

UJI KELAYAKAN MINYAK BIJI KETAPANG SEBAGAI BAHAN ISOLASI CAIR TRANSFORMATOR

Feasibility Test of Ketapang Seed Oil as Transformer Liquid Insulation

Julia Kamilatin^[1], Warindi^[1], I Made Ari Nrartha^[1]

¹ Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mataram. Jl. Majapahit 62, Mataram, 83125 Lombok, Indonesia

Email: juliakamilatin87@gmail.com

ABSTRAK

Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk merubah tegangan arus bolak-balik dari satu level ke level lainnya. Di dalam trafo khususnya trafo daya terdapat oli trafo yang berfungsi sebagai pendingin yang menyalurkan panas ke sirip trafo serta sebagai alat pemadam busur api jika terjadi percikan api pada lilitan trafo. Minyak transformator umumnya diperoleh dari minyak bumi yang semakin berkurang seiring berjalannya waktu dan kurang ramah lingkungan, sehingga diperlukan alternatif lain untuk mengatasinya. Penelitian kelayakan minyak biji ketapang sebagai bahan isolasi cair transformator bertujuan untuk mengetahui kelayakan minyak biji ketapang berdasarkan spesifikasi minyak trafo bekas yang diijinkan (SPLN 49-1: 1982 dan IEC 60296: 2012). Pengujian ini dilakukan dengan beberapa jenis pengujian yaitu pengujian kadar air, densitas, viskositas, dan pengujian tegangan tembus. Dari hasil pengujian diperoleh kadar air minyak biji ketapang 10 mg/kg, nilai densitas 0,921 gram/cm³, nilai viskositas 14,665 cSt dan nilai tegangan tembus 68,9 kV. Dari hasil tersebut, berdasarkan spesifikasi minyak isolasi cair transformator, minyak biji ketapang masih belum memenuhi standar dilihat dari nilai densitas minyaknya.

Kata kunci: Minyak biji ketapang, kadar air, densitas, viskositas, *breakdown stress*.

ABSTRACT

The transformer is an electrical equipment that functions to change the voltage of alternating current from one level to another. Inside the transformer, especially the power transformer, there is transformer oil which functions as a coolant which transmits heat to the fins of the transformer as well as an arc extinguisher in case of sparks in the transformer windings. Transformer oil is generally obtained from petroleum which is decreasing over time and is less environmentally friendly so that other alternatives are needed to overcome it. This research on the feasibility of ketapang seed oil as a liquid transformer insulating material is intended to determine the feasibility of ketapang seed oil based on the permitted used transformer oil specifications (SPLN 49-1: 1982 and IEC 60296: 2012). This test is carried out by several types of tests, namely testing the moisture content, density, viscosity, and testing the oil breakdown stress. From the test results, it was obtained that the water content of ketapang seed oil was 10 mg/kg, the density value was 0,921 gram/cm³, the viscosity value was 14,665 cSt and the breakdown stress value was 68,9 kV. From these results, based on the new transformer liquid insulating oil specifications, ketapang seed oil still does not meet the standards seen from the density value of the oil.

Key words: *Ketapang seed oil, moisture content, density, viscosity, breakdown stress.*

PENDAHULUAN

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan, serta mengubah besarnya tegangan listrik dari sisi primer ke sisi sekunder yang dilengkapi dengan bahan isolasi. Pada transformator khususnya transformator daya, isolasi sangat diperlukan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar

listrik yang bertegangan sehingga antara penghantar-penghantar tersebut tidak terjadi lompatan atau percikan listrik. Apabila tegangan yang diterapkan mencapai tingkat ketinggian tertentu maka bahan isolasi tersebut akan mengalami pelepasan muatan yang merupakan bentuk kegagalan listrik.

Isolasi cair yang berasal dari minyak bumi kurang ramah lingkungan, ada dua alasan yang harus dipertimbangkan dalam rangka mencari alternatif isolasi cair ramah lingkungan diantaranya yang pertama yaitu isolasi cair yang berasal dari minyak bumi sangat sulit terdegradasi secara biologis sedangkan minyak nabati dapat terdegradasi secara sempurna dan yang kedua yaitu produk minyak bumi sewaktu-waktu semakin berkurang dan dibutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkannya lagi sedangkan minyak nabati persediaannya sangat melimpah. Untuk mengatasi masalah tersebut, perlu dimanfaatkan sumber minyak nabati untuk menjamin ketersediaan bahan isolasi transformator. Beberapa contoh minyak nabati diantaranya adalah minyak jarak pagar, minyak nilam, dan minyak biji ketapang.

Selama ini biji ketapang kurang begitu dimanfaatkan sehingga nyaris terbuang begitu saja. Biji ketapang yang terbuang sebenarnya dapat dimanfaatkan secara lebih luas mengingat dalam biji ketapang tersebut terkandung minyak yang cukup banyak yaitu 56,66% [1]. Didalam biji ketapang mengandung asam palmitat (27,9%), palmitoleat (8,6%), stearat (4,3%), oleat (38,0%) dan linoleat (21,0%). Asam lemak yang dominan adalah asam oleat, asam linoleat, asam palmitat dan asam stearat. Komposisi asam oleat dan asam linoleat sebagai asam lemak tak jenuh jumlahnya relatif besar (sekitar 60,41%), sementara asam lemak yang tersisa yaitu asam lemak jenuh berupa asam palmitat dan asam stearat dengan jumlah yang relatif lebih kecil [2]. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka perlu dilakukan pengujian terhadap minyak biji ketapang untuk mengetahui kelayakan minyak biji ketapang sebagai bahan isolasi cair dengan melakukan pengujian kadar air, massa jenis, viskositas dan pengujian tegangan tembus minyak.

TINJAUAN PUSTAKA

a. Transformator

Transformator merupakan suatu alat magnetoelektrik yang sederhana, andal, dan efisien untuk mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain. Transformator memiliki beberapa bagian yang mempunyai fungsi masing-masing antara lain inti besi, kumparan

trafo, bushing, pendingin dan konservator [3].

a.1. Inti Besi

Inti besi digunakan sebagai media mengalirnya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain.

a.2. Belitan Trafo

Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnetik.

a.3. Bushing

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator.

a.4. Pendingin

Minyak isolasi trafo selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip-sirip radiator.

a.5. Konservator

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada trafo, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu.

b. Isolasi Cair

Isolator adalah bahan yang dipakai untuk menjalankan tugasnya mengisolasi di dalam rangkaian listrik. Bahan ini mempunyai sifat atau kemampuan untuk dapat memisahkan secara elektris dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan sehingga tidak terjadi kebocoran arus atau dalam gradien yang tinggi tidak terjadi loncatan api (*flashover*) [4].

c. Sifat-Sifat Fisika Isolator Minyak

c.1. Sifat Fisika

a. Massa jenis (*Specific mass*)

- b. Kekentalan (*Viscosity*)
 - c. Titik nyala (*Flash point*)
 - d. Titik tuang (*Pour point*)
- c.2. Sifat Kimia
- a. Kandungan asam
 - b. Kandungan gas
 - c. Kandungan air
- c.3. Sifat Listrik
- a. Tegangan tembus (*Breakdown voltage*)
 - b. Tahanan jenis (*Resistivity*)
 - c. Faktor kebocoran dielektrik (*Dielectric dissipation factor*)
- d. Minyak Transformator

Minyak transformator merupakan media isolasi dan pendingin pada transformator. Agar fungsi tersebut dapat bekerja maksimal maka kualitas dari minyak transformator tersebut harus dijaga sebaik mungkin. Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagai bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan [5].

Tabel 1. Spesifikasi minyak isolasi cair baru transformator [6,7]

| No | Parameter Uji | Nilai | Standar |
|----|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| 1 | Tegangan Tembus | $\geq 30\text{kV}/2.5\text{mm}$ | SPLN 49-1: 1982 |
| 2 | Viskositas (<i>Viscosity</i>) 20 °C | $\leq 40 \text{ cSt}$ | SPLN 49-1: 1982 |
| 3 | Berat Jenis (<i>Density</i>) 20 °C | $\leq 0,895 \text{ gr/cm}^3$ | SPLN 49-1: 1982 |
| 4 | Kandungan Air | $\leq 30 \text{ mg/kg}$ | IEC 60296:2012 |

e. Bahan dasar minyak transformator

Bahan dasar pembuatan minyak transformator adalah minyak mentah (*crude oil*). Namun pabrik-pabrik pembuat minyak transformator menambah zat-zat tertentu untuk mendapatkan kualitas dielektrik yang lebih baik. Pada umumnya minyak transformator tersusun atas

senyawa-senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon.

a.1. Senyawa Hidrokarbon

Senyawa hidrokarbon adalah senyawa kimia yang terdiri dari unsur-unsur hidrogen dan karbon. Senyawa hidrokarbon yang merupakan bagian terbesar dari minyak dapat dibagi atas tiga kelompok besar yaitu senyawa parafin, senyawa naphtena, dan senyawa aromatik.

a.2. Senyawa Non Hidrokarbon

Unsur pokok nonhidrokarbon yang terdapat dalam minyak transformator adalah substansi asphalt/tar, senyawa organik yang mengandung belerang dan nitrogen, asam naphtena, ester, alkohol serta senyawa organometalik.

f. Minyak biji ketapang

Biji ketapang (*Terminalia Catappa L.*) adalah salah satu jenis pohon tropis dan merupakan pohon pantai dengan daerah penyebarannya cukup luas. Selain tumbuh secara liar di pantai, pohon ini sering ditanam sebagai pohon peneduh di dataran rendah. Oleh karena itu pohon ketapang juga ditanam sebagai pohon hias di kota-kota.

Beberapa penelitian telah dilakukan terhadap biji *Terminalia catappa* dan diperoleh kandungan minyak dalam jangka pendek (583,0 g/kg bahan kering) sebanding dengan minyak sayur lainnya seperti kacang tanah, rapeseed, dan bunga matahari [8]. Penelitian lain menunjukkan bahwa biji benih tanaman ini mengandung minyak mentah dalam jumlah besar 60 g/100 g biji ketapang [9]. Kandungan asam lemak utama adalah asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA), asam oleat (C18:1), dan asam lemak tak jenuh ganda (PUFA), asam linoleat (C18:2), masing-masing 32,4% dan 30,3% [10].

Adapun sifat fisik dan sifat kimia minyak biji ketapang menurut penelitian sebelumnya yang telah dilakukan ialah berbau harum seperti bau kacang, berwarna kuning jernih, tidak larut dalam air, larut dalam alkohol dan eter, mempunyai berat jenis sebesar 0,906 g/mL, mempunyai viskositas sebesar 0,144 poise, mempunyai angka penyabunan 184,903 mg KOH/gram minyak, mempunyai angka asam 3,286 mg KOH/gram minyak, nilai kekeruhan

3,517 NTU, mempunyai angka peroksida 1,983 meq/gram minyak [11].

Berdasarkan beberapa penelitian, yield maksimum yang diperoleh dari minyak ketapang yang diperoleh dengan metode sokletasi adalah sebesar 54,22-60,45% [10]. Metode lain untuk memperoleh minyak ketapang adalah dengan *bligh and dyer* yang memperoleh yield sebesar $47,3 \pm 1,25$ % [2]. Sedangkan dengan metode maserasi, yield maksimum yang diperoleh sebesar 49% dan 51% dengan perbedaan kondisi dimana salah satunya dilakukan pengadukan dalam temperatur yang sama. Proses pengadukan tidak mempengaruhi % yield yang diperoleh karena diperolehnya hasil yang tidak jauh berbeda pada kedua percobaan [10].

Ekstraksi minyak dengan metode sokletasi menghasilkan lebih banyak minyak dibandingkan dengan metode *bligh and dyer* [2]. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa dengan metode sokletasi, 100 gram biji ketapang diperoleh 49-65 mL minyak ketapang [12].

METODOLOGI

a. Alat dan Bahan Penelitian

a.1. Ekstraksi dan pemurnian sampel (minyak biji *ketapang*)

- a. Alat : Satu set alat sokletasi (kondensor, tabung filter, tabung boiler, dan pemanas), satu set alat evaporasi (vacum, respiratory evaporator), oven, gelas kimia (Aprox 500 ml), botol kimia (500 ml), neraca analitik dan blender.
- b. Bahan : Biji Ketapang, pelarut n-heksana, kertas saring, dan batu didih.

a.2. Pengujian kadar air

- a. Alat : Desikator, gelas kimia (Aprox 100 ml), oven (merek memmert) dan neraca analitik (electronic balance GRAINS).
- b. Bahan : Minyak biji ketapang dan minyak trafo.

a.3. Pengujian massa jenis

- a. Alat : Piknometer (Aprox 5 ml in 20oC) dan neraca analitik (electronic balance GRAINS).
- b. Bahan : Minyak biji ketapang dan minyak trafo.

a.4. Pengujian viskositas

- a. Alat : Viskometer
- b. Bahan : Minyak biji ketapang, minyak trafo dan air.

a.5. Pengujian Tegangan Tembus

- a. Alat : Satu set alat uji tegangan tembus (merek : BAUR DPA 75C version 17.09.2020, tegangan input 90-264 V (50/60 Hz), tegangan output 0-75 kV dengan rentang temperature 0-99°C), sarung tangan dan kain lap.
- b. Bahan : Minyak biji ketapang dan minyak trafo.

b. Prosedur Penelitian

b.1. Ekstraksi dan pemurnian minyak biji ketapang

Ekstraksi dan pemurnian minyak biji ketapang dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar Universitas Mataram secara sokletasi dan evaporasi dengan cara mengeringkan biji ketapang kedalam oven dengan suhu 103°C selama 30 menit kemudian biji ketapang dihaluskan menggunakan blender, biji ketapang yang sudah halus ditimbang sebanyak 75 gram kemudian dibungkus dengan kertas saring dan dimasukkan kedalam tabung filter. Pelarut n-heksana dituangkan ke tabung boiler sebanyak 500 mL, kemudian merangkai alat sokletasi dan ON-kan alat. Proses sokletasi dilakukan selama 6 jam. Hasil minyak dan pelarut dari proses sokletasi dipisahkan menggunakan evaporator.

b.2. Pengujian kadar air

Pengujian kadar air dilakukan dengan cara menimbang berat wadah kosong, memasukkan sampel kedalam wadah kemudian ditimbang, sampel dipanaskan kedalam oven dengan suhu 103°C selama 30 menit kemudian wadah didinginkan dalam desikator lalu ditimbang dan dicatat nilainya. Kadar air ditentukan dengan Persamaan 1 [13].

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W} \times 100\% \quad 1$$

Dimana W, W₁, dan W₂ adalah berat wadah kosong (gram), berat wadah dengan sampel (gram), dan berat sampel setelah di panaskan (gram).

b.3. Pengujian Massa Jenis

Pengujian massa jenis minyak dilakukan dengan cara menimbang piknometer kosong, memasukkan sampel kedalam piknometer sampai pipa kapiler terisi penuh dan tidak adanya gelembung. Piknometer yang berisi sampel ditimbang bobotnya. Massa jenis dihitung dengan Persamaan 2 [13].

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad 2$$

Dimana ρ , V , m_1 , dan m_2 adalah massa jenis (g/cm^3), volume piknometer (cm^3), berat piknometer kosong (gram), dan berat piknometer yang diisi sampel (gram).

b.4. Pengujian Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan dengan cara memasukkan sampel kedalam viskometer pada suhu 20°C . Waktu yang dibutuhkan sampel mengalir dicatat kemudian viskositas dihitung menggunakan Persamaan 3 [14].

$$\pi = \pi_o \times \frac{t \times \rho}{t_o \times \rho_o} \quad (\text{cP}) \quad 3$$

Dimana π , π_o , t , t_o , ρ , dan ρ_o adalah viskositas cairan sampel (cP), viskositas cairan pembanding (cP), waktu aliran cairan sampel (s), waktu aliran cairan pembanding/air (s), massa jenis sampel (g/cm^3), dan massa jenis pembanding (g/cm^3).

b.5. Pengujian Tegangan Tembus

Alat uji tegangan tembus yang digunakan adalah BAUR DPA 75C version 17.09.2020, tegangan input 90-264 V (50/60 Hz), tegangan output 0-75 kV dengan rentang temperature $0-99^\circ\text{C}$. Dalam melakukan pengujian tegangan tembus dilakukan dengan cara mengatur jarak sela elektroda uji sebesar 2,5 mm, sampel minyak sebanyak 350 mL dituangkan kedalam kotak uji, kemudian mengatur standar pengukuran yaitu IEC 60156:1995, tunggu hingga terjadi tembus listrik. Setelah terjadi tembus listrik sampel didiamkan selama 5 menit dan pengujian diulang sebanyak 6 kali.



Gambar 1. Alat uji tegangan tembus

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai uji kelayakan minyak biji ketapang ini meliputi beberapa jenis pengujian yaitu pengujian kadar air, massa jenis, viskositas dan pengujian tegangan tembus minyak biji ketapang lalu dibandingkan dengan minyak trafo merek Nynas. Sampel minyak biji ketapang sendiri dihasilkan dari proses ekstraksi dan pemurnian menggunakan alat sokletasi dan evaporasi, sedangkan minyak trafo yang diuji adalah minyak trafo terpakai dari Gardu Induk Ampenan Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengatur Beban (UP3B) Mataram.

a. Pengujian Kadar Air

Kadar air isolasi minyak merupakan suatu ukuran banyaknya air yang terkandung dalam isolasi minyak tersebut. Pengujian kadar air minyak biji ketapang ini dilakukan di Laboratorium Kimia Lanjut Fakultas MIPA Universitas Mataram. Nilai kadar air dapat dihitung dengan Persamaan 1. Adapun hasil pengujian kadar air minyak biji ketapang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian kadar air minyak biji ketapang sebelum perlakuan

| Pengujian | Hasil pengukuran | | | Kadar air (%) |
|-----------|------------------|-----------|-----------|---------------|
| | W (gram) | W1 (gram) | W2 (gram) | |
| 1 | 36,38 | 67,54 | 67,12 | 1,35 |
| 2 | 36,36 | 67,56 | 67,13 | 1,38 |
| 3 | 36,37 | 67,63 | 67,20 | 1,37 |

Pada pengujian kadar air ini dilakukan sebanyak tiga kali agar hasil yang diperoleh lebih tepat. Hasil pengujian kadar air yang diperoleh masih dalam satuan persen, oleh karena itu harus dikonversi kedalam satuan mg/kg. Tabel 3 menunjukkan kadar air minyak biji ketapang sebelum perlakuan, data dari Tabel 2.

Tabel 3. Hasil perhitungan kadar air minyak biji ketapang sebelum perlakuan

| Pengujian | Kadar air (%) | Kadar air (mg/kg) |
|-----------|---------------|-------------------|
| 1 | 1,35 | 13.500 |
| 2 | 1,38 | 13.800 |
| 3 | 1,37 | 13.700 |
| Rata-rata | 1,36 | 13.660 |

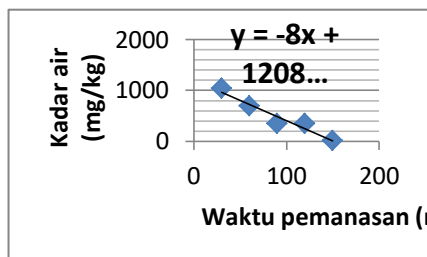
Standar deviasi kadar air = 124,899 mg/kg

Dari hasil perhitungan kadar air minyak biji ketapang sebelum perlakuan diperoleh bahwa nilai rata-rata dengan tiga kali pengujian sebesar 1,36% atau 13.660 mg/kg minyak biji ketapang. Berdasarkan standar IEC 60296:2012 menyebutkan bahwa kadar air yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah ≤ 30 mg/kg. Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai kadar air dari minyak biji ketapang sebelum perlakuan masih belum memenuhi standar yang ditetapkan oleh IEC 60296:2012.

Pada pengujian kadar air minyak biji ketapang sebelum perlakuan didapatkan nilai kadar air yang masih belum memenuhi spesifikasi standar isolasi cair baru transformator, maka dari itu perlu dilakukan treatment tambahan agar kadar air minyak biji ketapang dapat memenuhi spesifikasi standar isolasi cair baru transformator. Untuk mengurangi kadar air dilakukan pemanasan minyak biji ketapang pada temperatur 105°C. Hasil pengujian kadar air setelah perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian kadar air minyak biji ketapang setelah perlakuan

| Lama waktu pemanasan (menit) | Kadar air (mg/kg) |
|------------------------------|-------------------|
| 30 | 1.040 |
| 60 | 690 |
| 90 | 350 |
| 120 | 350 |
| 150 | 10 |



Gambar 2. Grafik persamaan regresi lama waktu pemanasan dengan kadar air

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu pemanasan

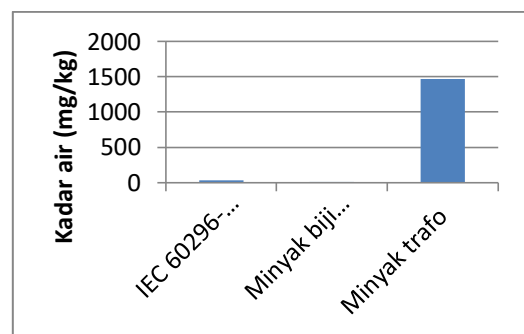
maka minyak biji ketapang yang diujikan mempunyai kecenderungan mengalami penurunan kadar air. Harga t tabel terhadap waktu pengujian adalah 0,878 untuk taraf kesalahan 5% dan 0,959 untuk taraf kesalahan 1%. Koefisien korelasi $r = -0,9701$ lebih kecil dari t tabel 1% dan 5%, maka dapat disimpulkan bahwa lama waktu pemanasan memiliki hubungan sempurna negatif namun tidak signifikan terhadap penurunan kadar air. Koefisien determinasi $r^2 = 0,9411$ hal ini berarti penurunan kadar air 94,11% ditentukan oleh lama waktu pemanasan, sedangkan sisanya 5,89% ditentukan oleh faktor lain seperti suhu pemanasan dan juga penguapan dalam ruangan.

Sebagai perbandingan kadar air minyak biji ketapang dilakukan pengujian terhadap minyak trafo merek Nynas yang diperoleh dari Gardu Induk Ampenan Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengatur Beban (UP3B) Mataram. Adapun hasil pengujian kadar air minyak trafo terpakai dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian kadar air minyak trafo terpakai

| Uji ke | Hasil pengukuran | | | Kadar air (%) | Kadar air (mg/kg) |
|--------|------------------|-----------|-----------|---------------|-------------------|
| | W (gram) | W1 (gram) | W2 (gram) | | |
| 1 | 27,05 | 44,19 | 44,16 | 0,175 | 1.750 |
| 2 | 35,12 | 50,91 | 50,89 | 0,126 | 1.260 |
| 3 | 36,36 | 50,59 | 50,57 | 0,140 | 1.400 |
| Rerata | 32,843 | 48,563 | 48,54 | 0,147 | 1.470 |

Standar deviasi kadar air = 206,074 mg/kg



Gambar 3. Grafik perbandingan kadar air

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai kadar air minyak biji ketapang setelah perlakuan lebih rendah dibandingkan dengan minyak trafo terpakai. Sehingga dapat dikatakan bahwa minyak biji ketapang layak untuk dijadikan sebagai bahan isolasi cair transformator jika dilihat dari nilai kadar airnya.

b. Pengujian Massa Jenis

Massa jenis merupakan pengukuran massa setiap satuan volum benda. Pengujian massa jenis minyak biji ketapang dilakukan di Laboratorium Kimia Lanjut Fakultas MIPA Universitas Mataram. Nilai massa jenis dapat dihitung dengan Persamaan 2. Adapun hasil pengujian massa jenis minyak biji ketapang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian massa jenis minyak biji ketapang sebelum perlakuan

| Uji ke | Hasil Pengukuran | | | | Massa jenis (gram/cm ³) |
|--------|-------------------|---------|---------|------------|-------------------------------------|
| | V cm ³ | m1 gram | m2 gram | m2-m1 gram | |
| 1 | 5 | 12,62 | 17,23 | 4,61 | 0,922 |
| 2 | 5 | 12,62 | 17,22 | 4,60 | 0,920 |
| 3 | 5 | 12,62 | 17,22 | 4,60 | 0,920 |
| 4 | 5 | 12,62 | 17,22 | 4,60 | 0,920 |
| 5 | 5 | 12,62 | 17,23 | 4,61 | 0,922 |
| 6 | 5 | 12,62 | 17,23 | 4,61 | 0,922 |
| Rerata | 5 | 12,62 | 17,22 | 4,605 | 0,921 |

Standar deviasi massa jenis = 0,001 gram/cm³

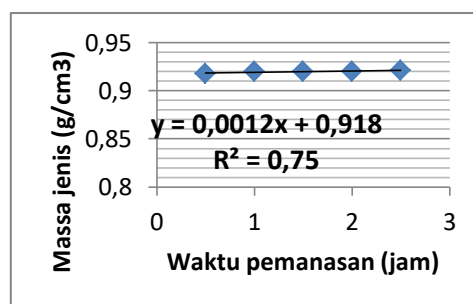
Dari hasil pengujian massa jenis minyak biji ketapang diperoleh bahwa nilai rata-rata dengan enam kali pengujian sebesar 0,921 gram/cm³. Berdasarkan satandar SPLN 49-1:1982 menyebutkan bahwa massa jenis yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah $\leq 0,895$ gram/cm³. Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai massa jenis dari minyak biji ketapang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan standar yang ditetapkan oleh SPLN 49-1: 1982, yakni terdapat selisih 0,026 gram/cm³.

Pada pengujian massa jenis minyak biji ketapang sebelum perlakuan didapatkan nilai massa jenis yang masih belum memenuhi spesifikasi standar isolasi cair baru transformator, maka dari itu perlu dilakukan treatment tambahan dengan dilakukan pemanasan pada suhu 105°C untuk melihat pengaruh lama waktu pemanasan terhadap massa jenis minyak biji ketapang. Adapun hasil massa jenis minyak biji ketapang setelah perlakuan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian massa jenis minyak biji ketapang setelah perlakuan

| Lama waktu pemanasan (jam) | Massa jenis (gram/cm ³) |
|----------------------------|-------------------------------------|
| 0,5 | 0,918 |
| 1 | 0,920 |
| 1,5 | 0,920 |
| 2 | 0,920 |

| | |
|-----|-------|
| 2,5 | 0,921 |
|-----|-------|



Gambar 4. Grafik persamaan regresi lama waktu pemanasan dengan massa jenis

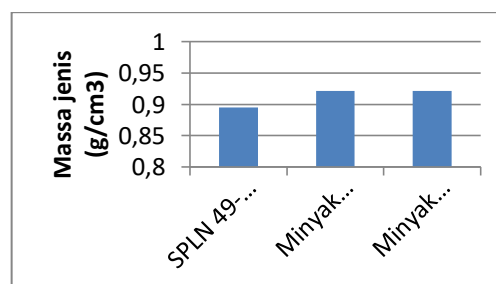
Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu pemanasan maka minyak biji ketapang yang diujikan massa jenisnya cenderung tidak berubah. Koefisien korelasi $r = 0,293$, maka dapat disimpulkan bahwa massa jenis minyak tidak terlalu berpengaruh terhadap lama waktu pemanasan.

Sebagai perbandingan massa jenis minyak biji ketapang dilakukan pengujian terhadap minyak trafo merek Nynas yang diperoleh dari Gardu Induk Ampenan Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengatur Beban (UP3B) Mataram. Adapun hasil pengujian massa jenis minyak trafo terpakai dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengujian massa jenis minyak trafo terpakai

| Uji ke | Hasil pengukuran | | | m1-m2 gram | Massa Jenis (gram/cm ³) |
|--------|-------------------|---------|---------|------------|-------------------------------------|
| | V cm ³ | m1 gram | m2 gram | | |
| 1 | 5 | 12,62 | 17,22 | 4,60 | 0,920 |
| 2 | 5 | 12,62 | 17,23 | 4,61 | 0,922 |
| 3 | 5 | 12,62 | 17,22 | 4,60 | 0,920 |
| 4 | 5 | 12,62 | 17,21 | 4,59 | 0,918 |
| 5 | 5 | 12,62 | 17,24 | 4,62 | 0,924 |
| 6 | 5 | 12,62 | 17,23 | 4,61 | 0,922 |
| Rerata | 5 | 12,62 | 17,23 | 4,605 | 0,921 |

Standar deviasi massa jenis = 0,00191 gram/cm³



Gambar 5. Grafik perbandingan massa jenis

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai massa jenis minyak biji

ketapang sama dengan nilai rata-rata massa jenis minyak trafo terpakai, sehingga dapat dikatakan bahwa minyak biji ketapang cukup layak untuk dijadikan sebagai bahan isolasi cair transformator, namun masih belum bisa dijadikan sebagai minyak transformator baru berdasarkan SPLN 49-1:1982 karena terdapat selisih sebesar 0,026 gram/cm³.

c. Pengujian *Viskositas*

Viskositas merupakan tahanan dari minyak untuk mengalir secara kontinu dan merata. Pengujian viskositas minyak biji ketapang dilakukan di Laboratorium Kimia Lanjut Fakultas MIPA Universitas Mataram dengan menggunakan alat viskometer. Nilai viskositas (cP) dapat dihitung dengan Persamaan 3. Adapun hasil Pengujian viskositas ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil pengujian viskositas minyak biji ketapang

| Uji ke | Waktu | | Massa jenis | | Viskositas | |
|--------|--------------------|-------|----------------------------------|---------------------|-------------------|--------|
| | t ₀ (s) | t (s) | ρ ₀ g/cm ³ | P g/cm ³ | π ₀ cP | π cP |
| 1 | 66,67 | 972,6 | 0,998 | 0,921 | 1 | 13,463 |
| 2 | | 980,4 | | | | 13,571 |
| 3 | | 965,5 | | | | 13,364 |
| 4 | | 981,6 | | | | 13,587 |
| 5 | | 987,0 | | | | 13,662 |
| 6 | | 967,8 | | | | 13,396 |

Pada pengujian viskositas ini dilakukan sebanyak enam kali agar hasil yang diperoleh lebih tepat. Hasil pengujian viskositas yang diperoleh masih dalam satuan centipoise (cP), oleh karena itu harus dikonversi dalam satuan centistoke (cSt). Viskositas kinematik Tabel 9 pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil perhitungan viskositas minyak biji ketapang

| Uji ke | Massa jenis g/cm ³ | Viskositas cP | Viskositas kinematik cSt |
|--------|-------------------------------|---------------|--------------------------|
| 1 | 0,921 | 13,463 | 14,617 |
| 2 | | 13,571 | 14,735 |
| 3 | | 13,364 | 14,510 |
| 4 | | 13,587 | 14,752 |
| 5 | | 13,662 | 14,834 |
| 6 | | 13,396 | 14,545 |
| Rerata | 0,921 | 13,275 | 14,665 |

Standar deviasi viskositas = 0,116 cSt

Dari hasil perhitungan viskositas minyak biji ketapang diperoleh bahwa nilai rata-rata dengan enam kali pengujian sebesar 13,275 cP atau 14,665 cSt. Berdasarkan satandar SPLN 49-1: 1982

menyebutkan bahwa viskositas yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru pada suhu 20°C adalah ≤ 40 cSt. Pada Tabel 10. dapat dilihat bahwa nilai viskositas dari minyak biji ketapang memenuhi standar yang ditetapkan oleh SPLN 49-1: 1982.

Sebagai perbandingan viskositas minyak biji ketapang dilakukan pengujian terhadap minyak trafo merek Nynas yang diperoleh dari Gardu Induk Ampenan Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengatur Beban (UP3B) Mataram. Adapun hasil pengujian viskositas minyak trafo terpakai dapat dilihat pada Tabel 11.

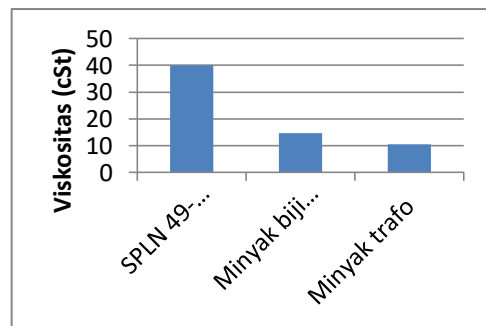
Tabel 11. Hasil pengujian viskositas minyak trafo terpakai

| Uji ke | Waktu | | Massa jenis | | Viskositas | |
|--------|--------------------|--------|----------------------------------|---------------------|-------------------|-------|
| | t ₀ (s) | t (s) | ρ ₀ g/cm ³ | P g/cm ³ | π ₀ cP | π cP |
| 1 | 66,67 | 691,59 | 0,998 | 0,921 | 1 | 9,573 |
| 2 | | 696,36 | | | | 9,639 |
| 3 | | 706,33 | | | | 9,777 |
| 4 | | 692,89 | | | | 9,591 |
| 5 | | 693,61 | | | | 9,601 |
| 6 | | 702,86 | | | | 9,729 |

Tabel 12. Hasil perhitungan viskositas minyak trafo terpakai

| Uji ke | Massa jenis gram/cm ³ | Viskositas cP | Viskositas kinematik cSt |
|--------|----------------------------------|---------------|--------------------------|
| 1 | 0,921 | 9,573 | 10,394 |
| 2 | | 9,639 | 10,460 |
| 3 | | 9,777 | 10,616 |
| 4 | | 9,591 | 10,414 |
| 5 | | 9,601 | 10,424 |
| 6 | | 9,729 | 10,563 |
| Rerata | 0,921 | 9,573 | 10,478 |

Standar deviasi viskositas = 4,137 cSt



Gambar 6. Grafik perbandingan viskositas

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai viskositas minyak biji ketapang lebih tinggi dibandingkan dengan minyak trafo terpakai, namun dalam hal ini nilai viskositas minyak biji ketapang dengan minyak trafo terpakai sudah memenuhi

standar isolasi cair transformator yaitu ≤ 40 cSt (SPLN 49-1:1982).

d. Pengujian Tegangan Tembus

Tegangan Tembus merupakan tegangan ketika isolator sudah tidak mampu menghadapi tekanan medan listrik diantara dua elektroda yang mempunyai beda potensial sehingga isolator berubah menjadi konduktor. Pengujian tegangan tembus dilakukan di PT. PLN Unit Induk Wilayah NTB Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengatur Beban (UP3B) Mataram. Adapun hasil pengujian tegangan tembus minyak biji ketapang menggunakan elektroda setengah bola dengan jarak sela 2,5 mm pada suhu 30°C dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil pengujian tegangan tembus minyak biji ketapang

| Pengujian | Hasil pengukuran (kV) |
|-----------|-----------------------|
| 1 | 70,8 |
| 2 | 65,8 |
| 3 | 66,8 |
| 4 | 63,4 |
| 5 | 75,0 |
| 6 | 71,9 |
| Rerata | 68,9 |

Standar deviasi = 4,3 kV

Tabel 13 menunjukkan hasil pengujian tegangan tembus dengan nilai rata-rata sebesar 68,9 kV untuk enam kali pengujian. Berdasarkan standar SPLN 49-1: 1982 menyebutkan bahwa tegangan tembus yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah > 30 kV dengan jarak sela 2,5 mm. Pada Tabel 13 dapat dilihat bahwa nilai tegangan tembus dari minyak biji ketapang memenuhi standar yang ditetapkan oleh SPLN 49-1: 1982.

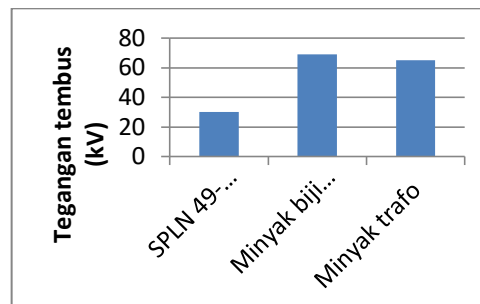
Sebagai perbandingan tegangan tembus minyak biji ketapang dilakukan pengujian terhadap minyak trafo merek Nynas yang diperoleh dari Gardu Induk Ampenan Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengatur Beban (UP3B) Mataram. Adapun hasil pengujian tegangan tembus minyak trafo terpakai dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil pengujian tegangan tembus minyak trafo terpakai

| Pengujian | Hasil pengukuran (kV) |
|-----------|-----------------------|
| 1 | 75,0 |
| 2 | 51,2 |
| 3 | 75,0 |
| 4 | 61,2 |

| | |
|--------|------|
| 5 | 63,0 |
| 6 | 64,6 |
| Rerata | 65,0 |

Standar deviasi = 9 kV



Gambar 7. Grafik Perbandingan tegangan tembus

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai tegangan tembus minyak biji ketapang lebih tinggi dibandingkan dengan minyak trafo terpakai, dalam hal ini nilai tegangan tembus minyak biji ketapang dan minyak trafo terpakai sudah memenuhi standar isolasi cair transformator yaitu > 30 kV (SPLN 49-1:1982)

KESIMPULAN

Kadar air dari minyak biji ketapang memenuhi standar spesifikasi minyak isolasi cair baru transformator setelah dilakukan pemanasan selama 150 menit dengan temperatur 105oC. Massa jenis dari minyak biji ketapang nilainya sedikit lebih besar dibandingkan dengan standar spesifikasi minyak isolasi cair baru transformator, sehingga massa jenis dari minyak biji ketapang masih belum memenuhi standar SPLN 49-1:1982. Viskositas minyak biji ketapang nilainya sudah memenuhi standar isolasi cair baru transformator yakni < 40 cSt. Tegangan tembus minyak biji ketapang nilainya sudah memenuhi standar isolasi cair baru transformator yakni > 30 Kv.

SARAN

Penelitian lanjutan dengan melakukan beberapa pengujian seperti pengujian kandungan gas, uji titik tuang, uji titik nyala, uji tahanan jenis, uji kebocoran dielektrik dan pengujian-pengujian lainnya yang belum pernah dilakukan.

REFERENSI

- [1]. Juniarti, 2006. Pengaruh Variasi Pelarut Terhadap Mutu Minyak Biji Ketapang (*Terminalia Catappa L.*), Skripsi Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Sriwijaya,

- Inderalaya
- [2]. Matos, L., Nzikou, J.M., Kimbonguila, A., Ndangui, C.B., Pambou-Tobi, N.P.G., Abena, A.A., Silou, T., Scher, J., dan Desobry, S., 2009. Composition and nutritional properties of seeds and oil from *Terminalia catappa* L Technol.
 - [3]. Kadir, A., 2010. Transformator, Universitas Indonesia, Jakarta.
 - [4]. Sanjaya, H., 2012. Minyak transformator (minyak isolasi), Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
 - [5]. Supriyanto, D., Syakur, A., Nugroho, A., 2011. Analisis Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Trafo Sebelum dan Sesudah di Purufukasi Dengan Fenol, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang, Indonesia.
 - [6]. IEC 60296, 2012. Fluids for electrotechnical applications-Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear.
 - [7]. SPLN 49-1:1982. Minyak Isolasi.
 - [8]. Ajayi, I.A., Oderinde, R.A., Taiwo, V.O., dan Agbedana, E.O., 2008. Short-term toxicological evaluation of *Terminalia catappa*, *Pentaclethra macrophylla* and *Calophyllum inophyllum* seed oils in rats, Food Chem.
 - [9]. Weerawatanakorn, M., Janporn, S., Ho, C.T., dan Chavasit, V., 2015. *Terminalia catappa* linn seeds as a new food, Technol.
 - [10]. Janporn, S., Chavasit, V., Pan, M.H., dan Chittrakorn, S., 2015. Physicochemical properties of *Terminalia catappa* seed oil as a novel dietary lipid source, J. Food Drug Anal.
 - [11]. Hariani, P. L., Riyanti, F., dan Oktaviani, H., 2007. Analisis Mutu Minyak Biji Ketapang (*Terminalia Catappa* Linn.) Hasil Sokletasi, Jurnal Penelitian Sain, Dosen Jurusan Kimia MIPA UNSRI.
 - [12]. Marjenah, Putri, N.P., 2017. Pengaruh Elevasi terhadap Produksi Buah Ketapang (*Terminalia catappa* LINN.) sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel.
 - [13]. Putra, R. K., dan Murdiya, F., 2017. Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik pada Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas*) Sebagai Alternatif Isolasi Cair, Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau.
 - [14]. Jumardin, Ilham, J., dan Salim, S., 2019. Studi Karakteristik Minyak Nilam Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator, Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering, Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo.