

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolator cair yang digunakan dialat tegangan tinggi, penggunaan minyak transformator ini digunakan pada transformator sebagai pendingin pada transformator untuk menjaga transformator dari gangguan listrik sehingga tidak mengganggu kinerja transformator tersebut. Minyak transformator biasanya dibuat dari bahan fosil yaitu minyak mineral dengan menambah zat-zat tertentu untuk mendapatkan kualitas dielektrik yang lebih. Pada umumnya minyak transformator tersusun atas senyawa-senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon (Nrartha, Kamilatin and Warindi, 2021). Salah satu kualitas dielektriknya yaitu tegangan tembus pada minyak transformator.

2.2.1. Transformator

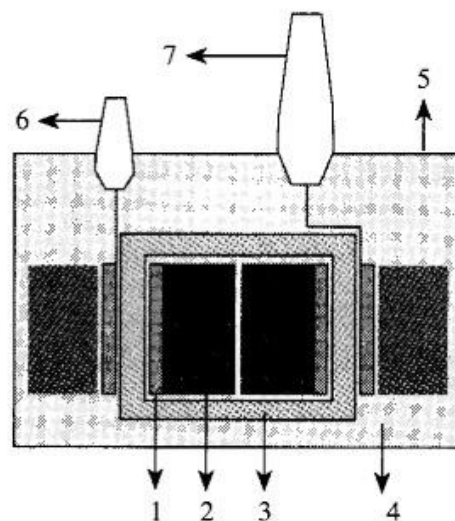
Transformator atau disebut dengan trafo merupakan suatu alat atau mesin listrik statis (tidak bergerak atau berputar) yang dapat memindahkan dan mengubah - ubah besaran energi listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya.

Sebuah transformator dapat menaikkan atau menurunkan tegangan pada suatu rangkaian, tetapi kemudian menurunkan atau menaikkan arus pada rangkaian lainnya. Proses transmisi daya listrik berlangsung melalui hubungan magnetik antara dua rangkaian yang saling berhubungan, sedangkan proses

konversi kuantitas menggunakan prinsip induksi elektromagnetik pada hubungan magnetik.

Transformator pada dasarnya adalah dua buah kumparan induksi yang diisolasi satu sama lain (sehingga tidak terjadi arus hubung singkat diantara keduanya) namun digandeng secara magnetis melalui rangkaian magnet berupa fluks magnet pada inti besi. mempunyai nilai resistansi yang rendah (Robert and Brown, 2004).

Adapun komponen – komponen terpenting dalam mendukung kinerja transformator diantaranya: inti besi (kern), kumparan, minyak isolasi transformator, tangki transformator, bushing, tap changer, dan alat indikator.



Gambar 2 1 Kontruksi Transformator; Keterangan: 1. Kumparan primer, 2. Kumparan sekunder, 3. Inti, 4. Minyak isolasi, 5. Tangki baja, 6. Bushing tegangan rendah, 7. Bushing tegangan tinggi; (Sumber: Marsudi, Generator and Tobing, 2016).

2.2.2. Minyak Isolasi Cair Transformator

Minyak transformator adalah media isolasi cair yang mengisolasi dan mendinginkan trafo. minyak ini bertindak sebagai pendingin dan dapat memindahkan panas ke sirip trafo. Selain sebagai bahan pendingin, minyak isolasi

juga mempunyai kegunaan lain yaitu sebagai bahan pemadam busur listrik apabila terjadi bunga api pada belitan trafo pada saat trafo sedang beroperasi. Jenis minyak isolasi yang paling umum digunakan pada transformator daya adalah minyak mineral. Minyak mineral diproses kembali agar memiliki tahanan isolasi tinggi, agar memiliki karakteristik panas yang stabil dan memenuhi persyaratan teknis lainnya sebagai media isolasi (Ilham *et al.*, 2019).

Kumparan-kumparan dan inti transformator sebagian besar akan terendam oleh minyak transformator. Maka dari itu minyak transformator memiliki sifat sebagai media pemindah panas yang berfungsi sebagai media pendingin dan media isolasi (Siburian, 2019)

Pengoperasian transformator bergantung pada umur dan kualitas sistem isolasinya. Isolasi pada transformator tidak hanya dari satu komponen saja. Minyak transformator menjadi salah satu media isolasi pada transformator. Oleh karena itu minyak transformator ini perlu diperhatikan umur dan kualitasnya (Rahayu, Diantari and Diantari, 2019)

Minyak isolasi yang umum digunakan untuk transformator adalah minyak mineral. Dalam Pedoman Tata Cara dan Panduan Perawatan Minyak Isolasi SPLN 49-1 disebutkan bahwa minyak isolasi trafo perlu memenuhi spesifikasi tertentu agar proses isolasi minyak trafo dapat beroperasi secara maksimal. Menurut SPLN 49-1 : 1982 untuk parameter tegangan tembusnya adalah meliputi 50kV/2,5 mm untuk tegangan > 170kV. 40 kV/2,5 mm untuk tegangan 70-170 kV. Kemudian 30 kV/2,5 mm untuk tegangan <70 kV (Siswanto *et al.*, 2022).

a. Jenis - jenis Minyak Isolasi

Berdasarkan bahan pembuatannya, minyak isolasi terbuat dari minyak mineral, minyak nabati, dan minyak sintetis (Arora and Mosch, 2011).

1) Minyak Mineral

Minyak mineral adalah campuran hidrokarbon yang berbeda yang telah dicampurkan dengan tepat. Sifat-sifat masing-masing minyak sangat tergantung pada komposisi kimianya. Minyak-minyak ini terutama terdiri dari hidrokarbon jenuh dengan struktur parafin dan naftenat (C_nH_{2n}), selain itu memiliki hidrokarbon aromatik tak jenuh (C_nH_{2n-6}) dalam proporsi yang berbeda (Arora and Mosch, 2011).

2) Minyak Nabati

Selain minyak mineral, beberapa minyak nabati juga telah digunakan dalam peralatan listrik khususnya sebagai isolator cair karena sifatnya yang sesuai. Sejumlah besar minyak nabati adalah yang tersedia, misalnya minyak jarak, biji rami, biji rapa, kedelai, kacang tanah, jagung, zaitun, minyak matahari, mustard, cengkeh, minyak biji mangga, minyak biji kapas, minyak kelapa, dan sebagainya. Minyak tersebut pada dasarnya adalah asam lemak yang terakumulasi dalam biji nabati. Secara kimiawi, ini adalah ester senyawa yang dihasilkan dari asam sebacic dan gliserin (Arora and Mosch, 2011).

Tabel 2 1. Nilai nominal/ standar dari beberapa sifat cairan isolasi murni dalam aplikasi tegangan tinggi (sumber: Arora and Mosch, 2011).

Insulating Liquids	Relative permittivity ϵ_r	Loss tangen $\tan \delta$	Dynami c viscosit y Pa.s	Density 20°C (g/cm ³) (Kg/m ³ x10 ⁻³)	Electric strength E_b kV/cm	Applicatio n
Mineral insulating oil	At 20 °C 50Hz = 2,0	At 50Hz 20°C ≤	At 40°C 0,0067-	<0,895	350 ... 500 minimum	Power ransformer CTs, PTs

(Transformer oil)		10^{-3} $90^{\circ}\text{C} \leq$ 4×10^{-3}	0,0143 Tr		value for transformer ≥ 300 for circuit breakers ≥ 175	circuit breakers bushing cable and condensers
Linseed oil	At 20°C 50Hz = 3,2	At 50Hz $20^{\circ}\text{C} \leq$ 10^{-3}	At $40^{\circ}\text{C} =$ 0,0260 At 100°C = 0,0067	0,930	-	-
Castor oil	At 20°C 50Hz between 4,2 and 4,5	At 50Hz $20^{\circ}\text{C} \leq$ 10^{-2}	At $40^{\circ}\text{C} =$ 0,2684 At 100°C = 0,0192	0,96-0,97	175-250	condensers
Chlorinated diphenyles	At 20°C 50Hz between 4-6	At 50Hz 20°C between 10^{-4} - 10^{-3}	At $20^{\circ}\text{C} =$ 0,0600 At $90^{\circ}\text{C} =$ 0,0040	1,400- 1,550	250-500	Transformer condensers (prohibited in some countries)
Silicone oil	At 20°C 50Hz = 2,6	At 50Hz $20^{\circ}\text{C} \leq$ 10^{-4}	At $40^{\circ}\text{C} =$ 0,0096- 0,9700	0,960- 0,970	300-400	Cable condensers Bushing

Pertengahan tahun delapan puluhan menyaksikan munculnya peralatan dan perlengkapan yang menggunakan minyak nabati sebagai cairan isolasi. Pada tahun 1984, pengaplikasiannya pada transformator pertama dari ester sintetis trafo tersebut telah memaksa aliran sirkulasi ke penukar panas jarak jauh. Oleh karena itu, pelumasan yang sangat baik, suhu titik tuang yang sangat rendah, dan titik api yang tinggi merupakan karakteristik fluida yang penting untuk aplikasinya. Penerimaan pasar terhadap ester sintetis terbatas pada aplikasi

khusus, terutama karena biayanya yang tinggi dibandingkan dengan cairan dielektrik lainnya (Bashi1 and , U. U Abdullahi1, 2006).

Sebagai hasil dari peraturan lingkungan dan risiko tanggung jawab yang melibatkan minyak yang tidak dapat dimakan, upaya R&D yang ekstensif, dimulai pada 1990-an, yang mengarah pada peninjauan kembali ester alami. Banyak sifat dielektrik dan keselamatan kebakaran yang sangat baik yaitu polioli ester sintetis, dan diklasifikasikan sebagai minyak nabati. Selain itu mereka dapat terurai secara hayati karena mereka memiliki organik komposisi dan yang terpenting, mereka jauh lebih banyak ekonomis daripada ester sintetis (Bashi1 and , U. U Abdullahi1, 2006).

Minyak nabati alami telah terbukti memenuhi spesifikasi karena memiliki titik nyala yang tinggi (300°C), titik api yang tinggi (250° - 300°C), titik tuang yang lebih rendah (-10°C), dan memiliki tegangan tembus dielektrik yang tinggi ($>50\text{KV}$). Semua ini sesuai dengan standar seperti IEEE C57, IEEE 637, ASTM D6781 dan IEC 60296 (Bashi1 and , U. U Abdullahi1, 2006). Di sisi lain, minyak nabati yang mudah menguap atau mengalami oksidasi, memungkinkan adanya penurunan pada kualitas minyak. Semakin tinggi berat molekul minyak, semakin besar resistansi spesifik dan menurunkan garis singgung rugi dielektrik ($\tan \delta$) (Arora and Mosch, 2011).

3) Minyak Sintetis

Minyak isolasi sintetis adalah minyak isolasi yang telah diolah secara kimia untuk mencapai kinerja yang lebih baik dibandingkan minyak isolasi mineral. Namun minyak isolasi sintetis mempunyai beberapa kelemahan yaitu

mudah teroksidasi oleh udara, cepat terurai, sifat kimianya berubah seiring dengan kenaikan suhu, dan tidak dapat terurai sempurna, jika bocor akan menimbulkan kerusakan dan pencemaran lingkungan. Beberapa contoh minyak sintetik antara lain Ascarel, Silikon Cair, Fluorida Cair, dan Ester Sintetis (Arora and Mosch, 2011).

b. Sifat - Sifat Isolator Cair

Adapun beberapa sifat sifat isolator cair berdasarkan sifat fisika, kimia, dan listrik, diantaranya:

1. Kejernihan

Menurut Menurut standar SPLN 49-1 tahun 1982, kejernihan merupakan salah satu faktor terpenting dalam menentukan kelayakan minyak isolasi transformator. Minyak isolasi trafo harus jernih dan tidak mengandung suspensi atau endapan (sedimen).(Renaldy Arief, 2018).

2. Viskositas

Viskositas adalah ketahanan suatu fluida untuk mengalir secara terus menerus dan seragam, tanpa turbulensi dan gaya lainnya. Viskositas oli biasanya diukur dari waktu alir oli dengan volume tertentu dan kondisi tertentu. Viskositas minyak trafo merupakan faktor penting dalam aliran konveksi terhadap perpindahan panas Viskositas juga digunakan sebagai dasar pembagian minyak (Suherman and Akbar, 2020).

Isolasi cair yang baik haruslah mempunyai viskositas yang rendah sehingga kemungkinan isolasi cair terkontaminasi akan kecil. Selain itu jika viskositas isolasi cair rendah, proses sirkulasi isolasi cair pada peralatan listrik akan

berlangsung dengan baik sehingga akhirnya pendinginan ini dan belitan transformator dapat berlangsung dengan sempurna (Suherman *et al.*, 2016).

Minyak isolasi juga memiliki fungsi sebagai media pendingin dan pada fungsinya sebagai media pendingin nilai viskositas sebuah minyak isolasi sangat berpengaruh dimana semakin rendah nilai viskositas sebuah minyak isolasi akan semakin baik dalam menghantarkan panas (Sitorus, 2024)

Kenaikan atau turunnya nilai viskositas dipengaruhi oleh kekuatan antar molekulnya. Semakin besar ikatan antar molekul suatu zat cair maka nilai viskositas yang dimiliki akan semakin tinggi. (Juhantoro *et al.*, 2012).

Nilai viskositas berbanding lurus dengan densitas atau massa jenis, cairan yang memiliki waktu alir cepat, memiliki nilai viskositas dan densitas yang kecil juga. Begitupun sebaliknya. (Wibowo, 2021).

3. Masa Jenis

Massa jenis adalah perbandingan massa suatu volume zat cair. Pengukuran dilakukan di laboratorium pada suhu sedang 20 °C. Massa jenis minyak yang harus dipenuhi adalah 0,895 gr/cm³. Massa jenis minyak trafo harus lebih rendah dari massa jenis air, karena air akan turun kebawah sehingga akan lebih mudah dikeluarkan dari tangki minyak transformator tangka pemutus tegangan (Firmansyah, 2019).

4. Titik nyala

Titik nyala merupakan sifat minyak yang dapat dipanaskan sampai suhu tertentu sebelum uap yang dikeluarkan dari minyak berubah menjadi api yang berbahaya (Suherman and Akbar, 2020).

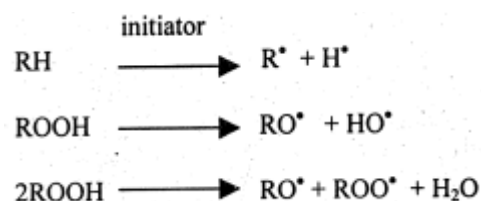
5. Oksidasi pada minyak

Selama transformator bekerja, minyak transformator akan mengalami penurunan kualitas maupun kuantitas atau yang disebut dengan penuaan atau penyusutan minyak. Akibat dari hal tersebut minyak akan mengalami banyaknya endapan sehingga mengurangi fungsi minyak sebagai pembuang panas. Hal ini disebabkan adanya reaksi oksidasi. Minyak yang baik adalah minyak yang tahan akan reaksi oksidasi (Ramadhan, 2019).

Proses autooksidasi dimulai dengan pembentukan radikal bebas yang disebabkan faktor-faktor yang dapat mempercepat reaksi. Reaksi autooksidasi dapat dikelompokkan ke dalam tiga tahap berikut: yakni permulaan (inisiasi), penyebaran (propogasi) dan penghentian (terminasi)

a) Permulaan

Pada tahap ini, pengambilan hydrogen terjadi pada atom karbon yang bersebelahan dengan ikatan rangkap dua dan hal ini terjadi karena bantuan prooksidan seperti logam Cahaya kemudian menghasilkan radikal bebas.. Menurut Jadhav et al (1996) dan Decker (2002) reaksi pemulaan ini adalah sebagai berikut:

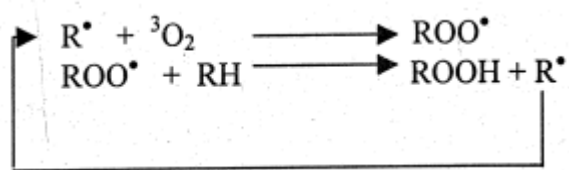


Gambar 2 2. Reaksi Permulaan Oksidasi pada Minyak.

b) Penyebaran

Jika radikal bebas sudah terbentuk, ia akan bereaksi dengan oksigen memebentuk radikal dan selanjutnya dapat mengambil hydrogen dari

molekul tak jenuh yang lain menghasilkan peroksida dan radikal bebas baru. Dengan demikian mulai terjadi reaksi peyebaran. Reaksi dapat diulangi sampai beberapa ribu kali dan mempunyai sifat sebagai reaksi berantai. Menurut Jadhav et al (1996); Deman (1999); Nawar (1996) reaksi penyebaran dapat diuliskan sebagai berikut:

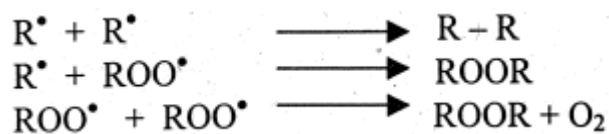


Gambar 2 3. Reaksi Penyebaran Oksidasi pada Minyak.

Radikal peroksi (ROO) akan bereaksi dengan molekul-molekul lain dan membentuk hidroperoksida dan radikal bebas. Hidroperoksida (ROOH) yang terbentuk pada bagian reaksi penyebaran merupakan produk oksida primer. Produk oksida ini biasanya tidak stabil dan terurai menjadi produk oksidasi sekunder, yang mencakup berbagai senyawa seperti karbonil dan lain- lain. Reaksi penyebaran menjadi proses yang berlangsung terus menerus selama tersedia asam lemak tak jenuh dalam sistem (Jadhav et al, 1996; Deman, 1999; Nawar, 1996).

c) Penghentian

Reaksi penyebaran dapat diikuti oleh penghentian jika radikal bebas bereaksi sendiri menghasilkan produk stabil. Mekanismenya ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 2 4. Reaksi Penghentian Oksidasi pada Minyak.

Menurut DeMan (1999), pada tahap reaksi penyebaran akan terjadi kenaikan kandungan perioksida secara tiba-tiba. Karena perioksida mudah ditentukan kadarnya dalam minyak, bilangan perioksida sering digunakan untuk mengukur perkembangan oksidasi. Perubahan secara organoleptic lebih erat kaitannya dengan produk oksidasi sekunder, yang dapat diukur dengan berbagai cara, termasuk uji *thiobarbituric acid* (TBA), yakni suatu uji yang amat populer untuk mengukur ketengikan minyak.

6. Kandungan Air

Kandungan air mengurangi hambatan listrik pada minyak trafo dan menyebabkan ionisasi sehingga menyebabkan kerusakan pada isolasi padat dan cair. Jika terjadi hubungan pendek antar belitan, maka kertas isolasi pada belitan akan terbakar dan menghasilkan karbon. Hal ini karena minyak transformator dan kertas isolasi merupakan bahan organik yang mengandung atom karbon. Ionisasi pada kertas isolasi menghasilkan atom bebas berupa atom hidrogen dan oksigen sehingga menghasilkan senyawa baru yaitu air (H_2O). Air dan oksigen yang terbentuk dapat menghasilkan asam, menyebabkan korosi, menghasilkan endapan, dan mempercepat penurunan umur transformator. (Oksa Winanta, Amrita and Ariastina, 2019).

7. Tegangan Tembus

Tegangan tembus minyak transformator perlu diukur karena berkaitan dengan kemampuan minyak menahan tegangan tembus tanpa kerusakan. Tegangan tembus dapat diukur dengan memasukkan dua buah elektroda bola (setengah bola) ke dalam minyak yang akan diukur. Jika diperoleh tegangan

tembus yang lebih rendah, maka dapat dikatakan minyak transformator terkontaminasi (Suherman and Akbar, 2020).

2.2.3. Pengukuran Tegangan Tembus

Pengukuran tegangan tembus (BreakdownVoltageTest) merupakan salah satu pengujian pemeliharaan yang dilakukan terhadap minyak isolasi. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan isolasi minyak terhadap tegangan yang diberikan, jika nilai tegangan tembusnya tinggi maka dapat disimpulkan minyak masih dalam kondisi baik begitu pula sebaliknya. (Widyastuti and Wisnuaji, 2019).

Tegangan tembus adalah nilai tegangan (diukur dalam kV) yang menghasilkan kuat medan listrik pada suatu bahan isolasi sama dengan atau lebih besar dari kuat dielektrik bahan isolasi tersebut. Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi pada minyak berupa air, kotoran atau partikel konduktif. Nilai minimum minyak isolasi sebelum pengolahan adalah 30 kV/2.5mm, dan nilai minimum minyak isolasi setelah pengolahan adalah 50 kV/2.5mm.(Bukit, 2021).

Tabel 2 2. Standar Tegangan Tembus SPLN 49-1 :1982

Tegangan Peralatan	Jarak sela (mm)	Tegangan Tembus
≥ 170 kV	2,5	≥ 50 kV
70 - 170 kV	2,5	≥ 40 kV
≤ 70 kV	2,5	≥ 30 kV

Standardisasi di tingkat internasional dilakukan oleh komite teknis IEC (International Electrotechnical Commission). Di tingkat nasional Indonesia,

meningkat lebih cepat dan cenderung tidak stabil di medan listrik tinggi. Ini dianggap sebagai peningkatan arus yang disebabkan oleh pelepasan elektron di katoda oleh salah satu atau keduanya dan mungkin dengan terputusnya ikatan pada molekul yang dibantu oleh medan listrik dalam cairan (E. Kuffel, 2000).

2.2.5. Kegagalan Isolasi Cair

Cairan isolasi komersial tidak murni secara kimiawi dan memiliki pengotor seperti gelembung gas, partikel tersuspensi dan lain lain. Kotoran ini mengurangi kekuatan kerusakannya ini cairan sangat banyak. Mekanisme kerusakan juga sangat dipengaruhi oleh keberadaan dari kotoran ini. Selain itu, ketika kerusakan terjadi pada cairan ini, gas dan gas tambahan gelembung-gelembung berkembang dan produk penguraian padat terbentuk. Permukaan elektroda menjadi kasar, dan terkadang suara ledakan terdengar karena adanya tekanan impulsif melalui cairan (M. S. Naidu, 2013).

Mekanisme penguraian dalam cairan komersial tergantung, seperti yang terlihat di atas, pada beberapa faktor, seperti sifat dan kondisi elektroda, sifat fisik cairan, dan kotoran dan gas yang ada dalam cairan. Beberapa teori telah diusulkan untuk menjelaskan kerusakan dalam cairan, dan mereka diklasifikasikan sebagai berikut:(M. S. Naidu, 2013)

a. Teori Kegagalan Elektronik

Menurut teori ini, elektron dipancarkan dari katoda. Dalam perjalanan ke anoda, elektron bertabrakan dengan atom-atom cairan molekul. Jika energi yang cukup ditransfer selama tabrakan tersebut, beberapa elektron terlempar dari atomnya dan melayang dengan yang asli elektron menuju anoda. Dengan

demikian, longsoran elektron seperti yang terjadi pada pelepasan gas berkembang dalam cairan dan akhirnya menyebabkan kerusakan (E. Kuffel, 2000).

a. Teori Kegagalan Gelembung Atau Kavitas

Cairan isolasi mungkin mengandung gas dalam bentuk gelembung. Proses pembentukan gelembung meliputi (M. S. Naidu, 2013):

- i. kantong gas pada permukaan elektroda,
- ii. perubahan suhu dan tekanan,
- iii. disosiasi produk oleh tumbukan elektron yang menimbulkan produk gas,
- iv. penguapan cairan oleh pelepasan tipe korona dari titik-titik dan ketidakraturan pada elektroda

Setelah gelembung terbentuk, gelembung akan memanjang ke arah medan listrik di bawah pengaruh gaya elektrostatis. Volume gelembung tetap konstan selama pemanjangan. kekuatan kerusakan tergantung pada ukuran awal gelembung yang pada gilirannya dipengaruhi oleh tekanan hidrostatik dan suhu cairan. (M. S. Naidu, 2013).

b. Teori Kegagalan Bola Cair

Biasanya, dalam cairan komersial seperti minyak transformator, sejumlah uap air (uap air) dan jumlah air yang sangat sedikit akan ada. Jumlah maksimum air yang ada dalam minyak yang baik kualitas akan kurang dari 50 ppm pada suhu atmosfer sekitar 30°C atau kurang. Keberadaan air dalam minyak dapat menurunkan kekuatan dielektrik minyak tersebut, yang berarti kemampuan minyak untuk menahan tegangan listrik berkurang. Pada suhu rendah, air di dalam minyak terbagi menjadi gumpalan-gumpalan kecil. Gumpalan-gumpalan ini

bertindak sebagai titik lemah, memungkinkan arus listrik untuk melewati minyak dengan lebih mudah dan mengurangi kekuatan dielektrik. Saat suhu meningkat hingga 80°C atau lebih, air dalam minyak mulai mendidih dan berubah menjadi uap, membentuk gelembung-gelembung di dalam minyak. Gelembung-gelembung uap ini menciptakan ruang kosong yang mengganggu distribusi medan listrik di dalam minyak, membuatnya kurang efektif sebagai isolator. Baik gumpalan air pada suhu rendah maupun gelembung uap pada suhu tinggi menyebabkan penurunan kekuatan dielektrik minyak, sehingga minyak menjadi kurang mampu menahan tegangan listrik. Oleh karena itu, penting untuk menjaga minyak dalam peralatan listrik tetap bebas dari air untuk mempertahankan kekuatan dielektriknya (M. S. Naidu, 2013).

c. Teori Kegagalan Partikel Padat Dalam Cairan

Dalam cairan komersial, kotoran padat tidak dapat dihindari dan hadir sebagai serat atau partikel padat. Partikel ini memiliki permitivitas (ϵ_2) berbeda dari permitivitas cairan (ϵ_1). Jika partikel berbentuk bola dengan jari-jari (r) berada dalam medan listrik (E), partikel tersebut akan mengalami gaya (F). Jika $\epsilon_2 > \epsilon_1$, seperti pada partikel padat (misalnya, kertas), partikel terdorong ke arah tegangan maksimum. Sebaliknya, jika $\epsilon_2 < \epsilon_1$ seperti pada gelembung gas, partikel terdorong ke arah tegangan minimum. Dengan medan listrik (DC) atau (AC), partikel-partikel ini sejajar membentuk rantai yang menjembatani celah elektroda, menyebabkan kerusakan pada elektroda. (M. S. Naidu, 2013).

Jika hanya ada satu partikel konduktif di antara elektroda, partikel tersebut akan menghasilkan medan listrik di sekitar yang kuat tergantung pada bentuknya.

Jika medan ini melebihi kekuatan dielektrik cairan, kerusakan di sekitar akan terjadi di dekat partikel tersebut. Hal ini akan menghasilkan pembentukan gelembung gas yang dapat menyebabkan kerusakan lebih lanjut pada cairan. Kekuatan dielektrik cairan yang mengandung partikel pengotor padat ternyata jauh lebih rendah dibandingkan dengan cairan murni. Partikel pengotor ini mengurangi kekuatan dielektrik, dan juga diamati bahwa semakin besar ukuran partikel, semakin rendah kekuatan dielektriknya (M. S. Naidu, 2013).

2.2.6. Minyak Kelapa Murni

. Kelapa telah dikenal digunakan sebagai bahan makanan dan kesehatan selama lebih dari 4000 tahun. Selama ini masyarakat menyadari bahwa kelapa sangat bermanfaat dan tidak memiliki efek samping. Pohon kelapa dianggap sebagai sumber daya yang berkelanjutan, dan hasil panennya mempengaruhi setiap aspek kehidupan masyarakat di daerah tropis. Yang penting adalah buah-buahan, daging kelapa, air kelapa, santan dan minyak (Widiyanti, 2015).

Beberapa tahun terakhir, pemanfaatan daging kelapa semakin beragam. Virgin Coconut Oil (VCO) merupakan salah satu olahan daging kelapa yang mulai banyak diproduksi masyarakat akhir-akhir ini. Di beberapa daerah, VCO lebih dikenal dengan sebutan minyak murni, minyak sara, atau minyak kelapa murni (Widiyanti, 2015).



Gambar 2 6. Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil) (Sumber: www.gonavco.com).

Pengolahan minyak kelapa biasa atau minyak goreng konvensional menghasilkan kualitas minyak kelapa yang lebih rendah. Hal ini ditandai dengan adanya kandungan air dan asam lemak bebas yang cukup tinggi dalam minyak kelapa. Faktanya, warnanya agak coklat, sehingga cepat berubah menjadi asam. Umur simpannya tidak lama, hanya sekitar dua bulan. Oleh karena itu, serangkaian uji coba dilakukan untuk meningkatkan teknologi pengolahan minyak kelapa sehingga diperoleh minyak kelapa dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan metode sebelumnya. Minyak kelapa yang dihasilkan mempunyai kadar air dan asam lemak bebas yang rendah, warna jernih dan bau yang harum. Umur simpannya juga lebih lama, bisa melebihi 12 bulan (Widiyanti, 2015).

Minyak kelapa murni merupakan produk olahan kelapa yang tidak mengandung asam lemak trans (TFA), atau asam lemak trans. Asam lemak trans ini dapat diproduksi karena proses hidrogenasi. Agar tidak mengalami proses hidrogenasi, ekstraksi minyak kelapa dilakukan dengan proses dingin. Misalnya melalui fermentasi, scooping, sentrifugasi, pemanasan terkontrol, pengeringan cepat kelapa parut, dan lain-lain (Widiyanti, 2015).

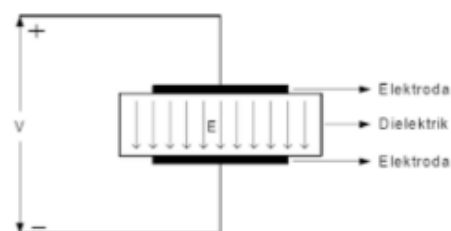
Minyak kelapa murni memiliki sifat kimia-fisika antara lain:

1. Penampakan : tidak berwarna, Kristal seperti jarum
2. Aroma : ada sedikit berbau asam ditambah bau caramel
3. Kelarutan : tidak larut dalam air, tetapi larut dalam alcohol (1:1)
4. Massa jenis : 0,883 g/ml pada suhu 20°C
5. ph: tidak terukur, karena tidak larut dalam air. Namun karena termasuk dalam senyawa asam maka dipastikan memiliki pH di bawah 7

6. Persentase penguapan : tidak menguap pada suhu 21°C (0%)
 7. Titik cair : 20-25°C
 8. Titik didih : 225°C
 9. Kerapatan udara (Udara = 1) : 6,91
 10. Tekanan uap (mmHg) : 1 pada suhu 121°C
 11. Kecepatan penguapan (Asam Butirat = 1) : tidak diketahui
- (Widiyanti, 2015).

2.2.7. Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik adalah ukuran kemampuan suatu bahan untuk menahan medan listrik tanpa menyebabkan tembus listrik pada bahan isolasi. Kekuatan dielektrik suatu zat cair bergantung pada sifat atom dan molekul zat cair itu sendiri. Namun kekuatan dielektrik pada dasarnya dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu bahan elektroda, suhu, jenis tegangan yang diberikan, gas yang terkandung dalam cairan, dan lain - lain, yang semuanya mengubah sifat molekul cairan. Dalam isolasi cair, kekuatan dielektrik setara dengan tegangan yang diberikan (Bukit, 2021).



Gambar 2 7. Rangkaian Dielektrik diantara Dua Buah Elektroda

Apabila suatu dielektrik ditempatkan diantara dua elektroda sejajar seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.6. Kemudian tegangan diterapkan ke elektroda, menciptakan medan listrik di dielektrik. Medan listrik ini akan memberikan gaya

pada elektron sehingga menyebabkan elektron terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Peristiwa ini akan menyebabkan dielektrik berubah sifat dan menjadi konduktor akibat dibebani medan listrik. Setiap dielektrik mempunyai batas kekuatan yang mampu menahan sengatan listrik. Apabila beban medan listrik yang dibawa oleh bahan isolasi melebihi batas tersebut, maka dielektrik akan menghantarkan arus atau gagal menjalankan fungsinya sebagai isolator, yang pada akhirnya menyebabkan bahan isolasi tersebut mengalami tembus listrik. (Bukit, 2021)

Kuat medan listrik yang dapat ditahan oleh bahan dielektrik dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan yang menyebabkan tembus listrik (kV) dengan tebal isolasi (d) yang membentuk jarak antara kedua elektroda. Hal ini dapat dilihat pada Persamaan 2.1 (Bukit, 2021):

$$E = \frac{V}{d} \quad (2.1)$$

Dimana :

E = Kuat medan listrik yang dapat ditahan oleh bahan dielektrik (kV/cm)

V = Tegangan maksimum yang dibaca oleh alat ukur (kV)

d = Tebal isolasi (cm)

2.2.8. Rugi Dielektrik

Delta (δ) adalah sudut rugi-rugi yang terbentuk ketika sebuah arus diukur dari isolasi yang tidak ideal atau kurang dari sudut 90° ($90-\Theta$). Arus yang menghasilkan sudut 90° bersifat kapasitif (IC), tetapi dalam kenyataannya ada arus yang bersifat resistif (IR) yang membuat sudut yang dihasilkan kurang dari 90° . Dalam hal ini dapat dikatakan semakin tinggi nilai kapasitansi semakin bagus

nilai isoalsi dari perangkat elektronik, dan Tan Delta (δ) adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengukur nilai kapasitansi sebuah isolasi dari perangkat elektronik (Abidin, 2019).

Rugi-rugi dielektrik diduga kuat disebabkan oleh adanya elektron bebas dalam isolasi cair menyebabkan arus konduksi dalam minyak, yang menyebabkan sudut rugi-rugi dielektrik meningkat dengan arus konduksi. Apabila arus konduksi semakin besar maka sudut rugi-rugi dielektrik semakin besar (Hanung, 2019).

Karakteristik $\tan \delta$ digunakan untuk mengukur efisiensi dielektrik. Peningkatan nilai $\tan \delta$ menyebabkan pemanasan dielektrik, yang merupakan efek langsungnya. Efek tidak langsungnya termasuk peningkatan korosi logam, laju kerusakan dielektrik, emulsifikasi air, larutan air, dan kecepatan oksidasi (Hanung, 2019)

Untuk menentukan $\tan \delta$ dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Tan } \delta = \frac{\sigma}{\epsilon \cdot \omega} = \frac{1}{p \epsilon \omega} \quad 2.2$$

Dimana :

Tan δ = Rugi – rugi dielektrik

p = Resistivitas

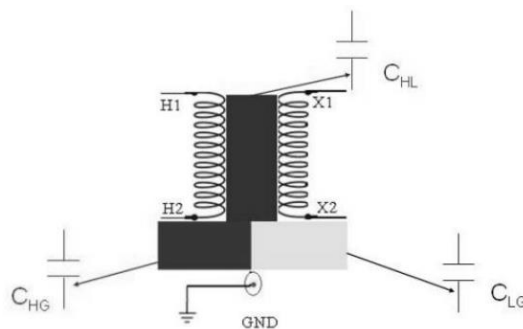
ϵ = Konstanta ($8,85 \times 10^{-12}$)

ω = $2 \cdot \pi \cdot f$

σ = Konduktivitas

(Mahardika, Winardi and Syakur, 2017).

Ada tiga bagian transformator yang dapat diukur nilai kapasitasnya: kapasitansi tinggi ke rendah (CHL), kapasitansi tinggi ke tanah (CHG), dan kapasitansi rendah ke tanah (CLG). Pengujian Tan Delta (δ) dapat digunakan untuk mengukur tingkat isolasi transformator; isolasi dikatakan baik jika bersifat kapasitif. (Abidin, 2019).



Gambar 2 8. Kapasitansi Transformator

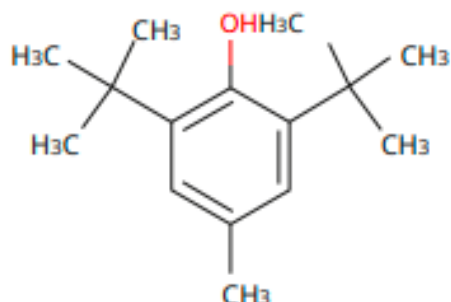
Salah satu dari tiga bagian pengukuran nilai kapasitansi antar belitan (CHL) memiliki faktor koreksi yang cukup kecil karena tidak terpengaruhi oleh kontaminasi permukaan luar. Sebaliknya, pada bushing dengan voltase tinggi (CHG) dan bushing dengan voltase rendah (CLG), kontaminasi permukaan yang disebabkan oleh debu, kotoran, dll. dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Nilai standar faktor pengurangan (Tan Delta (δ)) menurut Doble (ANSI C 57.12.90):

Tabel 2 3. Standar Nilai Dissipation Factor (Tan Delta(δ))

Nilai Tan Delta	Kategori
<0,5%	Bagus
0,5%>x<0,7%	Cukup
0,7%>x<1%	Investigasi
>1%	Buruk

2.2.9. Butylated hydroxytoluene (BHT)

Butylated hydroxytoluene (BHT) dengan rumus kimia $C_{15}H_{24}O$ merupakan antioksidan yang biasanya digunakan untuk makanan, pakan ternak; digunakan dalam produk minyak bumi, karet sintetis, plastik, minyak hewani dan nabati, serta sabun. Ia juga digunakan sebagai agen antiskinning dalam cat dan tinta (Thakore, 2014).



Gambar 2 9. Struktur kimia BHT (Butylated hydroxytoluene) (Sumber: Thakore, 2014)

BHT adalah padatan kristal putih dengan sifat fisika Titik lelehnya adalah 70 C, titik didihnya 265 C, titik nyala 127 C, dan berat jenisnya adalah 1,048 gr/cm³ pada 20 C (Thakore, 2014). Sifat kimia Butylated hydroxytoluene (BHT) antara lain adanya senyawa hidrokarbon yang berperan sebagai penghambat oksidasi dan menjaga kestabilan sehingga dapat meningkatkan kualitas minyak.



Gambar 2 10. Butylated hydroxytoluene (BHT) (Sumber: www.echemi.com).

Pada penelitian sebelumnya mengenai penambahan konsentrasi BHT pada minyak khususnya pada minyak kemiri sunan. Penambahan zat BHT memiliki potensi sebagai minyak isolasi karena memiliki tegangan tembus mencapai 34,97 kV/2,5mm dan BHT memiliki pengaruh yang baik terhadap kejernihan, viskositas dan tegangan tembus, Penambahan antioksidan pada minyak nabati meningkatkan tegangan tembus, berdampak positif pada stabilitas oksidatif, laju penuaan, dan

pembentukan gelembung gas sebelum dan setelah pengujian (Handayani *et al.*, 2023)

2.2 Penelitian Terkait dan Kebaruan Penelitian

Banyak penelitian yang mengkaji tentang minyak nabati sebagai bahan isolator cair transformator. Namun penelitian tersebut mempunyai metode, penambahan zat atau bahan campuran, karakteristik dan hasil yang berbeda. Penelitian yang terkait dengan penelitian yang dilakukan sebagai berikut.

Tabel 2 4. Penelitian Terkait.

No	Judul Jurnal	Penulis, Tahun	Pembahasan
1	Investigation Of Vegetable Oil Blended With Antioxidant	(Karthik, 2015)	Penelitian ini menganalisis pencampuran berbagai proporsi antioksidan dengan minyak nabati yang berbeda.ada penelitian ini, asam galat yang dipilih adalah asam galat dengan dosis 1 dan 5 gram (jumlah minimum dan maksimum). Minyak nabati yang dipakai yaitu minyak kedelai, dan minyak jagung. Dengan parameter pengujiannya yaitu, tegangan tembus, viskositas, kadar air, tegangan antar muka, keasaman, titik nyala dan titik didih. Investigasi keseluruhan menyimpulkan bahwa, ester alami yang ditransformasikan menggunakan antioksidan adalah pengganti minyak mineral yang tepat untuk transformator daya.
2	Analysis of Dielectric Strength of Virgin Coconut Oil as an Alternative Transformer Liquid insulation	(Ansyori <i>et al.</i> , 2019)	Makalah ini menyajikan hasil eksperimen dari sebuah penelitian yang telah dilakukan untuk menganalisa kekuatan dielektrik minyak kelapa murni untuk mengecek kesesuaiannya sebagai isolasi cair pada transformator tenaga. Pada penelitian ini pengukuran kekuatan dielektrik setelah dilakukan lima kali uji tegangan tembus baik elektroda setengah bola maupun elektroda bola. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa minyak kelapa murni akan menjadi alternatif minyak transformator. Maka untuk penelitian selanjutnya minyak kelapa murni harus diolah terlebih dahulu agar dapat memperbaiki karakteristik tegangan tembus minyak kelapa dan karakteristik lainnya

			seperti kadar air, viskositas dan titik nyala dll.
3	The Effect Of Antioxidants On The Performance Of Vegetable Oil In High Voltage Applications	(Hussin <i>et al.</i> , 2016)	Pada penelitian ini membahas pengaruh antioksidan pada minyak sawit (PO) dan minyak kelapa (CO), Minyak mineral (MO) diuji sebagai referensi. Zat antioksidan yang dipakai adalah TBHQ dan α -tocopherol. Sampel diuji secara elektrik dan fisik Uji kelistrikan seperti tegangan tembus, viskositas. dinamis, dan kadar air diselidiki.pencampuran antioksidan TBHQ dan α -tokoferol Performa PO + TBHQ dan CO + α - tokoferol mengikuti nilai standar untuk minyak transformator dan keduanya dapat digunakan untuk transformator daya. PO + TBHQ dan CO + α -tokoferol merupakan komposisi terbaik di antara sampel yang digunakan dalam penelitian ini untuk digunakan dalam aplikasi tegangan tinggi.
4	A Review of Soybean Oil Lipid Oxidation and Its Prevention Techniques	(Abdillah, Qonit and Indiarito, 2020)	Pada penelitian ini membahas tentang penggunaan minyak kedelai dengan penambahan zat antioksidan. Zat antioksidan diantaranya butylated hydroxyanisole (BHA), butylated hydroxytoluene (BHT), propyl-gallate (PG), tert-butyl hydroquinone (TBHQ) dan α -Tocopherol. Penambahan antioksidan digunakan untuk memutus siklus produksi radikal bebas dan pencegahan oksidasi, menghasilkan modifikasi genetik minyak kedelai oksidatif tingkat tinggi, dan menerapkan interesterifikasi lipid untuk meningkatkan stabilitas oksidatif.
5	Effect Of Antioxidants On The Performance Of Vegetable Oils As Liquid Dielectrics	(V.Champa, A.N.Nagashree , S.Vasudevamurthy, B.V.Sumangala , 2013)	Dalam penelitian ini, dua bahan alami yang tersedia secara lokal ester alami dan berbagai parameter dielektrik seperti Faktor Disipasi, Permittivitas Relatif dan Tegangan tembus dipelajari. upaya dilakukan untuk mendapatkan nilai faktor disipasi dan permittivitas yang lebih baik dengan menambahkan antioksidan. Pengaruh aditif. antioksidan food grade seperti BHT, TBHQ dan Propyl Gallate yang diselidiki. Faktor Disipasi dan permittifitas Relatif dianalisis untuk suhu dari suhu kamar hingga 90°C sebelum dan sesudah perlakuan kimia. Hasil penelitian ini menjelaskan setiap sample mengalami peningkatan kualitas minyak termasuk tegangan tembus, Dengan

			konsentrasi aditif BHT 2%, menunjukkan nilai Disipasi yang sangat baik Faktor dengan mengurangi dari 0,028 menjadi 0,0024.
6	Investigation on the AC Breakdown Voltage of RBDPO Olein	(Sinan <i>et al.</i> , 2014)	Dalam penelitian ini menyelidiki tegangan tembus AC dari RBDPO Olein sebelum dan sesudah pengeringan (dikeringkan dalam oven pada suhu 85°C selama 2 hari). Penelitian ini menunjukkan tegangan tembus AC telah meningkat setelah berbagai sampel RBDPO Olein dikeringkan. Namun, Tidak ada hubungan yang jelas antara kandungan lemak, vitamin E dan tegangan tembus AC.
7	Studi Pengujian Karakteristik Minyak Nabati Terhadap Tegangan Tembus Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Trafo	(Samsurizal, Makkulau and Zahra, 2022)	Penelitian ini menguji berbagai macam minyak nabati pengganti bahan bakar fosil. Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah dengan menguji secara langsung tegangan tembus minyak nabati seperti minyak kastanye, minyak jarak, dan minyak kelapa. Pada penelitian dan pengujian yang dilakukan pada minyak kelapa, minyak parafin dan minyak jarak ditemukan nilai tegangan tembus sebesar 12,93 kV, 14 kV dan 68,73 kV. Oleh karena itu berdasarkan hasil pengujian dapat dikatakan tegangan tembus minyak jarak sebesar 68,73 kV yang berarti dapat digunakan sebagai pengganti minyak trafo yang ada karena tegangan tembusnya memenuhi standar nasional. PLN.
8	Analisis Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil) Sebagai Isolasi Cair Dengan Variasi Elektroda Uji	(Budiyantoro, Abdul Syakur, ST and M Facta, ST, 2011)	Pengujian ini menggunakan pasangan elektroda belahan-belahan, bidang-bidang, dan belahan-bidang. Pengujian dilakukan dengan berbagai variasi, antara lain perubahan jarak celah, diameter elektroda, bentuk elektroda, dan letak elektroda. Dari hasil pengujian, nilai tegangan tembus minyak kelapa murni sebesar 29,17 kV/2,5 mm. Nilai tersebut belum memenuhi standar IEC 156 yaitu 30 kV/2,5 mm. Dari hasil tersebut minyak kelapa murni tidak dapat digunakan sebagai bahan isolasi cair pengganti minyak trafo jika hanya berdasarkan nilai tegangan tembusnya saja..
9	Analisis Tegangan Tembus Dan Viskositas Minyak	(Hariyanto, 2014)	Penelitian ini mengeksplorasi pengaruh ketiga aditif tersebut terhadap sifat minyak transformator. Bahan aditif antara lain BHT, amina dan fenol, dilihat dari hasil pengujian, bahan aditif tersebut mampu

	Transformator Dengan Aditif Amina, Bht, Dan Fenol		meningkatkan kekentalan minyak trafo. Dan dilihat dari hasil pengujian tegangan tembus, selain bahan tambahan amina, bahan tambahan BHT dan bahan tambahan fenolik dapat meningkatkan nilai tegangan tembus produk minyak bumi. Nilai tegangan tembus tertinggi pada penggunaan aditif BHT sebesar 39,93 kV.
10	Kinerja Dielektrik Minyak Goreng Kelapa Sawit dengan Aditif Fenol Sebagai Alternatif Isolasi Cair Transformator Daya	(Ramadhan, 2019)	Penelitian ini dilakukannya uji tegangan tembus, uji densitas (ρ) dan uji konstanta dielektrik (ϵ_r) dilakukan pada setiap sampel uji. Hasil penelitian didapatkan bahwa pada jumlah penambahan fenol sebesar 15% dan 20%, nilai tegangan tembus minyak nabati sawit murni sebesar 14,403 kV. Pada penambahan fenol 15% nilai tegangan tembusnya sebesar 30,436 kV dan nilai densitasnya sebesar 0,913 gr/cm ³ ; dengan penambahan fenol 20% nilai tegangan tembusnya sebesar 34,446 kV dan nilai densitasnya sebesar 0,926 gr/cm ³ .
11	Analisis Pengaruh Aditif BHT Terhadap Karakteristik Minyak Kemiri Sunan Sebagai Alternatif Isolasi Cair Transformator Daya	(Firmansyah, 2019)	Pada penelitian ini dilakukan uji tegangan tembus, uji densitas dan uji viskositas pada setiap sampel uji. Jika BHT semakin berubah maka nilai tegangan tembusnya akan semakin besar. Bila perubahan BHT 5% = 17,58 kV, perubahan BHT 10% = 24,33 kV, perubahan BHT 15% = 29,7566, bila perubahan BHT 20% = 34,97 kV. Semakin besar persentase BHT maka nilai densitasnya semakin tinggi, sedangkan nilai viskositas kinematik dan kejernihannya semakin menurun. Nilai densitas pada variasi BHT 5% sebesar 0,876 g/cm ³ , sedangkan nilai densitas pada variasi BHT 20% meningkat menjadi 0,907 g/cm ³ . Pada perubahan BHT 5%, viskositas kinematiknya menjadi 32 cSt, dan pada konsentrasi BHT 20%, viskositas kinematiknya turun menjadi 20 cSt. Konsentrasi BHT sebesar 5% mempunyai transparansi sebesar 2,5, sedangkan perubahan konsentrasi BHT sebesar 20% menurunkan nilai transparansi
12	Investigasi Karakteristik Tegangan Tembus Pada Minyak Kedelai Dengan	(Ramadhani, 2022)	Pengujian tegangan tembus dilakukan pada penelitian ini. Dari hasil pengujian diperoleh rata-rata Vbd minyak kedelai murni (0% BHT) sebesar 2,797kV. Pada konsentrasi BHT 0,05% rata-rata Vbd minyak kedelai murni meningkat sebesar

	Penambahan Antioksidan Butylated Hydroxytoluene Sebagai Alternatif Minyak Isolasi Transformator	18,91% atau 3,326 kV. Sampel dengan penambahan BHT 0,1% memperoleh rata-rata tegangan tembus tertinggi yaitu 3,972 kV lebih tinggi 42% dibandingkan rata-rata Vbd minyak kedelai murni. Pada konsentrasi 0,15% berat, Vbd BHT meningkat sebesar 34,82% atau 3,771 kV dibandingkan rata-rata Vbd minyak kedelai murni. Konsentrasi 0,2wt% menurunkan rata-rata Vbd minyak kedelai murni sebesar 4,64% atau 2,667kV, menunjukkan bahwa komposisi filler optimal diperoleh pada BHT 0,1%.
--	---	--

Penelitian terkait berfungsi untuk analisa dan menambah pembahasan penelitian serta membedakannya menggunakan penelitian yang sedang dilakukan. Dalam penelitian ini disertakan 6 jurnal internasional dan 6 jurnal nasional Tabel 2.2 merupakan penelitian yang terkait dengan penggunaan minyak nabati sebagai minyak isolasi cair transformator serta penambahan zat aditif untuk meningkatkan kualitas minyak:

1. Pada Tabel 2.2 nomor 1, penelitian tersebut membahas tentang pencampuran berbagai proporsi antioksidan dengan minyak nabati yang berbeda. Antioksidan yang digunakan adalah asam galat Minyak nabati yang dipakai yaitu minyak kedelai, dan minyak jagung. Dengan parameter pengujiannya yaitu, tegangan tembus, viskositas, kadar air, tegangan antar muka, keasaman, titik nyala dan titik didih. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian tersebut yaitu pada penggunaan minyaknya menggunakan minyak kelapa murni (*Virgin Coconut Oil*), penambahan zat antioksidannya menggunakan BHT serta pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tegangan tembus, masa jenis, dan viskositas.

2. Pada Tabel 2.2 nomor 2, penelitian tersebut membahas tentang penggunaan minyak kelapa murni dalam rangka mengecek kesesuaiannya sebagai isolasi cair pada transformator tenaga dengan menguji tegangan tembus. Ada kesamaan dari penelitian tersebut yaitu menggunakan minyak kelapa murni tetapi Perbedaan penelitian ini dengan penelitian tersebut yaitu adanya penambahan zat antioksidannya menggunakan BHT serta pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tegangan tembus, masa jenis, dan viskositas. Penambahan BHT ini berguna untuk meningkatkan kualitas minyak.
3. Pada Tabel 2.2 nomor 3, penelitian tersebut membahas tentang pengaruh antioksidan pada minyak sawit (PO) dan minyak kelapa (CO) dalam kinerja tegangan tinggi, ada beberapa sampel yang digunakan. Minyak mineral (MO) juga diuji sebagai referensi. zat antioksidan yang dipakai adalah TBHQ dan α -tocopherol. Dengan menguji tegangan tembus, viskositas, dan kadar air. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian tersebut yaitu pada penggunaan minyaknya menggunakan minyak kelapa murni (*Virgin Coconut Oil*), penambahan zat antioksidannya menggunakan BHT serta pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tegangan tembus, masa jenis, dan viskositas.
4. Pada Tabel 2.2 nomor 4, penelitian tersebut membahas tentang penggunaan minyak kedelai dengan penambahan zat antioksidan. Zat antioksidan diantaranya butylated hydroxyanisole (BHA), butylated hydroxytoluene (BHT), propyl-gallate (PG), tert-butyl hydroquinone (TBHQ) dan α -Tocopherol. Penambahan antioksidan digunakan untuk memutus siklus produksi radikal bebas dan pencegahan oksidasi, hal ini yang menjadi

motivasi dalam pembaruan penelitian yaitu pencegahan oksidasi dikarenakan akan berpengaruh pada kualitas minyak khususnya untuk isolasi cair akan menurunkan kualitas dielektriknya. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian tersebut yaitu pada penggunaan minyaknya menggunakan minyak kelapa murni (*Virgin Coconut Oil*), penambahan zat antioksidannya menggunakan BHT serta pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tegangan tembus, masa jenis, dan viskositas.

5. Pada Tabel 2.2 nomor 5, penelitian tersebut membahas tentang penggunaan dua bahan alami yang tersedia secara lokal ester alami dan berbagai parameter dielektrik seperti Faktor Disipasi, Permittivitas Relatif dan Tegangan tembus. Adapun upaya dilakukan untuk mendapatkan nilai faktor disipasi dan permitivitas yang lebih baik dengan menambahkan antioksidan. Penambahan aditif. antioksidan food grade seperti BHT, TBHQ dan Propyl Gallate. hasilnya dengan konsentrasi aditif BHT 2% pada sample telah menunjukkan nilai Disipasi yang sangat baik. Hal ini yang menjadi motivasi dalam penelitian ini. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian tersebut yaitu pada penggunaan minyaknya menggunakan minyak kelapa murni (*Virgin Coconut Oil*), penambahan zat antioksidannya menggunakan BHT serta pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tegangan tembus, masa jenis, dan viskositas.
6. Pada Tabel 2.2 nomor 6, penelitian tersebut membahas tentang menyelidiki tegangan tembus AC dari RBDPO Olein sebelum dan sesudah prosedur pengeringan (dikeringkan dalam oven bersirkulasi udara untuk

menghilangkan kelembapan pada suhu 85°C selama 2 hari). Perbedaan penelitian ini dengan penelitian tersebut yaitu pada penggunaan minyaknya menggunakan minyak kelapa murni (*Virgin Coconut Oil*), penambahan zat antioksidannya menggunakan BHT serta pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tegangan tembus, masa jenis, dan viskositas.

7. Pada Tabel 2.2 nomor 7, penelitian tersebut membahas tentang penggunaan minyak nabati sebagai pengganti isolasi cair berbahan minyak mineral dengan menguji tegangan tembus. Minyak nabati yang dipakai yaitu minyak kemiri, minyak jarak, dan minyak kelapa. Dari hasil penelitian tersebut memperlihatkan minyak kelapa belum memenuhi standar tegangan tembus masih dikategorikan rendah. Hal ini yang menjadikan motivasi dalam penelitian ini. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian tersebut yaitu dengan penambahan zat antioksidan menggunakan BHT serta pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tegangan tembus, masa jenis, dan viskositas.. Penambahan BHT berpengaruh pada kualitas minyak khususnya untuk isolasi cair akan menaikkan kualitas dielektriknya.
8. Pada Tabel 2.2 nomor 8, penelitian tersebut membahas tentang Pengujian pada minyak kelapa murni ini merupakan pengujian tegangan tembus bolak-balik dengan variasi bentuk elektroda uji yang bertujuan untuk mengetahui besar tegangan tembusnya (Vbd). Jenis - jenis elektroda yang dipakai yaitu setengah bola-setengah bola, bidang-bidang dan bidang-setengah bola.. hal yang menjadi ketertarikan pada penelitian tersebut adalah penggunaan minyak kelapa murni, maka dari itu penelitian ini menggunakan minyak

kelapa murni. Dan terlihat bahwa tegangan tembus yang dihasilkan belum memenuhi standar, maka dari itu penelitian ini mencoba untuk meningkatkan tegangan tembusnya. Perbedaan penelitian ini yaitu dengan penambahan zat antioksidan menggunakan BHT serta pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tegangan tembus, masa jenis, dan viskositas.

9. Pada Tabel 2.2 nomor 9, penelitian tersebut membahas tentang bagaimana pengaruh 3 zat aditif tersebut terhadap karakteristik minyak transformator. Zat aditif yang digunakan adalah BHT, fenol, dan amina. Parameter yang diuji salah satunya adalah tegangan tembus. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian tersebut yaitu penggunaan minyaknya menggunakan minyak kelapa murni (*Virgin Coconut Oil*), penambahan zat antioksidannya menggunakan BHT serta pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tegangan tembus, masa jenis, dan viskositas.
10. Pada Tabel 2.2 nomor 10, penelitian tersebut membahas tentang penggunaan minyak goreng kelapa sawit dengan penambahan zat aditif fenol sebagai isolasi cair transformator. Parameter yang diuji diantaranya pengujian tegangan tembus, pengujian massa jenis (ρ) dan pengujian permitivitas (ϵ_r). Perbedaan penelitian ini dengan penelitian tersebut yaitu penggunaan minyaknya menggunakan minyak kelapa murni (*Virgin Coconut Oil*), penambahan zat antioksidannya menggunakan BHT serta pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tegangan tembus, masa jenis, dan viskositas.
11. Pada Tabel 2.2 nomor 11, penelitian tersebut membahas tentang Pengaruh Aditif BHT Terhadap Karakteristik Minyak Kemiri Sunan Sebagai Alternatif

Isolasi Cair Transformator Daya. Dengan menguji tegangan tembus, massa jenis dan viskositas. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian tersebut yaitu penggunaan minyaknya menggunakan minyak kelapa murni (*Virgin Coconut Oil*).

12. Pada Tabel 2.2 nomor 12, penelitian tersebut membahas tentang penggunaan minyak kedelai dengan penambahan antioksidan butylated hydroxytoulene sebagai alternatif minyak isolasi transformator dengan menguji tegangan tembus. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian tersebut yaitu pada penggunaan minyaknya menggunakan minyak kelapa murni (*Virgin Coconut Oil*), serta pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tegangan tembus, masa jenis, dan viskosias.