [2]. Perlu dilakukan pemurnian dengan pemanasan sebelum dilakukan pengujian. Hal ini diupayakan untuk mengurangi jumlah kadar air yang terdapat pada minyak

Moch Dhofir adalah dosen di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email: dhofir@ub.ac.id)

Unggul Wibawa adalah dosen di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email: unggul@ub.ac.id)

Nur Rahma Dona adalah asisten di Laboratorium Mesin Listrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (nrahmadona@gmail.com)

kelapa.

Paper ini menganalisis pengaruh penambahan minyak zaitun dan suhu pemanasan terhadap tegangan tembus sebagai bahan isolasi cair.

A. Minyak Isolasi

Minyak isolasi merupakan bahan isolasi cair selain padat dan gas. Isolasi cair memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan dielektrik gas. Sebagai bahan isolasi, minyak harus memiliki kemampuan atau sifat dielektrik antara lain [3]:

- Tahan terhadap tegangan tembus (semakin tinggi nilai tegangan tembusnya maka kualitas isolasinya akan semakin baik).
- Bahan pendingin yang harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebih perlu dilengkapi dengan system pendinginan untuk menyalurkan panas dari trafo.
- Media untuk memadamkan busur api karena pada saat beroperasi trafo dapat menghasilkan senyawa gas sebagai hasil dari proses penuaan dan adanya dampak gangguan, kenaikan suhu yang berlebih akan memungkinkan terjadinya loncatan bunga api di dalam belitan trafo tersebut.
- Melindungi belitan dan rangka trafo dari terjadinya oksidasi dan korosi

Parameter yang menentukan karakteristik minyak isolasi agar dapat dapat berfungsi sebagai isolator cair yang baik antara lain adalah:

- Kejernihan minyak
- Viskositas yang rendah
- Massa jenis yang rendah dari air
- Titik tuang yang rendah dan titik nyala yang tinggi
- Angka kenetralan
- Kandungan air yang rendah
- Tegangan tembus yang tinggi
- Faktor kebocoran dielektrik yang rendah
- Tahanan jenis yang tinggi.

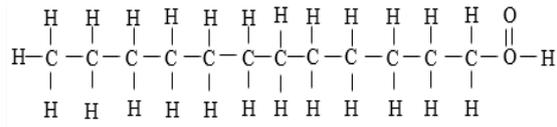
B. Minyak Kelapa

Minyak Kelapa (*cocoa nucifera. L*) merupakan tanaman yang tumbuh di daerah tropis dan mempunyai nilai ekonomi yang tinggi. Sama seperti minyak isolasi, minyak kelapa mempunyai sifat kimia dan fisika sebagai berikut:

Dari sifat kimianya, minyak kelapa memiliki total asam lemak jenuh sebesar 91% yang terdiri dari *caproic acid, caprylic acid, capric acid, lauric acid, myristic acid, palmitic acid, stearic acid* dan *arachidic acid*. Kandungan asam laurik (*Lauric acid*) dominan dengan 45%. Asam laurik terdiri dari 12 atom karbon dan asam lemak ini tergolong asam lemak rantai sedang.

Jumlah asam lemak jenuh yang tinggi menyebabkan kenaikan titik leleh dan meningkatkan tingkat konduktivitas. Namun minyak kelapa lebih stabil ketika berhubungan dengan udara. Oleh karena itu ketengikan

oksidatif kurang signifikan dalam minyak kelapa, komposisi lemak rantai mediumnya tinggi dan berat molekulnya rendah.

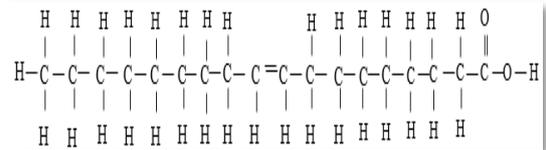


Gambar 1. Struktur kimia asam lemak jenuh

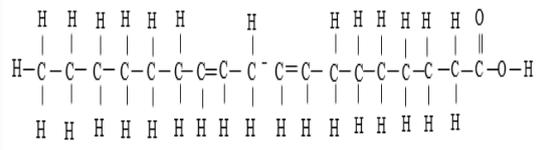
Dari sifat fisiknya, minyak kelapa memiliki sifat fisik penting seperti, viskositas 29 cSt, titik tuang 23°C, titik nyala 170°C-225°C, massa jenis 0,917 kg/dm³ dan kandungan uap air 1 mg/kg [5].

C. Minyak Zaitun

Pada minyak zaitun kandungan asam lemak tak jenuh sebesar 84,2% paling dominan adalah asam lemak *oleat*, asam lemak tak jenuh tunggal sebesar 71% dan 13,2% asam *linoleic*, asam lemak tak jenuh majemuk dan memiliki 15,8% asam lemak jenuh [1].



Gambar 2. Struktur kimia asam lemak tak jenuh tunggal



Gambar 3. Struktur kimia asam lemak tak jenuh majemuk

Tegangan tembus dari minyak zaitun mencapai 60 kV/2,5 mm. Ini tertinggi jika dibandingkan tegangan tembus dari minyak kelapa sawit dan minyak kelapa murni [1].

D. Kekuatan Dielektrik Minyak Isolasi

Kekuatan dielektrik minyak isolasi adalah kuat medan maksimum (medan elektrik) yang dapat dipikul oleh minyak isolasi tersebut. Jika kuat medan elektrik yang dipikul melebihi batas kemampuan batas kekuatan dielektrik isolator dan berlangsung secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama, maka kuat medan elektrik akan mengalami tembus listrik (*electrical breakdown*) [6]:

$$E_d > E_c \quad (1)$$

dengan:

E_d : kuat medan yang dipikul isolator

E_c : kekuatan dielektrik isolator

E. Kegagalan pada Bahan Isolasi Cair

Karakteristik isolasi cair akan berubah bila bahan tersebut tercemar atau terkontaminasi oleh suatu bahan pengotor (*impurity*), seperti gelembung udara/gas/uap, partikel atau zat cair lainnya. Disamping itu, kegagalan isolasi (*insulation breakdown*) juga disebabkan oleh beberapa factor, antara lain:

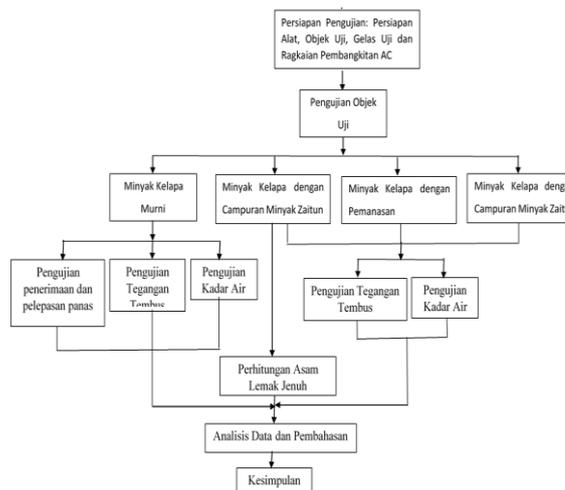
- Lamanya pemakaiannya

- Penurunan kekuatan dielektriknya
- Tegangan lebih yang dialaminya.

Pada prinsipnya tegangan pada isolator merupakan suatu tekanan (stress) yang harus diantisipasi oleh gaya internal yang ada di isolator itu sendiri agar ia tidak mengalami kegagalan.

II. METODE DAN BAHAN PENELITIAN

Pelaksanaan kajian unjuk kerja isolator cair dengan menggunakan minyak kelapa beraditif minyak zaitun ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir pelaksanaan penelitian

A. Objek Uji

Percobaan dalam kajian ini menggunakan total minyak sebanyak 250 ml sebagai objek uji yang telah dimurnikan dengan pemanasan dan penambahan minyak zaitun sebagai campuran. Pemanasan dilakukan menggunakan oven listrik dengan variasi suhu dengan rentang 50°C-90°C dan waktu pemanasan 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Penambahan minyak zaitun juga bervariasi dari 5%-25%.

B. Gelas Uji

Gelas uji yang digunakan sebagai wadah untuk menguji kekuatan dielektrik atau tegangan tembus minyak kelapa adalah wadah yang berbentuk gelas uji yang didalamnya berisi elektroda setengah (tembereng) bola standar tipe VDE 370 dengan jarak sela 2,5 mm dan diameter 3,6 mm, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

C. Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus

Rangkaian pengujian yang digunakan untuk mengetahui tegangan tembus menggunakan rangkaian pembangkitan tegangan arus bolak-balik yang ditampilkan seperti Gambar 6.

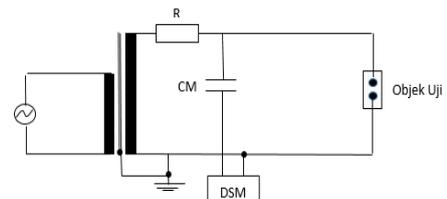
D. Pengujian Tegangan Tembus

Saat menuangkan minyak ke dalam *chamber*, objek uji (minyak) dituangkan secara perlahan ke dalam chamber untuk mencegah pembentukan gelembung udara dan didiamkan kurang lebih 5 menit sebelum tegangan diterapkan. Tegangan tembus diukur pada chamber dengan tegangan bolak-balik. Tegangan uji

dinaikkan dari nol dengan laju sekitar 2 kV/s hingga terjadi tembus/ lucutan. Sebelum pengujian kembali minyak didiamkan selama kurang lebih 2 menit untuk menghilangkan kemungkinan terjadinya gelembung setelah pengujian awal. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pada satu objek uji, kemudian diambil rata-rata [7]. Dan dilakukan pengujian berulang pada objek sama, namun lama pemanasan yang berbeda.



Gambar 5. Gelas uji tipe VDE 370



Gambar 6. Rangkaian pembangkit tegangan tinggi AC

E. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air menggunakan metode oven. Sebelum pengujian Cawan dicuci bersih, kemudian masukkan cawan kedalam oven pada suhu 100°C ± 1 jam. Ambil masukkan kedalam desikator ± 1 menit. Kemudian timbang cawan dan akan di ketahui beratnya dalam satuan gram. Tambahkan minyak 1 - 5 gram ke dalam cawan, lalu diketahui berat total (berat sampel+berat cawan yang sudah dikeringkan), kemudian oven kembali ± 1 malam pada suhu 105°C. Ambil masukkan ke dalam desikator ±15 menit. Terakhir timbang sampai penimbangan konstan antara penimbangan yang I dan ke II

Untuk mendapatkan presentase kadar air yang terkandung pada sampel dapat dihitung menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$W_3 = W_2 - W_0 \quad (2)$$

$$W_4 = W_1 - W_3 \quad (3)$$

dengan:

W_0 : berat cawan kosong (gr)

W_1 : berat sampel (gr)

W_2 : berat cawan + sampel kering (gr)

W_3 : berat sampel setelah kering (gr)

W_4 : kehilangan berat (gr)

$$\text{Persen kadar air} = \frac{W_4}{W_1} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{Kadar air (ppm)} = \frac{\text{Kadar air (\%)}}{0,0001\%} \quad (5)$$

F. Perhitungan Kadar Asam Lemak Jenuh

Pengujian ini awalnya dimaksudkan sebagai keingintahuan tentang pengaruh kandungan lemak pada minyak goreng terhadap tegangan tembusnya. Tujuan dari pengujian pencampuran minyak zaitun diharapkan asam lemak jenuh dari minyak kelapa dapat menurun. Analisis asam lemak jenuh sederhana menggunakan rumus pencampuran dapat kita gunakan sebagai berikut [8]:

$$M_Z V_Z + M_K V_K = M_C V_C \quad (6)$$

dengan :

M_Z = kandungan asam lemak jenuh minyak zaitun (%)

M_K = kandungan asam lemak jenuh minyak kelapa (%)

M_C = kandungan asam lemak jenuh campuran (%)

V_Z = volume minyak zaitun (ml)

V_K = volume minyak kelapa (ml)

V_C = volume campuran (ml)

G. Proses Pemanasan dan Pendingin

Untuk mengetahui tentang bagaimana penerimaan dan pelepasan panas dari beberapa minyak, dilakukan pemanasan dan pendinginan minyak kelapa dan minyak trafo. Selama proses pemanasan sebanyak 250 ml (memakai *Hotplate Magnetic Stirrer*), setiap selang waktu satu menit dilakukan pengukuran suhu yang dicapai menggunakan termometer.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Pengaruh Minyak Kelapa Murni terhadap Tegangan Tembus

Data pada Tabel I merupakan data pengujian tegangan tembus pada minyak kelapa murni dengan berbagai volume. Data tersebut diambil dari rata-rata 3 pengukuran nilai tegangan tembus.

TABLE I
DATA TEGANGAN TEMBUS MINYAK KELAPA MURNI

| Kuantitas minyak kelapa (ml) | Tegangan tembus (kV) |
|------------------------------|----------------------|
| 250 | 23,47 |
| 275 | 23,53 |
| 300 | 24,10 |
| 325 | 24,05 |
| 350 | 24,25 |

Dari analisis terhadap Tabel I dapat diketahui bahwa penambahan volume minyak kelapa tidak terlalu berpengaruh terhadap tegangan tembus dan bahwa minyak kelapa murni memiliki tegangan tembus yang masih di bawah standar pengujian tegangan tembus minyak, yaitu 30 kV/mm. Diperlukan pengolahan dan modifikasi untuk meningkatkan kekuatan dielektrik dari minyak kelapa agar layak digunakan sebagai isolasi pada peralatan tegangan tinggi.

B. Hasil Pengujian Pengaruh Penambahan Minyak Zaitun Terhadap Tegangan Tembus

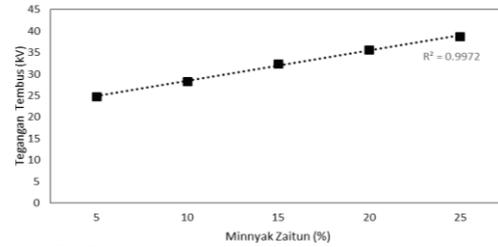
Data pengujian tegangan tembus elektroda standar dapat dilihat pada Tabel II.

TABLE II
DATA PENGARUH PENAMBAHAN MINYAK ZAITUN TERHADAP TEGANGAN TEMBUS

| Kuantitas minyak zaitun (ml) | Tegangan tembus (kV) |
|------------------------------|----------------------|
| 5 | 24,83 |
| 10 | 28,33 |
| 15 | 32,44 |
| 20 | 35,65 |
| 25 | 38,73 |

Dari data Tabel II tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan minyak zaitun pada minyak kelapa mengakibatkan kenaikan tegangan tembus. Dengan pencampuran sebesar 15% atau sebanyak 37,5 ml

minyak zaitun sudah didapatkan kelayakan isolasi penggunaan minyak kelapa pada peralatan tegangan tinggi, karena tegangan tembus tersebut berada di atas standar minimum 30 kV. Karakteristik dari Tabel II, menghasilkan tampilan grafik pada Gambar 7.



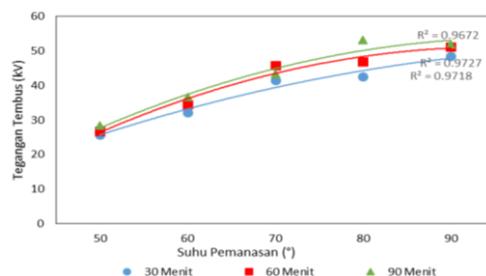
Gambar 7. Grafik pengaruh penambahan minyak zaitun terhadap tegangan tembus.

C. Hasil Pengujian Pengaruh Pemanasan terhadap Tegangan Tembus

Data pengaruh pemanasan tanpa campuran minyak zaitun terhadap tegangan tembus pada lama pemanasan 30 menit, 60 menit dan 90 menit ditunjukkan pada Tabel III, sedangkan grafik hubungan antara suhu pemanasan dan tegangan tembus ditunjukkan pada Gambar 8.

TABLE III
DATA PENGARUH PEMANASAN TANPA CAMPURAN MINYAK ZAITUN TERHADAP TEGANGAN TEMBUS PADA BERBAGAI LAMA PEMANASAN

| Lama Pemanasan | Suhu (°C) | Tegangan Tembus (kV) |
|----------------|-----------|----------------------|
| 30 menit | 50 | 25,80 |
| | 60 | 32,24 |
| | 70 | 41,49 |
| | 80 | 42,43 |
| | 90 | 48,47 |
| 60 menit | 50 | 26,87 |
| | 60 | 34,45 |
| | 70 | 45,86 |
| | 80 | 46,91 |
| | 90 | 51,15 |
| 90 menit | 50 | 28,33 |
| | 60 | 36,64 |
| | 70 | 43,21 |
| | 80 | 53,21 |
| | 90 | 51,85 |



Gambar 8. Grafik pengaruh pemanasan tanpa campuran minyak zaitun terhadap tegangan tembus pada lama pemanasan 30 menit, 60 menit dan 90 menit.

Tabel III dan Gambar 8 menunjukkan bahwa tegangan tembus pada minyak kelapa yang dipanaskan terlebih dahulu cenderung naik dan nilainya lebih tinggi jika dibandingkan dengan tegangan tembus pada minyak kelapa tanpa pemanasan (suhu ruang) atau yang disebut minyak kelapa murni. Semakin besar suhu pemanasan dan lama pemanasan, maka tegangan

tembus minyak kelapa juga semakin naik. namun dari pemanasan 60 menit ke 90 menit kenaikan tidak sebesar kenaikan dari pemanasan 30 menit ke 60 menit. Hal ini disebabkan karena struktur minyak sedikit telah rusak akibat pemaparan suhu yang tinggi dan tegangan tinggi yang telah sering dilakukan.

D. Pengaruh Penambahan Minyak Zaitun dengan Pemanasan terhadap Tegangan Tembus

TABLE IV
DATA HASIL PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS DENGAN PERSENTASE 5% MINYAK ZAITUN

| Suhu (°C) | Tegangan Tembus (kV) | | |
|-----------|----------------------|----------|----------|
| | 30 Menit | 60 Menit | 90 Menit |
| 50 | 28,81 | 29,51 | 30,35 |
| 60 | 33,84 | 35,07 | 36,16 |
| 70 | 42,15 | 43,54 | 44,88 |
| 80 | 47,31 | 48,39 | 48,17 |
| 90 | 47,19 | 48,84 | 47,44 |

TABLE V
DATA HASIL PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS DENGAN PERSENTASE 10% MINYAK ZAITUN

| Suhu (°C) | Tegangan Tembus (kV) | | |
|-----------|----------------------|----------|----------|
| | 30 Menit | 60 Menit | 90 Menit |
| 50 | 32,61 | 33,07 | 35,42 |
| 60 | 37,67 | 38,25 | 39,55 |
| 70 | 44,73 | 47,48 | 48,14 |
| 80 | 48,97 | 49,63 | 49,66 |
| 90 | 48,98 | 49,03 | 47,75 |

TABLE VI
DATA HASIL PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS DENGAN PERSENTASE 15% MINYAK ZAITUN

| Suhu (°C) | Tegangan Tembus (kV) | | |
|-----------|----------------------|----------|----------|
| | 30 Menit | 60 Menit | 90 Menit |
| 50 | 38,34 | 38,85 | 41,75 |
| 60 | 40,55 | 42,31 | 48,40 |
| 70 | 47,36 | 51,21 | 51,73 |
| 80 | 50,15 | 51,16 | 51,16 |
| 90 | 46,84 | 50,54 | 50,21 |

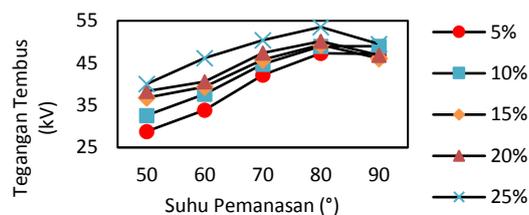
TABLE VII
DATA HASIL PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS DENGAN PERSENTASE 20% MINYAK ZAITUN

| Suhu (°C) | Tegangan Tembus (kV) | | |
|-----------|----------------------|----------|----------|
| | 30 Menit | 60 Menit | 90 Menit |
| 50 | 38,34 | 38,85 | 41,75 |
| 60 | 40,55 | 42,31 | 48,40 |
| 70 | 47,36 | 51,21 | 51,73 |
| 80 | 50,15 | 51,16 | 51,16 |
| 90 | 46,84 | 50,54 | 50,21 |

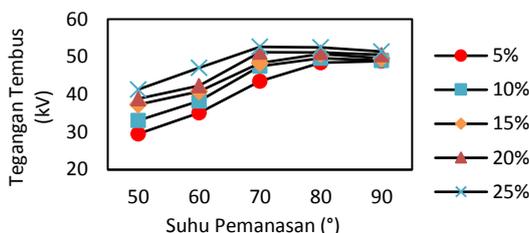
TABLE VIII
DATA HASIL PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS DENGAN PERSENTASE 25% MINYAK ZAITUN

| Suhu (°C) | Tegangan Tembus (kV) | | |
|-----------|----------------------|----------|----------|
| | 30 Menit | 60 Menit | 90 Menit |
| 50 | 40,03 | 41,31 | 43,94 |
| 60 | 46,19 | 47,11 | 50,00 |
| 70 | 50,38 | 52,63 | 54,01 |
| 80 | 53,53 | 52,51 | 51,24 |
| 90 | 49,47 | 51,38 | 50,48 |

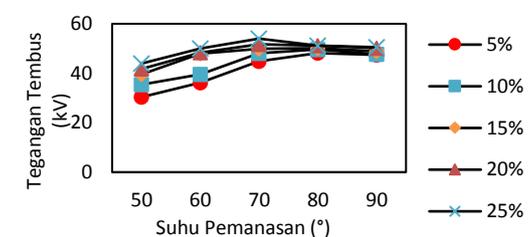
Berdasarkan Tabel IV-VIII, maka dapat dibuat grafik hubungan antara suhu pemanasan dan tegangan tembus.



Gambar. 9. Grafik tegangan tembus minyak kelapa berbagai presentase minyak zaitun sebagai fungsi suhu pemanasan selama 30 menit.



Gambar. 10. Grafik tegangan tembus minyak kelapa berbagai presentase minyak zaitun sebagai fungsi suhu pemanasan selama 60 menit.



Gambar. 11. Grafik tegangan tembus minyak kelapa berbagai presentase minyak zaitun sebagai fungsi suhu pemanasan selama 90 menit.

E. Rekapitulasi Presentase Perbandingan Tegangan Tembus Rata-rata Minyak Kelapa dengan Berbagai Cara Terhadap Minyak Kelapa Murni

TABLE IX
PERBANDINGAN KENAIKAN TEGANGAN TEMBUS DENGAN HANYA MENGGUNAKAN CAMPURAN MINYAK ZAITUN DAN DENGAN MENGGUNAKAN CAMPURAN MINYAK ZAITUN SERTA PEMANASAN

| Minyak Zaitun | Tegangan Tembus Terhadap Minyak Kelapa Murni | |
|---------------|--|--|
| | Hanya Menggunakan Campuran Minyak Zaitun | Menggunakan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan |
| 5% | 6% | 74% |
| 10% | 21% | 85% |
| 15% | 38% | 93% |
| 20% | 52% | 99% |
| 25% | 65% | 109% |

Dapat disimpulkan bahwa semakin naik suhu pemanasan, tegangan tembusnya semakin naik pula. Baik itu pada minyak zaitun dengan presentase 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Kenaikan terjadi dari suhu 50°C sampai 80°C, pada suhu pemanasan 90°C selama 90 menit, kenaikan tegangan tembus minyak terhenti. Namun akibat ditambahkannya campuran minyak zaitun ke dalam minyak kelapa tegangan tembusnya dari suhu 80 ke 90°C dapat stabil. Semakin banyak campuran minyak zaitun, tegangan tembusnya juga semakin naik. Begitu pula dengan semakin lama minyak

dipanaskan, tegangan tembusnya juga mengalami kenaikan, tapi tidak pada suhu pemanasan 90°C. Kenaikan tingkat persentase campuran minyak zaitun, suhu pemanasan dan lama pemanasan, diiringi dengan kenaikan tegangan tembus diakibatkan karena asam lemak jenuh dan kadar air pada minyak kelapa telah berkurang.

TABLE X
PERBANDINGAN KENAIKAN TEGANGAN TEMBUS DENGAN HANYA MENGGUNAKAN CAMPURAN MINYAK ZAITUN DAN DENGAN MENGGUNAKAN CAMPURAN MINYAK ZAITUN SERTA PEMANASAN

| Suhu | Tegangan Tembus Terhadap Minyak Kelapa Murni | |
|------|--|--|
| | Hanya dengan Pemanasan | Menggunakan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan |
| | 50°C | 15% |
| 60°C | 47% | 77% |
| 70°C | 85% | 105% |
| 80°C | 103% | 114% |
| 90°C | 115% | 101% |

Dari data di atas didapatkan presentase kenaikan tegangan tembus jika hanya menggunakan cara mencampurkan minyak zaitun (Tabel IX) adalah sebesar 6%- 65%. Jika hanya menggunakan cara pemanasan (Tabel X) didapatkan presentase kenaikan tegangan tembus sebesar 15%-115%. Dapat kita lihat bahwa pengaruh pemanasan lebih besar dari pada penambahan minyak zaitun terhadap tegangan tembus. Namun ketika dua cara tersebut digabungkan, perbandingan presentase kenaikan tegangan tembus antara cara pecampuran minyak zaitun saja dengan menggunakan campuran minyak zaitun dan pemanasan (Tabel IX) lebih tinggi dan stabil jika dibandingkan perbandingan presentase kenaikan tegangan tembus antara cara pemanasan saja dengan menggunakan campuran minyak zaitun dan pemanasan (Tabel X).

F. Perbandingan Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun, Minyak Kelapa dengan Pemanasan, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan serta Minyak Trafo

Berikut adalah tabel dan grafik perbandingan tegangan tembus minyak kelapa murni, minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun, minyak kelapa dengan pemanasan, minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun dan pemanasan serta minyak trafo. Data minyak yang ditampilkan dibawah ini adalah rata-rata semua sampel minyak yang diuji. Tabel akan dibagi berdasarkan dengan dan tanpa pemanasan.

TABLE XI
TEGANGAN TEMBUS MINYAK KELAPA MURNI, MINYAK KELASANAPA DENGAN CAMPURAN MINYAK ZAITUN DAN MINYAK TRAFOTANPA PEMANASAN

| Minyak Kelapa Murni | Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun | Minyak trafo |
|---------------------|---|--------------|
| 23.47 kV | 31.99 kV | 18.52 kV |

TABLE XII
TEGANGAN TEMBUS MINYAK KELAPA DENGAN PEMANASAN, MINYAK KELAPA DENGAN CAMPURAN MINYAK ZAITUN DAN PEMANASAN DAN MINYAK TRAFOTANPA PEMANASAN SELAMA 30 MENIT

| Suhu (°C) | Tegangan Tembus (kV) | | |
|-----------|---------------------------------------|---|------------------------------|
| | Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan | Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan | Minyak Trafo tanpa Pemanasan |
| 50 | 25,80 | 35,32 | 24,15 |
| 60 | 32,24 | 39,52 | 32,20 |
| 70 | 41,49 | 46,08 | 36,87 |
| 80 | 42,43 | 49,86 | 41,33 |
| 90 | 48,47 | 47,95 | 47,19 |

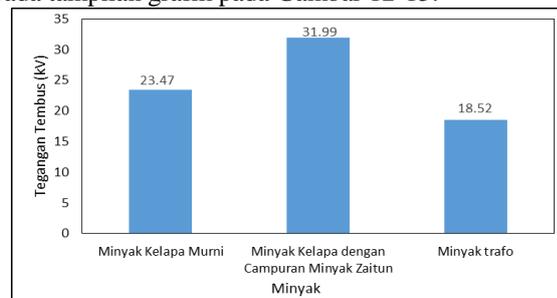
TABLE XIII
TEGANGAN TEMBUS MINYAK KELAPA DENGAN PEMANASAN, MINYAK KELAPA DENGAN CAMPURAN MINYAK ZAITUN DAN PEMANASAN DAN MINYAK TRAFOTANPA PEMANASAN SELAMA 60 MENIT

| Suhu (°C) | Tegangan Tembus (kV) | | |
|-----------|---------------------------------------|---|------------------------------|
| | Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan | Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan | Minyak Trafo tanpa Pemanasan |
| 50 | 28,87 | 36,01 | 26,03 |
| 60 | 34,45 | 40,71 | 34,90 |
| 70 | 45,86 | 48,64 | 38,02 |
| 80 | 46,91 | 50,49 | 42,48 |
| 90 | 51,15 | 48,02 | 48,18 |

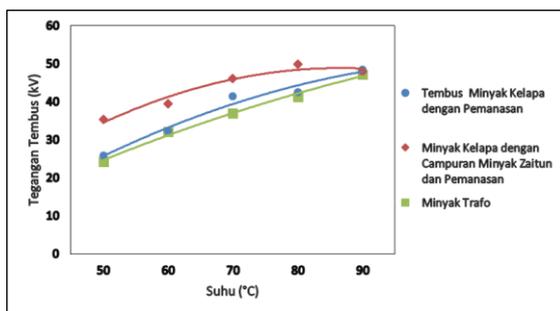
TABLE XIV
TEGANGAN TEMBUS MINYAK KELAPA DENGAN PEMANASAN, MINYAK KELAPA DENGAN CAMPURAN MINYAK ZAITUN DAN PEMANASAN DAN MINYAK TRAFOTANPA PEMANASAN SELAMA 90 MENIT

| Suhu (°C) | Tegangan Tembus (kV) | | |
|-----------|---------------------------------------|---|------------------------------|
| | Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan | Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan | Minyak Trafo tanpa Pemanasan |
| 50 | 28,33 | 38,20 | 28,98 |
| 60 | 36,64 | 44,40 | 36,57 |
| 70 | 43,21 | 49,73 | 40,48 |
| 80 | 53,21 | 50,07 | 44,23 |
| 90 | 53,18 | 46,75 | 49,02 |

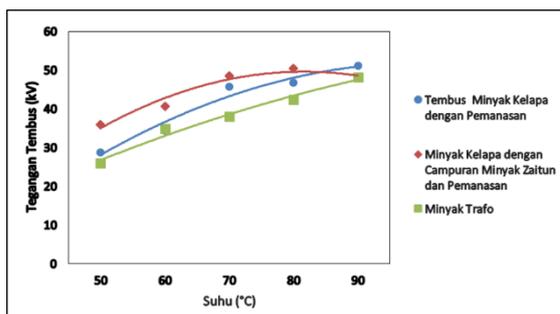
Untuk melihat karakteristik dari Tabel 11-14, dilihat pada tampilan grafik pada Gambar 12-15.



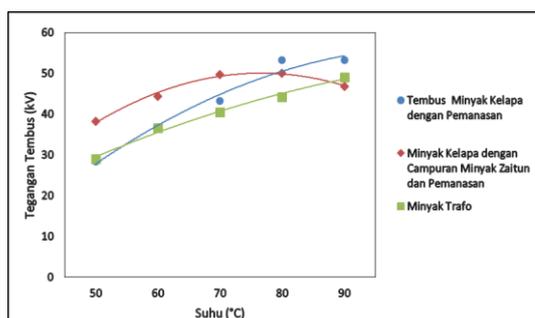
Gambar. 12. Grafik Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Minyak Trafo tanpa Pemanasan.



Gambar 13. Tegangan Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan dan Minyak Trafo dengan Pemanasan Selama 30 Menit.



Gambar 14. Tegangan Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan dan Minyak Trafo dengan Pemanasan Selama 60 Menit.



Gambar 15. Tegangan Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan dan Minyak Trafo dengan Pemanasan Selama 90 Menit.

Dari Tabel XI-XIV serta Gambar 12-15 di atas terlihat bahwa tegangan tembus minyak kelapa murni, minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun, minyak kelapa dengan pemanasan, minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun tidak kalah dengan minyak trafo. Secara umum tegangan tegangan tembus minyak kelapa yang diolah baik dengan pencampuran minyak zaitun dan pemanasan berbagai suhu lebih tinggi jika dibandingkan dengan minyak trafo. Tetapi jika dilihat dari gambar grafik 12-15 tegangan tembus dari minyak trafo lebih stabil mengalami kenaikan tegangan tembus. Tegangan tembus minyak trafo menurun di atas suhu 100°C. Minyak trafo memiliki titik nyala pada suhu 154°C, pada suhu di atas 100°C struktur kimia minyak trafo sudah mengalami perubahan sehingga kekuatan dielektrik atau tegangan tembusnya menurun. Tidak seperti minyak kelapa dengan pemanasan 90°C, tegangan tembusnya turun pada suhu tersebut.

G. Hasil Analisis Kandungan Asam Lemak Jenuh

Kandungan asam lemak jenuh bisa dihitung menggunakan rumus pencampuran sebagai berikut:

$$M_Z V_Z + M_K V_K = M_C V_C \quad (7)$$

Pada campuran 5% minyak zaitun:

$$0,158 \cdot 12,5 \text{ ml} + 0,91 \cdot 237,5 \text{ ml} = M \cdot 250 \text{ ml}$$

(2)

$$1,975 + 216,125 = 250 M \quad (2)$$

$$M = 0,8724 \quad (8)$$

$$M = 87,24 \% \quad (9)$$

Perhitungan untuk campuran 10%, 15%, 20% dan 25% sama seperti di atas menggunakan rumus (7), sehingga diperoleh Tabel 15.

| Minyak Zaitun (%) | Kadar Asam Lemak Jenuh (%) |
|-------------------|----------------------------|
| 5 | 87,24 |
| 10 | 83,48 |
| 15 | 79,72 |
| 20 | 75,96 |
| 25 | 72,20 |

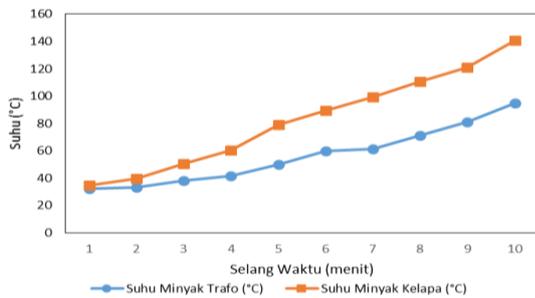
Dari hitungan analisis sederhana di atas, dapat kita simpulkan bahwa semakin banyak campuran minyak zaitun, kadar asam lemak jenuh semakin berkurang. Sebelum dicampur minyak zaitun, kadar asam lemak jenuh adalah sebesar 91%. Berdasarkan data hasil pengujian Tabel 2, semakin banyak campuran minyak zaitun, tegangan tembusnya semakin naik juga. Dapat diambil kesimpulan bahwa kandungan lemak jenuh sangat berpengaruh terhadap tingkat kegagalan atau tegangan tembus minyak. Makin banyak kandungan asam lemak jenuh, semakin sedikit atau pendek ikatan karbonnya, yang ditandai dengan semakin mudahnya proses pembekuan.

H. Hasil Pengujian Kadar Air

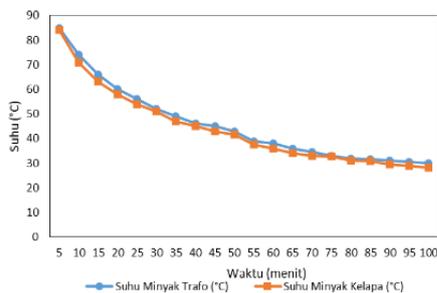
Kelapa murni mempunyai kadar air sebesar 2697 ppm. Penambahan minyak zaitun tidak menyebabkan kadar airnya berubah, namun ketika dipanaskan pada suhu 50°C selama 30 menit dan 90 menit kadar air berubah menjadi sebesar 1967 ppm dan 1762 ppm berturut-turut. Kadar air tersebut berkurang sebanyak 730 ppm pada 30 menit dan 935 ppm. Ketika dipanaskan pada suhu 90°C selama 30 menit dan 90 menit kadar air menjadi masing-masing sebesar 784 ppm dan 586 ppm. Berkurangnya kadar air tertinggi terjadi pada 25% minyak zaitun yang dipanaskan pada suhu 90°C selama 90 menit yaitu sebesar 361 ppm. Tetapi jika kita lihat hasil pengujian tegangan tembus, pada 25% minyak zaitun yang dipanaskan pada suhu 90°C selama 90 menit tegangan tembusnya malah turun, ini disebabkan karena struktur kimia minyak telah rusak karena pemaparan tegangan tinggi yang berulang kali dilakukan. Jika dilihat hasil penurunan kadar air sebesar 361 ppm, ini belum cukup untuk memenuhi standar kadar air. Kadar air maksimum yang diperbolehkan menurut JIS 2320 (Japanese Industrial Standard) adalah 50 ppm, sedangkan menurut standard BS 148: 1972 kandungan air maksimal adalah sebesar 35 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa jika dilihat kandungan air nya, maka

minyak kelapa yang telah diolah masih belum bisa menggantikan minyak trafo sebagai minyak isolasi yang telah jelas kandungan kadar airnya pasti jauh lebih sedikit.

I. Analisis Selang Waktu Kenaikan dan Penurunan Suhu Minyak



Gambar. 16. Grafik proses pemanasan minyak kelapa dan minyak trafo.



Gambar. 17. Grafik proses pendinginan minyak kelapa dan minyak trafo.

Dari grafik yang dihasilkan diketahui bahwa minyak kelapa lebih cepat menerima panas. dengan demikian terhadap besar sumber panas yang sama minyak trafo lebih dapat meredam panas dibandingkan minyak kelapa. Dengan demikian minyak trafo lebih baik dibandingkan minyak kelapa dalam pendinginan trafo,

Grafik proses pendinginan menunjukkan bahwa sifat pelepasan panas minyak kelapa tidak berbeda jauh dari minyak trafo.

J. Analisis Kelayakan Minyak Kelapa yang Telah Diolah sebagai Alternatif Isolasi Cair

Berdasarkan hasil pengujian kondisi standar pada minyak kelapa murni didapatkan nilai tegangan tembus 23,47 kV pada jarak sela 2,5 mm. Hal ini masih jauh dengan nilai standar yang ditetapkan oleh IEC 156 maupun SPLN 49-1. Berdasarkan IEC 156, nilai tegangan tembus yang harus dipenuhi untuk dapat digunakan sebagai isolasi cair harus berkisar 30 kV sampai 50 kV. Dari nilai tegangan tembusnya, minyak kelapa murni dapat digunakan sebagai alternatif isolasi cair untuk peralatan listrik dengan tegangan kerja 2,4 kV, berdasarkan standarisasi NESG (National Electrical Safety Code) tahun 2007 [9]. Maka dari itu dilakukan pengolahan lebih lanjut terhadap minyak kelapa. Dari hasil pengujian yang ada tegangan kerja meningkat menjadi 13,5 kV, sehingga dapat bekerja pada peralatan listrik dengan level tegangan kerja 0,75 kV - 13,2 kV.

IV. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

- Penambahan minyak zaitun tanpa pemanasan ke dalam minyak kelapa mempertinggi tegangan tembus dan mengurangi kandungan asam lemak jenuh.
- Berdasarkan hasil pengujian, kadar air minyak kelapa murni sebesar 2697 ppm, ketika ditambah 5% minyak zaitun kadar airnya tetap 2697 ppm, namun ketika ditambah 25% minyak zaitun, kadar air berkurang sebesar 156 ppm menjadi 2541 ppm. Ini masih sangat jauh jika dibandingkan dengan standar maksimu kadar air yang diizinkan, yaitu sebesar 50 - 75 ppm.
- Suhu pemanasan minyak tanpa campuran minyak zaitun mempengaruhi tegangan tembus. Tegangan tembus mengalami kenaikan sampai 127% dari tegangan tembus tanpa pemanasan.
- Semakin lama waktu pemanasan dan semakin tinggi suhu pemanasan minyaknya, maka kadar airnya semakin berkurang. Kadar air kelapa murni tanpa penambahan zaitun dan tanpa pemanasan yang sebelumnya sebesar 2697 ppm, ketika dipanaskan berkurang menjadi 361 ppm.
- Tegangan tembus minyak trafo dengan minyak kelapa murni tidak berbeda jauh dari yang sudah diolah. Minyak kelapa yang sudah diolah layak dijadikan bahan isolasi cair jika dilihat dari kekuatan dielektriknya. Hasil pengujian proses pemanasan minyak menunjukkan kapasitas panas jenis yang lebih rendah sehingga perlu dilakukan usaha kimia-fisik untuk mempertinggi kapasitas panas jenisnya agar bersifat lebih baik dalam menjalankan fungsinya sebagai pendingin pada trafo.

REFERENCES

- [1] M.H. Abderrazzaq and F., « Impact of Multi-Filtration Process on the Properties of Olive Oil as a Liquid Dielectric, » IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 19, no. 5, 2012, pp. 1673-1680.
- [2] B. S. H. M. S. Y. Matharage, M. A. R. M. Fernando, M. A. A. P. Bandara, G. A. Jayantha, and C.S. Kalpage, «Performance of Coconut Oil As An Alternative Transformer Liquid Insulation, » IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 20 no. 3, 2013, pp. 887-898.
- [3] A. Arismunadar. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta Timur: Ghalia Indonesia, 1983.
- [4] Muhaimin. *Bahan-bahan Listrik Untuk Politeknik*. Jakarta: Pradnya Paramita, 1999.
- [5] D.C. Abeysundara, J.R. Lucas, C. Weerakoon, and K.A.I. Gunatunga, « Coconut Oil Insulated Distribution Transformer» Prosiding 8th Annual Conference of the IEEE. Sri Lanka, 22 September 2001.
- [6] B.L. Tobing, *Dasar- Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2012.
- [7] D. Kind, Dieter, *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Bandung: ITB Bandung, 1993.
- [8] U.L.U. Baroroh, *Diktat Kimia Dasar 1*. Banjar Baru: Universitas Lampung Mangkurat, 2004.
- [9] IEEE C2. 2007. *National Electrical Safety Code*. Washington DC: Jefferson Country Public Library.