

ANALISIS KEKUATAN DIELEKTRIK MINYAK KEDELAI (*SOYBEAN OIL*) DENGAN VARIASI SUHU SEBAGAI ALTERNATIF MINYAK ISOLASI

Riel Adi Sitompul, Syahrawardi

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: riel_sitompul@yahoo.com

Abstrak

Minyak isolasi pada transformator digunakan sebagai bahan dielektrik maupun sebagai pendingin. Agar dapat menjalankan fungsinya sebagai minyak transformator dengan baik, maka minyak harus memiliki kekuatan dielektrik yang memenuhi standar. Kekuatan dielektrik pada minyak dapat dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain : tingkat oksidasi, kemurnian maupun umur minyak tersebut. Tulisan ini membahas tentang kekuatan dielektrik minyak kedelai untuk dijadikan sebagai minyak isolasi alternatif. Selain pengaruh suhu, pengujian dilakukan dengan mempertimbangkan waktu penyimpanan atau umur minyak untuk mengetahui tingkat kestabilan kekuatan dielektrik minyak terhadap waktu. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa apabila suhu minyak kedelai semakin tinggi maka kekuatan dielektriknya akan semakin turun. Selain itu, waktu penyimpanan minyak akan berpengaruh pada tingkat oksidasi minyak, sehingga dihasilkan zat – zat yang berpotensi menurunkan kekuatan dielektriknya. Kekuatan dielektrik minyak kedelai semakin turun berturut – turut dari bulan ke – 1, ke – 2 sampai bulan ke – 3.

Kata kunci : minyak kedelai, kekuatan dielektrik, suhu, lama penyimpanan

1. Pendahuluan

Bahan isolasi dibutuhkan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga antar bagian – bagian tersebut tidak terjadi hubungan singkat yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan itu sendiri. Salah satu diantara bahan isolasi tersebut adalah isolasi yang terdapat pada transformator yaitu minyak trafo. Selain berfungsi sebagai bahan dielektrik, minyak trafo juga berfungsi sebagai pendingin yang menyebarkan panas pada belitan – belitan transformator.

Selain mempunyai kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan dielektrik gas, dielektrik cair juga mempunyai kemampuan untuk memperbaiki diri sendiri jika terjadi suatu pelepasan muatan. Penggunaan minyak isolasi ini sangat luas, namun penggunaannya tak terlepas dari ketergantungan pada minyak bumi padahal persediaannya sudah semakin terbatas dan harganya yang relatif lebih mahal. Untuk itu minyak nabati sebagai sumberdaya yang dapat diperbaharui dapat menjadi salah satu solusi. Beberapa minyak organik sudah diteliti sebagai minyak isolasi alternatif, tetapi masih jarang digunakan karena sifatnya masih cenderung tidak stabil dan mudah teroksidasi sehingga kekuatan dielektriknya dapat

menurun secara signifikan. Salah satu minyak nabati yang layak untuk dipertimbangkan sebagai minyak isolasi alternatif adalah minyak kedelai.

Suatu gardu di Nebraska telah mencoba memanfaatkan minyak kedelai sebagai minyak isolasi pada transformator. Transformator tidak diisi dengan minyak yang berbahan baku minyak bumi sebagaimana yang digunakan pada umumnya, akan tetapi transformator diisi dengan minyak kedelai. Selain karena ramah lingkungan, minyak kedelai tidak mengandung bahan-bahan yang berbahaya jika terjadi tumpahan atau kebocoran dan juga lebih aman dari minyak mineral karena memiliki flash point yang relatif sangat tinggi [1].

2. Studi Pustaka

2.1. Minyak Isolasi

Minyak isolasi terbagi atas beberapa bagian berdasarkan bahan pembuatannya. Bahan isolasi cair yang sering digunakan pada trafo daya sebagai minyak isolasi adalah minyak mineral dan minyak sintesis. Sedangkan minyak isolasi dari minyak tumbuh-tumbuhan atau sering disebut minyak nabati merupakan minyak organik yang masih dikembangkan dan diteliti sebagai minyak alternatif.

2.2. Minyak Nabati

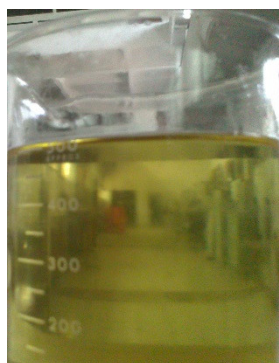
Minyak nabati merupakan minyak yang diperoleh dari hasil ekstraksi tumbuh-tumbuhan. Ada dua hal utama mengapa minyak isolasi dari tumbuh-tumbuhan layak untuk dipertimbangkan antara lain [1]:

- a. Minyak transformator tidak ramah lingkungan. Minyak ini dapat mengkontaminasi tanah dan saluran air jika terjadi tumpahan yang serius. Banyak transformator-transformator berada pada area dengan populasi yang padat, pusat perbelanjaan dan dekat saluran air.
- b. Produksi minyak bumi atau bahan bakar dari fosil yang akan semakin menipis dan diperkirakan akan terjadi kelangkaan pada pertengahan abad ke - 21. Maka minyak nabati adalah produk alam yang tersedia yang bisa dimanfaatkan untuk menggantikannya.

Salah satu minyak nabati yang layak dipertimbangkan sebagai minyak isolasi alternatif yaitu minyak kedelai. Minyak kedelai adalah minyak yang diperoleh dari pengolahan biji kedelai setelah melewati beberapa tahap. Minyak kedelai umumnya berwarna kuning. Untuk mengekstraksi minyak dari kacang kedelai dapat digunakan beberapa cara, salah satunya adalah dengan pengepresan mekanik. Adapun beberapa sifat fisis minyak kedelai antara lain [2]:

1. Memiliki titik lebur pada suhu 0,6 °C.
3. Titik tuangnya pada suhu -12 sampai -16 °C.
4. Tegangan Permukaan pada suhu 30 °C sebesar 27,6 dyne/cm.
5. Titik nyala mencapai suhu 324 °C.
6. Titik api mencapai suhu 360 °C.

Wujud fisis minyak kedelai ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Minyak Kedelai

2.3. Mekanisme Tembus Listrik Isolasi Cair

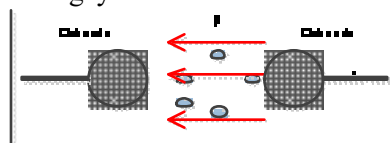
Kegagalan isolasi disebabkan oleh beberapa hal antara lain isolasi tersebut sudah lama dipakai sehingga kekuatan dielektriknya menjadi menurun. Tegangan pada isolator merupakan suatu tekanan yang harus dilawan oleh gaya dalam isolator itu sendiri agar isolator mampu melakukan tugasnya sebagai bahan isolasi. Ketika terpaan elektrik yang dipikul oleh bahan isolasi tersebut melebihi batas kemampuannya, maka pada bahan isolasi itu akan terjadi tembus listrik atau *breakdown*. Unsur-unsur yang terjadi dalam tembus listrik dielektrik cair antara lain [3]:

- a. Besar arus tergantung impedansi rangkaian pengujian
- b. Terlihat lintasan cahaya dari anoda ke katoda
- c. Terbentuk gelembung gas dan butir-butir zat padat hasil dekomposisi zat cair
- d. Terbentuk lubang pada elektroda
- e. Zat cair menderita tekan impulsif dan mengeluarkan suara letupan

Beberapa teori yang dibuat untuk menjelaskan tembus listrik isolasi pada benda cair yaitu :

1. Kegagalan Butiran Padat dalam Zat

Ketidakhayuan suatu isolasi cair dapat menurunkan nilai ketahanan dari tembus listrik dielektrik itu sendiri. Kegagalan butiran padat dalam zat cair ini dapat disebabkan oleh adanya zat atau partikel yang melayang pada benda cair seperti debu sehingga mengurangi kemurnian isolasi cair itu sendiri. Gambar 2 menunjukkan zat cair yang berisi butiran padat dan dikenai medan listrik, sehingga butiran padat mengalami gaya F.



Gambar 2 Butiran padat mengalami gaya F

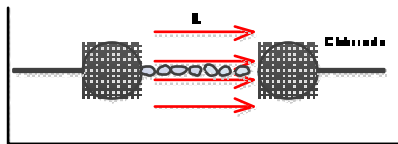
Jika ϵ_2 (permitivitas zat melayang) lebih besar dari ϵ_1 (permitivitas benda cair), maka gaya F akan searah dengan medan listrik E. Dan jika sebaliknya ϵ_2 lebih kecil dari ϵ_1 maka gaya F akan berlawanan dengan medan listrik E [3]. Apabila jumlah partikel tersebut banyak dan dikenai medan listrik, maka partikel tersebut akan membentuk semacam jembatan yang menghubungkan kedua elektroda sehingga berpotensi menyebabkan kegagalan isolasi.

2. Kegagalan gelembung

Kegagalan gelembung atau kavitasi merupakan bentuk kegagalan isolasi zat cair yang disebabkan oleh gelembung-gelembung gas di dalamnya. Gelembung gas pada dielektrik cair disebabkan oleh beberapa hal, yaitu [3]:

- a. Permukaan elektroda yang tidak rata sehingga ada kantong udara pada permukaan elektroda.
- b. Adanya benturan elektron sehingga terjadi produk baru berupa gas.
- c. Peluahan pada bagian yang runcing atau tidak teratur pada elektroda.
- d. Perubahan suhu dan tekanan cairan.

Bila E_g sama atau lebih besar dari batas medan ionisasi gas, maka akan terjadi lucutan pada gelembung. Hal ini akan mempercepat pembentukan gas karena dekomposisi zat cair. Karena dekomposisi zat cair, maka akan timbul gelembung-gelembung gas baru yang mengikuti arah medan listrik. Gelembung – gelembung gas mengikuti arah medan listrik, berbaris dan menyambung sehingga menjembatani kedua elektroda dan terjadi tembus listrik[3], seperti ditunjukkan Gambar3.



Gambar 3 Gelembung menjembatani elektroda

Kuat medan listrik (E_g) yang disebabkan oleh gelembung tersebut dinyatakan dengan Persamaan [4]:

$$E_g = \frac{3 \epsilon_1 E_0}{2 \epsilon_1 + 1} \dots\dots\dots(2)$$

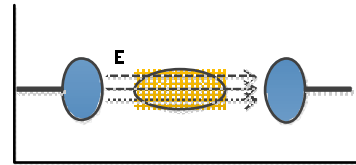
dimana:

- ϵ_1 : permitivitas minyak isolasi
- E_0 : medan listrik dalam minyak tanpa gelembung gas

3. Tembus Listrik Bola Cair

Jika suatu zat isolasi cair mengandung sebuah bola cair atau jenis cairan lain, maka dapat terjadi kegagalan akibat ketidakstabilan bola cair tersebut dalam medan listrik. Jika bola cair dikenai medan listrik, bola cair akan berbentuk lonjong (spheroid) dan akan memenuhi dua pertiga dari celah elektroda [3]. Perambatan ini akan menyebabkan tembus

listrik yang terjadi pada ujung butiran tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Tembus listrik bola cair

Jika butiran cairan diasumsikan berbentuk bola dengan jari-jari R (cm), medan kritis dimana butiran ini kehilangan kestabilannya dinyatakan dengan Persamaan [5]:

$$E = 487,7 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{R \epsilon_1}} \text{ V/cm} \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- ϵ_1 : permitivitas relatif zat cair
- σ : gaya tegang permukaan zat cair.
- R : jari-jari bola cair

2.4.Kekuatan Dielektrik

Bila elektroda diberi tegangan V, maka timbul medan elektrik (E) di dalam bahan isolasi. Medan elektrik ini memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Dengan kata lain, medan elektrik merupakan suatu beban yang menekan bahan isolasi agar berubah menjadi konduktor. Setiap bahan isolasi yang mempunyai batas kekuatan untuk memikul medan elektrik. Dalam hal ini disebut tembus listrik (*electrical breakdown*). Kuat medan elektrik tertinggi yang dapat dipikul suatu bahan isolasi tanpa menimbulkan bahan isolasi tersebut tembus listrik disebut kekuatan dielektrik [6]. Kekuatan dielektrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [3]:

$$E = \frac{V}{s \cdot \eta} \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

- E : Kuat medan elektrik yang dapat dipikul dielektrik (kV/cm)
- V : Tegangan tembus yang dibaca alat ukur (kV)
- s : Jarak sela elektroda (cm)
- η : Faktor efisiensi = f(p,q)
- p,q: karakteristik geometri elektroda

2.5.Degradasi Minyak Isolasi

Degradasi merupakan peristiwa pemburukan minyak isolasi sehingga kemampuannya untuk memikul tekanan elektrik semakin menurun. Pemakaian yang

berulang-ulang dalam jangka waktu yang lama tentu akan mempengaruhi kemampuannya sebagai media isolasi. Salah satu yang dapat menjadi penyebab degradasi adalah oksidasi akibat bereaksi dengan udara sekitar.

Jenis gas – gas yang dapat terkontaminasi dalam minyak isolasi antara lain [7]:

- Gas Atmosfirik: hidrogen, nitrogen, dan oksigen.
- Karbon Oksida: karbon monoksida dan karbondioksida.
- Hidro karbon : asetilena, etilena, metana, dan etana.

Faktor lainnya dapat disebabkan oleh busur api, panas dan faktor alami. Selain itu sifat korosif logam yang timbul pada kumparan transformator akibat bereaksi dengan udara akan mempengaruhi kemurnian minyak. Akibatnya akan terjadi pembentukan sedimen padat yang semakin banyak dari waktu ke waktu, sehingga kualitas dari minyak akan semakin menurun. Dengan demikian faktor degradasi minyak menjadi suatu hal yang sangat penting untuk diperhatikan agar persyaratannya sebagai minyak isolasi tetap memenuhi standar sehingga mencegah kerusakan pada transformator.

2.6.Pengaruh Waktu terhadap Komposisi Minyak

Minyak yang berasal dari ekstraksi tumbuh- tumbuhan atau minyak nabati secara umum mempunyai sifat yang rentan teroksidasi sehingga akan lebih mudah terdegradasi bila dibandingkan dengan minyak mineral. Hal ini dapat menyebabkan minyak nabati lebih mudah terurai sehingga minyak nabati lebih ramah lingkungan. Akan tetapi, sifatnya yang mudah teroksidasi akan menjadi kelemahan apabila digunakan pada transformator sebagai minyak isolasi karena dapat mengakibatkan kekuatan dielektriknya semakin buruk. Kerentanan minyak nabati terhadap oksidasi diakibatkan oleh struktur kimianya secara umum.

Pada umumnya, minyak nabati yang berwujud cair pada suhu ruangan mengandung ikatan rangkap C=C yang akan berikatan dengan oksigen (O) sehingga terjadi oksidasi. Semakin banyak ikatan rangkap C=C yang dimiliki molekul maka oksidasi akan semakin mudah terjadi yang pada akhirnya akan menghasilkan gel atau zat lain seperti aldehid, asam dan keton [8]. Seiring berjalannya waktu dan umur minyak bertambah lama, proses oksidasi dapat terus berlangsung. Akibatnya

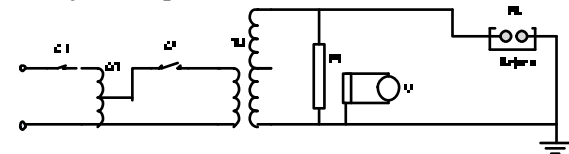
akan semakin banyak zat lain yang terkandung di dalam minyak sehingga komposisi minyak semakin lama akan berubah.

3. Metodologi Penelitian

Pada bagian ini akan dibahas mengenai proses untuk mendapatkan tegangan tembus minyak kedelai.

3.1.Rangkaian Pengujian

Rangkaian pengujian pengambilan data tegangan tembus minyak kedelai sesuai dengan variasi suhu yang dibutuhkan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

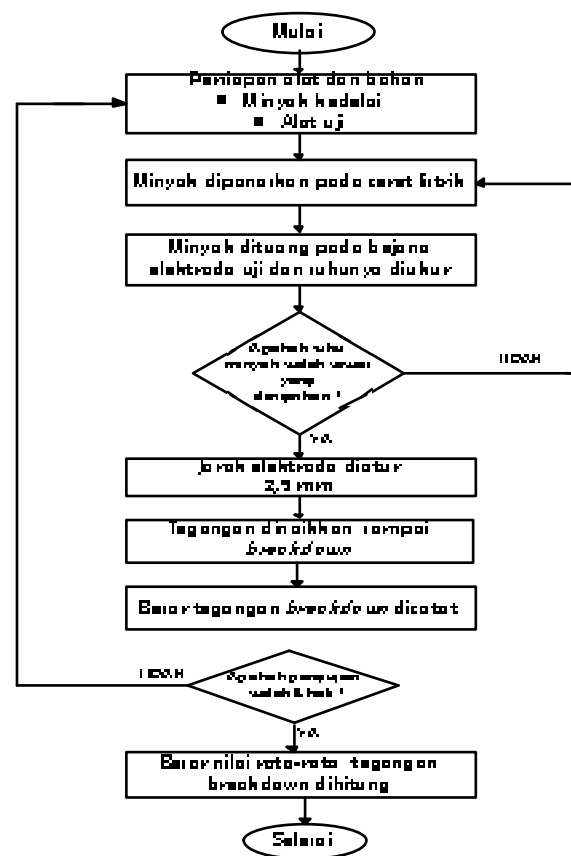


Gambar 5 Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus

S1 = Saklar 1 TU = Trafo uji
 S2 = Saklar 2 EB = Elektroda Bola
 PT =Potential Transformer AT =Autotrafo

3.2.Prosedur Pengujian

Adapun diagram alir pengambilan data adalah seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram alir pengambilan data

4. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1 menunjukkan rata-rata data hasil pengujian tegangan tembus minyak kedelai.

Tabel 1 Hasil Pengujian

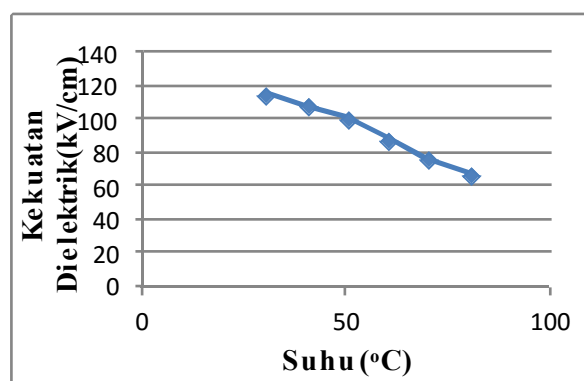
Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)		
	bulan ke-1	bulan ke-2	bulan ke-3
28,1	24,68	23,98	23,84
40	23,18	22,74	22,46
50	21,68	21,16	20,72
60	18,94	18,48	18,12
70	16,38	15,7	15,22
80	14,48	14,06	13,82

Dari data pengujian di atas dapat dihitung kekuatan dielektrik minyak kedelai dalam satuan kV/cm dengan Persamaan (3) sehingga diperoleh hasilnya seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Kekuatan Dielektrik Minyak

Suhu (°C)	Kekuatan Dielektrik (kV/cm)		
	bulan ke-1	bulan ke-2	bulan ke-3
28,1	116,14	112,84	112,18
40	109,08	107,01	105,69
50	102,02	99,57	97,50
60	89,12	86,96	85,27
70	77,08	73,88	71,62
80	68,14	66,16	65,03

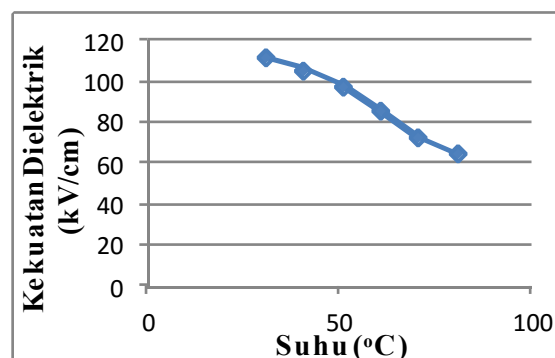
Data yang diperoleh dari hasil pengujian dan perhitungan kekuatan dielektrik minyak tersebut maka, dibuat dalam bentuk kurva kekuatan dielektrik minyak (kV/cm) Vs suhu minyak.



Gambar 7 Kurva Kekuatan Dielektrik terhadap Perubahan Suhu (Pengujian Bulan ke – 1)

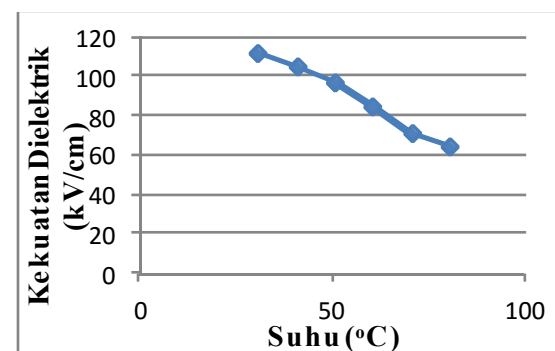
Dari kurva pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa suhu sangat memengaruhi kekuatan dielektrik minyak. Semakin tinggi suhu minyak, maka kekuatan dielektriknya akan

cenderung terdegradasi. Pada suhu 28,1 °C kekuatan dielektriknya adalah 116,14 kV/cm. Sementara pada suhu 80 °C turun menjadi 68,14 kV/cm.



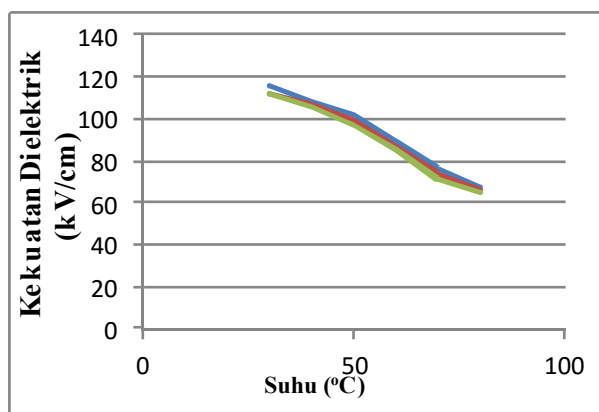
Gambar 8 Kurva Kekuatan Dielektrik terhadap Perubahan Suhu (Pengujian Bulan ke – 2)

Gambar 8 menunjukkan kekuatan dielektrik minyak kedelai pada bulan ke – 2. Kekuatan dielektriknya pada suhu 28,1 °C adalah 112,84 kV/cm dan pada suhu 80 °C adalah 66,16 kV/cm. Kekuatan dielektrik minyak pada bulan ke – 2 mengalami penurunan dibandingkan kekuatan dielektrik pada pengujian bulan ke – 1. Hal ini disebabkan minyak telah mengalami pemburukan seperti oksidasi maupun kontaminasi oleh zat lain sehingga kemurnian minyak mengalami perubahan.



Gambar 9 Kurva Kekuatan Dielektrik terhadap Perubahan Suhu (Pengujian Bulan ke – 3)

Kurva pada Gambar 9 menunjukkan kekuatan dielektrik minyak pada bulan ke – 3. Kekuatan dielektriknya pada suhu 28,1 °C adalah 112,18 kV/cm dan pada suhu 80 °C adalah 65,03 kV. Kekuatan dielektrik pada bulan ke – 3 kembali mengalami penurunan dibandingkan pada pengujian bulan ke – 2, namun penurunannya tidak terlalu signifikan karena karakteristik minyak cenderung sama dengan bulan ke – 2.



Gambar 10 Kurva Perubahan Kekuatan Dielektrik terhadap Perubahan Suhu dan Waktu

Gambar 10 menunjukkan perbandingan kekuatan dielektrik minyak setelah beberapa bulan pengujian. Dibandingkan bulan ke – 1, kekuatan dielektrik pada bulan ke – 2 mengalami penurunan. Namun penurunan kekuatan dielektrik minyak kedelai pada bulan ke – 3 dibandingkan dengan bulan ke – 2 tidak terlalu signifikan karena karakteristik minyak pada bulan ke – 2 dan ke – 3 cenderung lebih stabil.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Apabila suhu minyak kedelai semakin tinggi maka akan cenderung mendegradasi kekuatan dielektrik minyak. Kekuatan dielektrik minyak pada suhu 28,1 °C yaitu 116,14 kV/cm pada bulan ke – 1, 112,84 kV/cm pada bulan ke – 2 dan 112,18 kV/cm pada bulan ke – 3 dan turun pada suhu 80 °C yaitu 68,14 kV/cm pada bulan ke – 1, 66,16 kV/cm pada bulan ke – 2 dan 65,03 kV/cm pada bulan ke – 3.
2. Dari pengujian diperoleh apabila umur minyak semakin lama, maka kekuatan dielektriknya akan semakin menurun berturut – turut mulai dari bulan ke – 1, bulan ke – 2 sampai bulan ke – 3. Hal ini dapat dipengaruhi oleh kontaminasi dan oksidasi pada minyak, sehingga dihasilkan zat – zat yang cenderung menurunkan kekuatan dielektrik minyak itu sendiri.
3. Kekuatan dielektrik minyak kedelai paling tinggi yang diperoleh dari pengujian adalah 116,14 kV/cm.
4. Berdasarkan standar SPLN 49 – 1 : 1982 yaitu kekuatan dielektrik minyak isolasi yang dibutuhkan pada jarak elektroda 2,5 mm adalah 30 kV atau 120 kV/cm,

sehingga minyak kedelai belum memenuhi standar untuk dijadikan sebagai minyak isolasi alternatif.

6. Daftar Pustaka

- [1] Bashi S.M, U.U Abdullahi, Robia Yunus, Amir Nordin, “*Use Of Natural Vegetable Oils As Alternative Dielectric Transformer Coolants,*” University Putra Malaysia, 2006.
- [2] Hammon, Earl., Lawrence Johnson, Caiping Su, Tong Wang, Pamela White, “*Bailey’s Industrial Oil and Fat Products,*” Iowa State University, 2005..
- [3] L. Tobing, Bonggas, *Gejala Medan Tinggi*, Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara, 2005.
- [4] E. Kuffel, W.S Zaengl, J. Kuffel, *High Voltage Engineering Second Edition*, Butterworth-Heinemann, 2000.
- [5] Abduh, Syamsir, *Teknik Tegangan Tinggi : Teori Kegagalan Isolasi*, Jakarta, 2003.
- [6] L. Tobing, Bonggas, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, PT. Gelora Aksara Pratama, Jakarta, 2012.
- [7] Pranata S, Yustinus, “*Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) Dan Fuzzy Logic Pada Gardu Induk Wilayah Sidoarjo,*” Teknik Elektro Universitas Jember, 2012.
- [8] Cigre A2.35, *Experiences in Service with New Insulating Liquids*, Working Group, 2010.