



STUDI TEGANGAN TEMBUS MINYAK KEMIRI SUNAN SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI MINYAK TRANSFORMATOR DAYA

Harief Taufik Kurrahman & Syamsir Abduh

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti

Jalan Kiai Tapa 1 Jakarta Barat 11440

E-mail: syamsir@trisakti.ac.id

ABSTRACT

Liquid insulation on high voltage equipment is used as the cooling medium of power equipment. If the applied voltage exceeds the dielectric strength of the insulation liquid, breakdown voltage will occur which signifies insulation failure. To identify the opportunity of reutealis trisperma oil as an alternative transformer oil, the breakdown voltage of the reutealis trisperma oil is tested. The test is based on the IEC 156:1995 standard which uses 50 mm half-ball half-sphere electrodes with 2.5 mm distance. The testing is also done for larger gap distance. The test results showed that as the distance between the electrodes increase, the breakdown voltage values becomes larger. The breakdown voltage of reutealis trisperma biodiesel oil at IEC 156 standard conditions is 17.55 kV/ 2.5 mm. This value does not meet the SPLN 49-1:1982 standard, which is more than 30 kV/2.5 mm. To increase the breakdown voltage of reutealis trisperma oil phenol additives can be added.

Keywords: *liquid insulation, voltage breakdown, reutealis trisperma oil*

ABSTRAK

Isolasi cair pada peralatan tegangan tinggi digunakan sebagai media pendingin peralatan listrik. Apabila tegangan yang diterapkan melebihi kekuatan dielektrik isolasi cair maka akan terjadi tegangan tembus yang menandakan kegagalan isolasi. Pengujian tegangan tembus terhadap minyak kemiri sunan dimaksudkan untuk mengetahui peluang minyak kemiri sunan sebagai alternatif minyak transformator. Pengujian ini berlandaskan standar IEC 156:1995 yaitu menggunakan elektrode setengah bola-setengah bola berukuran 50 mm dengan jarak sela 2,5 mm. Pengujian ini juga dilakukan dengan menggunakan variasi jarak sela. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa seiring kenaikan jarak sela antar elektrode nilai tegangan tembus menjadi semakin besar. Hasil akhirnya nilai tegangan tembus minyak biodiesel kemiri sunan pada kondisi standar sesuai IEC 156 sebesar 17,55 kV/2,5 mm. Nilai ini belum memenuhi standar SPLN 49-1:1982 yaitu sebesar ≥ 30 kV/2,5 mm. Tetapi masih memiliki peluang jika ditambahkan zat aditif fenol yang dapat menaikkan tegangan tembus minyak isolasi.

Kata kunci: *isolasi cair, tegangan tembus, minyak biodiesel kemiri sunan*

1. PENDAHULUAN

Transformator merupakan suatu alat listrik statis yang dapat memindahkan dan mengubah tegangan dan arus bolak-balik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain dengan nilai yang sama maupun berbeda besarnya pada frekuensi yang sama, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder.

Salah satu bagian penting dari transformator adalah minyak transformator. Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator, dimana ada dua bagian yang secara aktif membangkitkan panas yaitu kumparan (tembaga) dan inti (besi). Jika transformator tidak diberi pendingin, kumparan dan inti dapat mencapai suhu yang terlalu tinggi sehingga bahan isolasi yang ada pada kumparan (kertas isolasi) akan menjadi rusak. Minyak isolasi berfungsi sebagai bahan pendingin yang menyalurkan panas ke sirip-sirip transformator serta sebagai pemadam busur api apabila terjadi percikan-percikan dalam belitan transformator. Berdasarkan bahan pembuatannya, minyak isolasi terbagi atas dua jenis yaitu minyak isolasi dari olahan minyak bumi yang saat ini banyak digunakan dan minyak isolasi dari minyak tumbuh-tumbuhan atau disebut minyak nabati (minyak organik) yang saat ini banyak diteliti. Dengan meningkatnya perhatian terhadap lingkungan, penelitian minyak isolasi ramah lingkungan yang terbaru mulai banyak dikembangkan.

Persyaratan umum suatu bahan dapat dijadikan minyak transformator adalah tegangan tembus (30 kV/2,5 mm), konstanta dielektrik (2,2 – 2,3), resistivitas ($10^{12} - 10^{43} \Omega \text{ m}$), titik tuang (-30°C ppm) dan titik nyala (140°C ppm) [1]. Beberapa aspek yang menyebabkan minyak kemiri sunan dapat dijadikan sebagai alternatif minyak transformator adalah:

1. Aspek karakteristik, minyak kemiri sunan memenuhi dua dari beberapa persyaratan minyak isolasi transformator yaitu titik tuang dan titik nyala.



2. Aspek produktif dan ekonomis, pohon kemiri sunan memiliki tingkat produktivitas yang tinggi dalam menghasilkan minyak dibandingkan minyak nabati lainnya dan minyak ini lebih murah dibanding dengan harga biodiesel pasaran.

Dengan mempertimbangkan faktor karakteristik dan ketersediaan, salah satu jenis minyak nabati yang dapat diteliti dan dikembangkan sebagai alternatif minyak isolasi di Indonesia adalah minyak kemiri sunan. Karakteristik dari minyak biodiesel kemiri sunan dapat dilihat pada Tabel 1 [2]. Minyak kemiri sunan diunggulkan dari minyak nabati lainnya dari aspek produktivitas dan ekonomis. Hal ini dikarenakan dari setiap satu hektar (ha) tanaman kemiri sunan bisa diperoleh 10 ton minyak kasar/tahun. Hasil ini jauh lebih tinggi dari kelapa sawit yakni sekitar 6 ton/ha/tahun minyak kasar. Kemiri sunan dapat dijadikan sebagai tanaman konservasi termasuk pada lahan bekas tambang (reklamasi pasca tambang) karena pohon kemiri sunan tidak memerlukan air yang banyak (cocok ditanam pada lahan kritis) dan sangat rimbun sehingga suhu dibawahnya itu dapat menjadi lebih rendah 11 derajat. Perhitungan nilai ekonomi dilakukan dengan mengasumsikan 1 liter biodiesel dihasilkan dari 2,5 kg biji kering dengan harga Rp.750 - Rp.1.250 dan harga pengolahan Rp.1.750 per liter menghasilkan keuntungan sekitar Rp.1.300 - Rp.4.000 per liter apabila dibandingkan dengan harga solar Rp.4.300 - Rp.7.000/liter [3].

Tabel 1. Karakteristik minyak biodiesel kemiri sunan

Parameter	Nilai	Satuan
Viskositas kinematik	40	°C
Kepadatan	0,86	g/mL
Angka setana	49	
Nilai kalor tinggi	40,1	J
Sulfur	0,001	wt
Angka iodine	125	
Titik beku	-3	°C
Titik tuang	-6	°C
Titik nyala	164 -183	°C

Metode untuk mengevaluasi karakteristik standar minyak isolasi yang menjamin kualitas dan umur teknis minyak isolasi beberapa diantaranya

memiliki sifat saling mempengaruhi. Parameter minyak isolasi yang paling penting meliputi tegangan tembus, permitivitas, faktor disipasi, kandungan air dan stabilitas [4].

2. MEKANISME KEGAGALAN PADA ISOLASI CAIR

2.1. Kekuatan Dielektrik

Suatu dielektrik tidak mempunyai elektron-elektron bebas. Jika suatu dielektrik ditempatkan diantara dua elektrode kemudian elektrode tersebut diberi tegangan, maka akan timbul medan listrik di dalam dielektrik. Medan listrik ini akan memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas, sehingga medan listrik merupakan suatu beban yang menekan dielektrik agar berubah sifat menjadi konduktor. Beban yang dipikul dielektrik disebut juga terpaan medan listrik. Setiap dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul terpaan listrik. Jika terpaan listrik yang dipikulnya melebihi batas tersebut dan terpaan berlangsung lama, maka dielektrik akan menghantar arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam hal ini dielektrik mengalami tembus listrik [5].

2.2. Teori Kegagalan Isolasi Cair

Karakteristik isolasi cair akan berubah jika terjadi ketidakmurnian di dalamnya. Hal ini akan mempercepat terjadinya proses kegagalan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan isolasi antara lain adanya partikel padat, uap air dan gelembung gas. Teori kegagalan zat isolasi cair dapat dibagi menjadi empat jenis sebagai berikut [5]:

1. Teori kegagalan zat murni atau elektronik

Teori ini merupakan perluasan teori kegagalan dalam gas, artinya proses kegagalan yang terjadi dalam zat cair dianggap serupa dengan yang terjadi dalam gas. Oleh karena itu supaya terjadi kegagalan diperlukan elektron awal yang dimasukkan ke dalam zat cair. Elektron awal inilah yang akan memulai proses kegagalan.



2. Teori kegagalan gelembung gas

Kegagalan gelembung atau kavitasi merupakan bentuk kegagalan yang disebabkan oleh adanya gelembung-gelembung gas didalam isolasi cair. Gelembung-gelembung udara yang ada dalam cairan tersebut akan memanjang searah dengan medan. Hal ini disebabkan karena gelembung-gelembung tersebut berusaha membuat energi potensialnya minimum. Gelembung-gelembung yang memanjang tersebut kemudian akan saling sambung-menyambung dan membentuk jembatan yang akhirnya akan mengawali proses kegagalan.

3. Teori kegagalan bola cair

Jika suatu zat isolasi mengandung sebuah bola cair dari jenis cairan lain, maka dapat terjadi kegagalan akibat ketidakstabilan bola cair tersebut dalam medan listrik. Medan listrik akan menyebabkan tetesan bola cair yang tertahan di dalam minyak yang memanjang searah medan dan pada medan yang kritis tetesan ini menjadi tidak stabil. Setelah menjadi tidak stabil bola air akan memanjang, dan bila panjangnya telah mencapai dua pertiga celah elektrode maka saluran-saluran lucutan akan timbul sehingga kemudian kegagalan total akan terjadi.

4. Teori kegagalan tak murnian padat

Kegagalan tak murnian padat adalah jenis kegagalan yang disebabkan oleh adanya butiran zat padat (partikel) di dalam isolasi cair yang akan memulai terjadi kegagalan.

2.3. Kekuatan Kegagalan

Teori-teori yang membahas tentang kegagalan zat cair tidak memperhitungkan hubungan antara panjang ruang celah (sela) dengan besarnya tegangan gagal atau *breakdown*. Teori-teori tersebut hanya membahas tentang tegangan gagal maksimum yang dapat dicapai. Meskipun demikian, dari teori-teori tersebut dapat ditarik suatu persamaan baru yang berisi komponen panjang ruang celah dan komponen tegangan gagal pada benda cair, yaitu [5]:

$$V_b = A.d^n \quad (1)$$

dengan V_b adalah tegangan gagal / *breakdown* (kV), d adalah panjang ruang celah (mm), A adalah konstanta, n adalah konstanta.

2.4. Minyak Biodiesel Kemiri Sunan

Minyak biodiesel kemiri sunan adalah minyak kemiri sunan yang mengalami proses lanjutan menjadi minyak biodiesel sehingga memenuhi beberapa persyaratan minyak isolasi yaitu angka viskositas, titik nyala dan titik tuang. Ada 4 tahap proses untuk menghasilkan minyak biodiesel kemiri sunan yaitu [6]:

a. Transesterifikasi

Transesterifikasi atau sering disebut dengan alkoholisis adalah suatu reaksi kimia pada lemak atau minyak dengan alkohol dengan bantuan katalis untuk menghasilkan ester atau gliserol. Proses ini merupakan suatu reaksi kesetimbangan sehingga untuk mendorong reaksi bergerak ke kanan, perlu digunakan alkohol dalam jumlah berlebih. Beberapa jenis alkohol yang dapat digunakan untuk proses transesterifikasi antara lain metanol, etanol, propanol, dan amil alkohol, namun metanol lebih sering digunakan karena lebih murah dan mudah penggunaannya.

b. Pemisahan Gliserol

Pemisahan gliserol dilakukan menggunakan tabung pemisah. Metil ester yang dihasilkan akan terpisah dari gliserol karena proses pengendapan yang disebabkan oleh perbedaan massa jenis bahan. Gliserol dipisahkan dari metil ester dengan mengeluarkan gliserol yang berada di bagian bawah dari metil ester secara gravitasi. Metil ester yang telah bebas dari gliserol selanjutnya ditransesterifikasi kembali (transesterifikasi II) untuk menyempurnakan proses konversi minyak nabati mentah yang masih belum terkonversi menjadi metil ester. Proses ini memakan waktu sekitar 30 menit, kemudian dipisahkan kembali gliserol yang terbentuk melalui proses pengendapan.

c. Pencucian Biodiesel

Proses pencucian dilakukan dengan menggunakan air bersih yang telah dipanaskan pada suhu $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ sambil diaduk. Pencucian dilakukan beberapa kali sampai pH air cucian netral atau tidak berwarna. Proses pencucian ini digunakan



untuk menghilangkan sisa gliserol, metanol yang tidak bereaksi, katalis, serta sabun yang larut dalam air. Dengan penambahan air, pengotor-pengotor akan terikat dalam air karena memiliki kepolaran yang sama sehingga air cucian menjadi keruh. Pencucian dilakukan sebanyak 2 - 3 kali sehingga air cucian terlihat jernih yang menandakan semua pengotor telah hilang.

d. Pengeringan Biodiesel

Proses pengeringan diperlukan untuk menghilangkan air yang kemungkinan terperangkap di dalam biodiesel setelah proses pencucian. Proses pengeringan selesai dengan indikasi biodiesel yang dihasilkan telah jernih dan bebas dari gelembung uap air.

2.5. Standardisasi Pengujian Isolasi Cair

2.5.1. Prosedur Pengujian

Beberapa hal yang harus diperhatikan sebelum melakukan pengujian tegangan tembus isolasi cair menurut IEC 156:1995 antara lain [7]:

a. Persiapan Sampel

Sebelum mengisi kotak uji, sampel harus dikocok berulang kali secara lembut untuk memastikan adanya homogenisasi kontaminan cairan tanpa menimbulkan gelembung udara pada cairan. Udara yang tidak diperlukan sedapat mungkin dihindarkan.

b. Pengisian Kotak Uji

Sebelum pengujian, kotak uji, dinding-dindingnya, elektrode dan komponen lainnya harus dalam kondisi bersih. Sampel dituangkan ke dalam kotak uji secara perlahan untuk menghindari terjadinya gelembung-gelembung udara.

c. Pemberian Tegangan

Elektrode diberi tegangan dengan kenaikan yang seragam (konstan) $\pm 0,2$ kV/detik dimulai dari 0 V sampai sekitar 2,0 kV sampai timbul tegangan tembus.

d. Pencatatan data

Percobaan tembus dilakukan sebanyak 6 kali dengan kotak uji yang sama dengan jeda sekurang-kurangnya 2 menit dari setiap pengujian baru. Pastikan tidak

muncul gelembung udara diantara jarak sela, kecuali jika menggunakan pengaduk maka percobaan dapat dilakukan secara terus-menerus.

e. Laporan

Data yang dimasukkan dalam laporan adalah hasil dari nilai rata-rata.

2.5.2. Tegangan Tembus Isolasi Cair

Menurut standar SPLN 49 - 1 tegangan tembus yang harus dipenuhi untuk minyak isolasi baru adalah $\geq 30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$ [8].

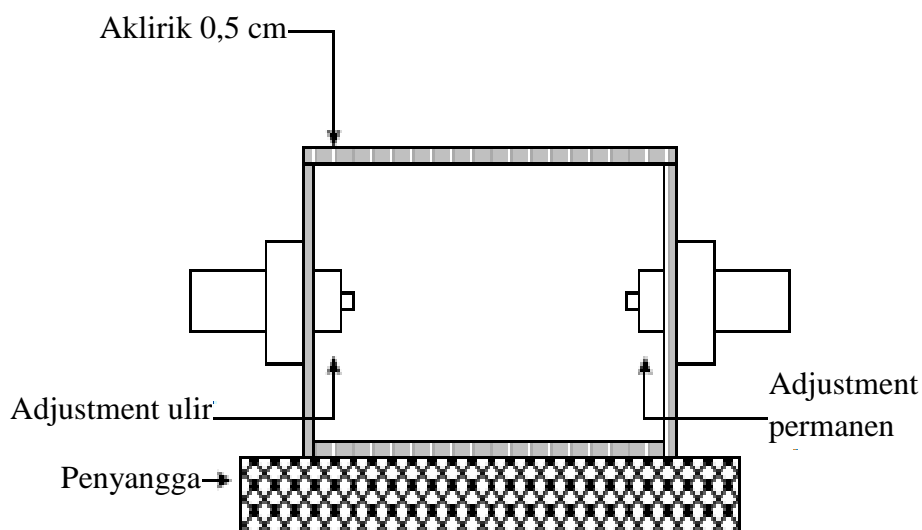
3. METODOLOGI PENGUJIAN

3.1. Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi kit pembangkit tegangan tinggi ac (*hipotronics*), elektrode uji, kotak uji dan minyak biodiesel kemiri sunan.

3.2. Kotak Uji Horizontal

Kotak uji adalah sebagai sebuah sistem yang berkaitan dengan kerja tertentu dalam ruang tertutup. Kotak uji terbuat dari bahan plastik akrilik dengan ketebalan 3 mm. Pada pengujian ini kotak uji yang dipakai adalah kotak uji horizontal seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kotak uji horisontal



3.3. Elektrode Setengah Bola

Elektrode setengah bola yang digunakan untuk pengujian ini mempunyai diameter 50 mm yang sesuai dengan standar IEC 156:1995.

3.4. Urutan Pengujian

Urutan pengujian isolasi cair adalah sebagai berikut:

1. Sampel minyak biodiesel kemiri sunan yang akan diuji terlebih dahulu disaring untuk menghilangkan partikel padat, kemudian dipanaskan sampai suhu 50 °C untuk menghilangkan uap air yang terkandung dalam minyak tersebut.
2. Setelah mencapai suhu tersebut minyak didinginkan kembali sampai suhu ruang yaitu 26 - 30 °C. Saat pendinginan minyak ditutup dengan kertas saring. Sebelum minyak dituang, kotak uji harus dalam keadaan bersih dan kering.
3. Pada saat menuang minyak ke dalam kotak uji harus hati-hati agar tidak menimbulkan gelembung gas dalam minyak.
4. Banyaknya minyak harus sedemikian rupa sehingga tingginya di atas puncak elektrode lebih dari 20 mm atau 40 mm dari sumbu elektrode.
5. Kemudian minyak dibiarkan kira-kira 10 menit untuk menghilangkan gelembung gas yang masih mungkin terjadi saat pengisian minyak ke dalam kotak uji.
6. *Hipotronics* pada kondisi *on* kemudian tombol *start* ditekan, maka tegangan akan naik secara otomatis 2 kV/detik (*auto test*).
7. Apabila tombol *fail/reset* sudah berwarna merah maka angka yang tertera pada alat ukur adalah tegangan tembus.
8. Setelah terjadi tembus listrik, minyak di dalam kotak uji diaduk secara otomatis dengan suatu tangkai tipis untuk menghilangkan gelembung gas yang timbul saat terjadi tembus listrik.
9. Selanjutnya apabila data sudah dicatat, tombol *fail/reset* ditekan dan selang dua menit pengujian diulang kembali sampai dengan enam kali pengujian.

10. Tegangan tembus dari keenam pengujian dijumlahkan untuk mendapatkan tegangan tembus rata-rata.

3.5. Variasi Pengujian

Percobaan variasi pengujian jarak sela diperlukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai tegangan tembus minyak kemiri sunan.

3.6. Perencanaan Tahapan Pengujian

Pengujian tegangan tembus minyak biodiesel kemiri sunan dilaksanakan dalam tiga tahap dengan menggunakan alat *Hipotronics*.

1. Tahap 1, pengujian dengan menggunakan variasi isolasi cair minyak biodiesel kemiri sunan, elektrode yang digunakan adalah elektrode setengah bola-setengah bola dengan diameter 50 mm. Posisi pengujian secara horisontal dengan jarak sela 2,5 mm. Pengujian dilakukan sebanyak 6 kali dengan selang waktu 2 menit setiap pengujian. Data yang dimasukkan dalam laporan adalah nilai rata-rata dari 6 kali percobaan yang sudah dilakukan.
2. Tahap 2, pengujian sama dengan tahap pertama tetapi dengan jarak sela yang berbeda yaitu 2 mm.
3. Tahap 3, pengujian sama dengan tahap pertama tetapi dengan jarak sela yang berbeda yaitu 1,5 mm.

4. DATA DAN ANALISIS

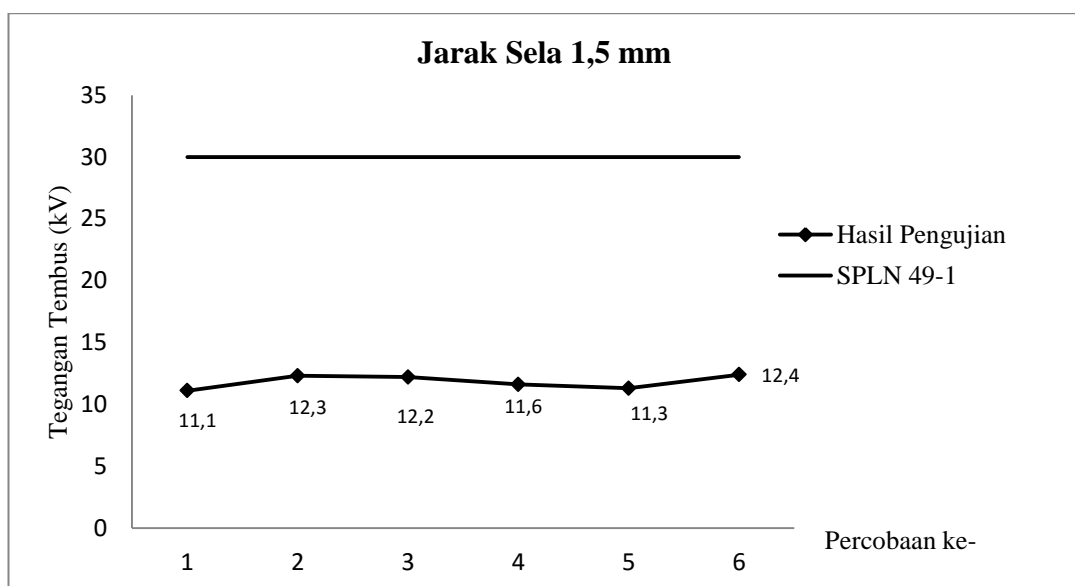
Pengujian dilakukan pada tanggal 10 November 2014 di *Testing Area* PT Mesindo Tekninesia, Jl. Rorotan IV No.169 Cilincing, Jakarta Utara.

4.1. Data Hasil Pengujian

Hasil pengujian dengan jarak sela 1,5 mm diperlihatkan pada Tabel 2 dan Gambar 2 pada halaman berikut dengan nilai rata-rata tegangan tembus 11,81 kV/1,5 mm. Hasil pengujian dengan jarak sela 2 mm diperlihatkan pada Tabel 3 dan Gambar 3 pada halaman berikut, dengan rata-rata nilai tegangan tembus 15,08 kV/2 mm.

Tabel 2. Pengujian dengan jarak sela 1,5 mm

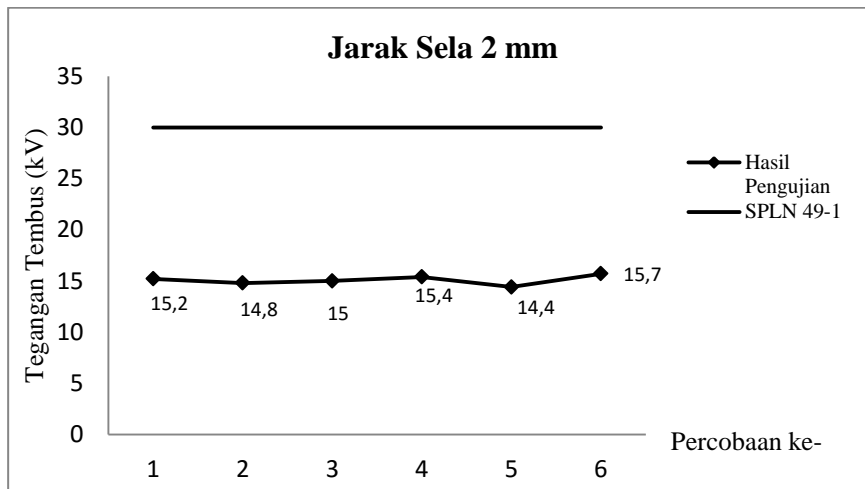
Percobaan ke	Tegangan Tembus (kV)
1	11,1
2	12,3
3	12,2
4	11,6
5	11,3
6	12,4



Gambar 2. Grafik pengujian dengan jarak sela 1,5 mm

Tabel 3. Pengujian dengan jarak sela 2 mm

Percobaan ke	Tegangan Tembus (kV)
1	15,2
2	14,8
3	15,0
4	15,4
5	14,4
6	15,7

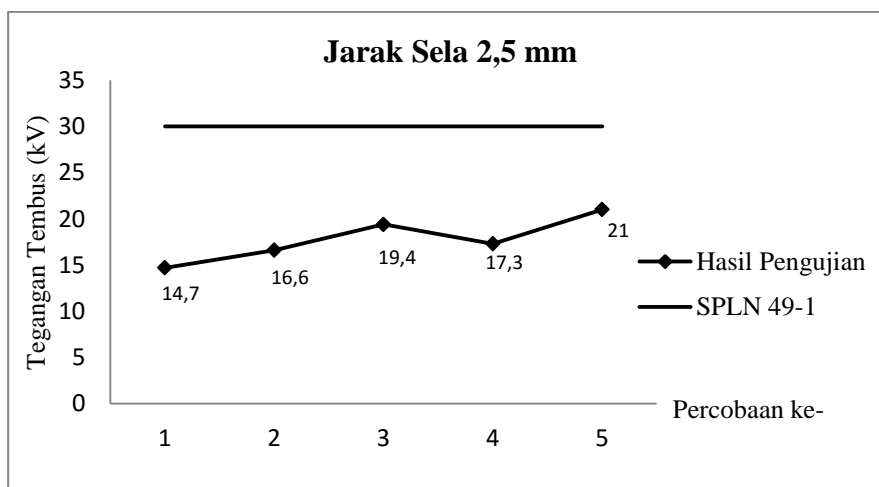


Gambar 3. Grafik pengujian dengan jarak sela 2 mm

Hasil pengujian dengan jarak sela 2,5 mm diperlihatkan pada Tabel 4 dan Gambar 4 dengan nilai rata-rata tegangan tembus 17,55 kV/2,5 mm.

Tabel 4. Pengujian dengan jarak sela 2,5 mm

Percobaan ke	Tegangan Tembus (kV)
1	14,7
2	16,6
3	19,4
4	16,3
5	17,3
6	21



Gambar 4. Grafik pengujian dengan jarak sela 2,5 mm



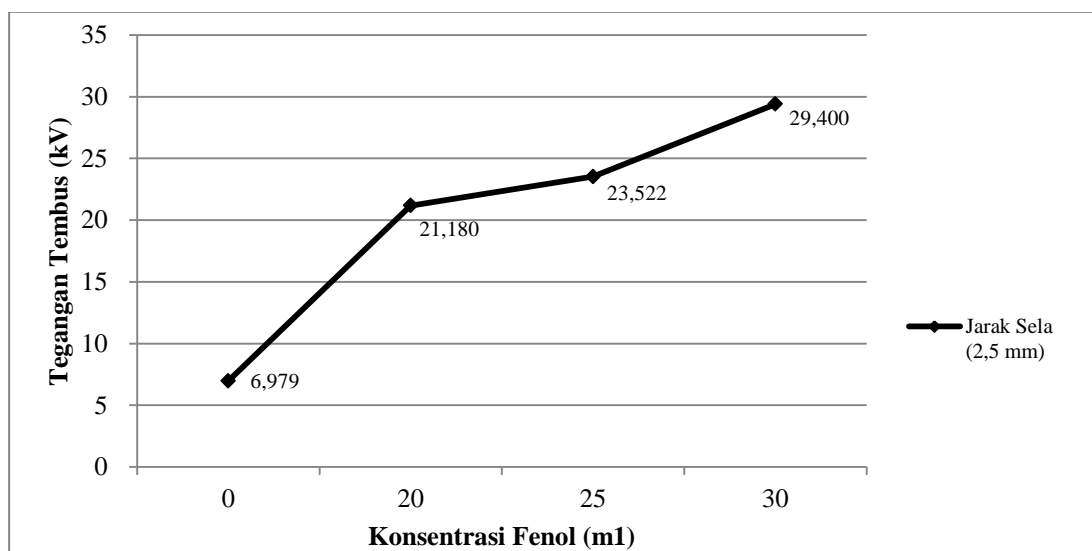
4.2 Analisis Kelayakan Minyak Biodiesel Kemiri Sunan sebagai Alternatif Isolasi Cair

Menurut IEC 156, pengujian tegangan tembus isolasi cair pada kondisi standar dilakukan dengan sepasang elektrode setengah bola diameter 50 mm dengan jarak sela 2,5 mm. Selanjutnya SPLN 49-1 menyebutkan bahwa tegangan tembus yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah ≥ 30 kV/2,5 mm. Berdasarkan hasil pengujian kondisi standar (menurut IEC 156) yang dilakukan pada minyak biodiesel kemiri sunan didapat nilai tegangan tembus sebesar 17,55 kV pada jarak sela 2,5 mm sehingga masih jauh dibawah standar SPLN 49-1 untuk memenuhi persyaratan alternatif isolasi cair. Standar NESC (*National Electrical Safety Code*) tahun 1990 menyatakan untuk tegangan kerja 2,4 kV batas tegangan tembus yang ditanggung sebesar 20 kV dan untuk tegangan kerja 6,9 kV batas tegangan tembusnya 39 kV. Berdasarkan standar tersebut maka minyak biodiesel kemiri sunan yang diuji tidak memenuhi persyaratan untuk dipakai sebagai minyak isolasi transformator.

Nilai tegangan tembus minyak biodiesel kemiri sunan ini lebih rendah dari standar SPLN 49-1, yaitu sebesar ≥ 30 kV/2,5 mm. Tetapi penelitian ini masih memiliki peluang untuk dilanjutkan jika ditambahkan sebuah katalis zat aditif untuk meningkatkan ketahanan listrik minyak transformator. Karena secara analisis kimia ketahanan listrik suatu minyak transformator dapat menurun akibat adanya pengaruh asam dan pengaruh tercampurnya minyak dengan air. Untuk menetralkan keasaman suatu minyak transformator dapat digunakan potas hidroksida (KOH). Sedangkan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam minyak tersebut yaitu dengan cara memberikan suatu bahan higroskopis yaitu *silica gel*. Selain senyawa diatas ada satu senyawa yang secara langsung dapat menaikkan tegangan tembus pada minyak transformator yaitu fenol.

Fenol dapat menaikkan tegangan tembus pada minyak transformator telah dibuktikan pada penelitian yang dilakukan oleh David Supriyantoro. Pengujian dilakukan dengan standar IEC 156 (elektrode setengah bola dengan jarak sela 2,5 mm) dengan variasi purifikasi konsentrasi fenol sebesar 20 ml, 25 ml dan 30 ml.

Pada Gambar 5 diperlihatkan tegangan tembus sebagai fungsi konsentrasi fenol pada pengujian sesuai standar IEC 156 (elektrode setengah bola-setengah bola, jarak sela 2,5 mm). Dari hasil pengujian diperoleh tegangan tembus minyak trafo sebelum di purifikasi (6,979/2,5 mm) dan sesudah dipurifikasi (29,400/2,5 mm) [9]. Tegangan tembus minyak trafo sesudah dipurifikasi bertambah besar seiring dengan bertambahnya konsentrasi fenol yang dicampur ke dalam minyak trafo bekas. Disarankan pada penelitian selanjutnya digunakan sampel minyak biodiesel kemiri sunan dengan menambahkan fenol sebagai zat aditif pada pengujian tegangan tembus.



Gambar 5. Pengaruh konsentrasi fenol terhadap tegangan tembus

4.3. Analisis Pengaruh Jarak Sela

Berdasarkan data pada Tabel 2, 3 dan 4 dapat diketahui bahwa hasil pengujian tegangan tembus pada posisi kotak uji horisontal elektrode setengah bola jarak elektrode mempengaruhi nilai tegangan tembus pada minyak biodiesel kemiri sunan. Jika jarak antara elektrode bidang semakin jauh, maka kuat medan listrik semakin kecil sehingga energi yang dibutuhkan elektron kurang mencukupi untuk melepaskan diri dari ikatannya. Dengan demikian pada jarak sela yang besar akan sulit untuk mencapai terjadinya kegagalan pada minyak biodiesel kemiri sunan,



sehingga nilai tegangan tembus juga semakin besar. Berdasarkan rumus hubungan tegangan tembus dengan jarak sela yaitu $V_b = A \cdot d^n$, nilai tegangan tembus berbanding lurus terhadap jarak sela, sehingga dengan bertambahnya jarak sela antara kedua elektrode bertambah besar pula nilai tegangan tembusnya begitu juga sebaliknya tegangan tembus akan semakin kecil dengan berkurangnya jarak sela antara kedua elektrode.

4.4. Fenomena yang terjadi pada Pengujian Tegangan Tembus Minyak Biodiesel Kemiri Sunan

Suatu dielektrik, dalam hal ini isolasi cair, tidak mempunyai elektron bebas, melainkan elektron yang terikat pada struktur molekul yang membentuk dielektrik cair tersebut. Jika tegangan diterapkan pada elektrode yang dicelup pada isolasi cair maka akan timbul medan listrik pada isolasi cair tersebut. Medan listrik ini akan memberi gaya kepada elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Medan listrik ini merupakan beban yang menekan isolasi cair agar berubah sifat menjadi konduktor. Beban yang dipikul isolasi cair disebut juga terpaan medan listrik. Setiap isolasi cair atau dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul terpaan listrik. Jika terpaan listrik yang dipikulnya melebihi batas tersebut dan terpaan berlangsung lama, maka isolasi cair akan menghantar arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam hal ini isolasi cair atau dielektrik mengalami tembus listrik.

Jika zat cair yang digunakan adalah minyak transformator maka pada saat tegangan diterapkan pada dua buah elektrode yang dicelup pada minyak transformator, akan timbul medan listrik dalam minyak transformator tersebut. Medan listrik ini akan memberikan gaya pada elektron yang terikat pada struktur molekul minyak transformator agar terlepas dari ikatannya. Jika ikatan ini lepas maka isolasi hilang dan minyak transformator akan menghantarkan arus (konduktor) dan gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Jadi sesungguhnya bagi bahan isolasi, tegangan merupakan tekanan yang harus dilawan oleh suatu gaya dalam bahan isolasi itu sendiri supaya bahan isolasi tidak gagal menjalankan fungsinya sebagai

isolator. Untuk memperoleh tegangan tembus pada setiap pengujian, tegangan uji diberikan pada sistem secara bertahap dengan tingkat kenaikan yang sama per satuan waktu menggunakan peralatan pengontrol. Dengan demikian dapat diamati fenomena apa saja yang terjadi selama pelaksanaan pengujian dan dijelaskan sebagai berikut:

4.4.1. Saat Sebelum Terjadi Tegangan Tembus

Proses sebelum terjadi tegangan tembus dimulai dari menaikkan tegangan uji secara bertahap dari tegangan rendah sampai mendekati tegangan tembus. Dalam kondisi mendekati nilai tegangan tembus timbul suara mendesis, hal ini terjadi karena adanya tekanan yang terus menerus dan semakin besar pada minyak isolasi.

4.4.2. Saat Terjadi Tegangan Tembus

Pada saat terjadi tegangan tembus terjadi lucutan di antara kedua elektrode tersebut. Lucutan ini terdiri dari unsur-unsur sebagai berikut [10]:

1. Aliran listrik yang besarnya ditentukan oleh karakteristik rangkaian.
2. Lintasan cahaya yang cerah yang bergerak dari satu elektrode ke elektrode lainnya.
3. Pembentukan lubang pada elektrode.
4. Tekanan impulsif dalam zat cair disertai suara ledakan.

4.4.3. Saat Sesudah Terjadi Tegangan Tembus

Kondisi sesudah terjadi tegangan tembus, timbul gelembung gas dan kabut hitam (arang) pada minyak isolasi. Hal ini disebabkan oleh [10]:

1. Permukaan elektrode tidak rata, sehingga terdapat kantong-kantong udara di permukaannya.
2. Terjadi tabrakan elektron saat terjadi tegangan tembus, sehingga muncul produk-produk baru berupa gelembung gas atau arang.
3. Terjadi penguapan cairan karena lucutan pada bagian-bagian elektrode yang tajam dan tak teratur.
4. Terjadi perubahan suhu dan tekanan terhadap zat cair.



5. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran tegangan tembus minyak biodiesel kemiri sunan menggunakan variasi elektrode setengah bola dalam posisi horizontal dengan menggunakan alat *hipotronics* di PT Mesindo Tekninesia pada temperatur ruang 26 - 30 °C dengan kelembaban relatif (RH) sebesar 41 % dan tekanan atmosfer 991 mm Hg, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai tegangan tembus pada minyak biodiesel kemiri sunan pada kondisi pengujian menurut IEC 156:1995 sebesar 17,55 kV/2,5 mm.
2. Nilai tegangan tembus pada minyak biodiesel kemiri sunan cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya jarak sela antar elektrode.
3. Pada saat sebelum mengalami tembus listrik, fenomena yang terjadi berupa suara mendesis akibat tekanan karena tumbukan elektron. Fenomena saat terjadi tembus listrik muncul kilatan cahaya dan gelembung gas yang naik ke atas, kemudian setelah terjadi tembus listrik timbul kabut hitam (arang) di antara sela elektrode.
4. Dari hasil pengujian kondisi standar (menurut IEC 156) yang dilakukan pada minyak biodiesel kemiri sunan didapat nilai tegangan tembus sebesar 17,55 kV pada jarak sela 2,5 mm sehingga masih dibawah standar SPLN 49-1 yaitu sebesar ≥ 30 kV/2,5 mm untuk memenuhi persyaratan alternatif isolasi cair. Tetapi penelitian ini memiliki peluang untuk dilanjutkan dengan menambahkan zat aditif yang mampu menaikkan tegangan tembusnya.

6. SARAN

Disarankan kepada peneliti lain agar melakukan penelitian lanjutan untuk memenuhi persyaratan minyak isolasi IEC 156:1995, dengan menambahkan zat aditif yaitu fenol yang berfungsi untuk menaikkan nilai tegangan tembus minyak isolasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Perusahaan Umum Listrik Negara. "Specification for New Insulating Oils for Transformers and Switchgear". SPLN 49-1. 1982.

- [2] Dibyo Pranowo dkk. *Pembuatan Biodiesel dari Kemiri Sunan (Reutealis trisperma Blanco Airy Shaw) dan Pemanfaatan Hasil Samping: Karakteristik Minyak Kemiri Sunan*. Jakarta: IAARD Press, 2014.
- [3] Dewan Pengurus Pusat Asosiasi Hutan Tanaman Rakyat Mandiri Indonesia. *Kemiri Sunan Sumber Bio Energi: Membangun Pemberdayaan Ekonomi Rakyat melalui Kemiri Sunan*. Jakarta: DPP-AHTRMI, 2011.
- [4] B. Dolata, H. Borsi dan E. Gockenbach. "Comparison of Electric and Dielectric Properties of Esters Fluids with Mineral Based Transformer Oil". Prosiding XVth International Symposium on High Voltage Engineering. Ljubljana. 2007.
- [5] Syamsir Abduh. *Teori Kegagalan Isolasi*. Jakarta: Universitas Trisakti, 2003.
- [6] H. Fukuda. "Biodiesel fuel production by transesterification of oils". *J. Biosci. Bioeng.*, Vol. 92, hlm. 405-416, 2001.
- [7] "Insulating Liquid Determinan of Breakdown Voltage at Power Frequency Tes Method". IEC-156. 1995.
- [8] Perusahaan Umum Listrik Negara. "Minyak Isolasi Transformator". SPLN 49-1. 1982.
- [9] David Supriyantoro. "Analisis Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Trafo Sebelum dan Sesudah Dipurifikasi Dengan Fenol". Tugas Akhir, Teknik Elektro Universitas Dipenogoro, Semarang, 2007.
- [10] A. Arismunandar. *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*. Jakarta:Ghalia,1982.