

# PENGUJIAN KEKUATAN DIELEKTRIK MINYAK SAWIT DAN MINYAK CASTROL MENGUNAKAN ELEKTRODE BOLA-BOLA DENGAN VARIASI JARAK ANTAR ELEKTRODE DAN TEMPERATUR

**Ngurah Ayu Ketut Umiati**

Jurusan Teknik Fisika, FMIPA, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedharto, SH, Tembalang, Semarang, 50275  
E-mail: ngurahayuketutumiati@yahoo.com

**Abstract.** In this paper we explained the breakdown voltage testing that has been done on two dielectric liquid, castrol oil and palm oil using ball to ball electrode.

This research observed the effect analysis of electrode gap distance to breakdown voltage, relation between temperature and breakdown voltage, liquid viscosity and breakdown voltage, and increasing temperature to the liquid viscosity.

As the laboratory testing result, the breakdown voltage had proportional relation with the electrode gap distance. Viscosity of the liquid influence with its molecular structure and temperature. The liquid dielectricity depend on the electric field exposed and its viscosity. Palm oil has better dielectricity than castor oil in all distance variation and temperature. As the dielectric material must have big breakdown voltage value, the palm oil seen to have this feasibility according to its breakdown voltage 33,060 kV at gap distance 3 mm.

**Keywords:** breakdown voltage, temperature, viscosity, electrode gap distance, dielectric, castor oil, palm oil.

Listrik merupakan suatu energi yang mendominasi sebagian besar kehidupan manusia sekarang ini. Dari peralatan rumah tangga sampai mesin-mesin industri menggunakan energi listrik dalam pengoperasiannya. Untuk memenuhi kebutuhan ini, maka diperlukan peralatan tegangan tinggi sebagai penyalur daya listrik dari sumber pembangkit listrik kepada konsumen. Pemakaian tegangan tinggi, selalu mempertimbangkan keperluan, kondisi ekonomi, dan juga faktor ekonomis seperti pelaksanaan, pemeliharaan, faktor sosial budaya, dan pengaruh gangguan yang akan terjadi. Dalam penyaluran energi, tegangan yang dipakai biasanya adalah tegangan tinggi AC [1]. Tegangan tinggi adalah tegangan yang besarnya mulai dari 0,6 kV (600 volt) sampai dengan tegangan yang mempunyai nilai ribuan volt. Tegangan tinggi dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu : tegangan tinggi (*High Voltage*) yaitu antara 0,6 atau 1 kV sampai 2,4 kV, tegangan tinggi menengah (*Medium High Voltage*) dari 3 kV sampai 30 kV, tegangan ekstra tinggi (*Extra High Voltage*) yaitu dari 60 sampai 100 kV, dan untuk tegangan sebesar 240 kV sampai 1000 kV disebut tegangan ultra tinggi

(*Ultra High Voltage*) (Abduh, 2001). Peralatan listrik yang menggunakan tegangan tinggi memegang peranan sangat penting agar pendistribusian listrik berjalan dengan baik. Sehingga bahan isolasi sangat diperlukan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan, supaya antara penghantar-penghantar tersebut tidak terjadi lompatan listrik atau percikan api. Syarat dari bahan isolasi listrik yaitu memiliki kekuatan menahan medan listrik yang dinamakan kekuatan isolasi. Bila pada bahan dielektrik diberikan medan listrik yang melebihi kemampuannya, maka isolasi akan mengalami peristiwa *dielectric breakdown* (kedadalan pada material dielektrik). Dada yang terjadi pada saat peralatan listrik sedang beroperasi, dapat menyebabkan kerusakan alat sehingga kontinuitas sistem terganggu. Hal ini disebabkan oleh dua faktor yaitu adanya tegangan lebih (*over voltage*) dan pemanasan termal (*thermal stress*) karena adanya disipasi daya di dalam peralatan tegangan tinggi terutama transformator. Sebagai akibatnya, pada bahan dielektrik akan timbul kontaminan yang dapat berupa partikel padat, cair ataupun gas.

Keberadaan kontaminan ini sangat merugikan, karena menurunkan kualitas dielektrik pada peralatan tegangan tinggi. Bahkan untuk gas-gas yang mudah terbakar, jika disertai dengan oksigen dan temperatur yang cukup tinggi dapat menyebabkan terjadinya kebakaran pada transformator [4].

Untuk mengatasi hal tersebut, maka diperlukan suatu bahan isolasi listrik yang baik dan dapat mencegah adanya kedadalan pada peralatan tegangan tinggi. Secara umum, material terdiri dari material padat, cair, gas dan plasma. Pada material dielektrik cair yang sering diaplikasikan pada peralatan tegangan tinggi khususnya transformator, memiliki beberapa kelebihan antara lain [13] : kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan isolasi gas. Isolasi cair akan mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi secara serentak melalui proses konversi panas yang timbul akibat rugi energi. Selain itu, isolasi cair (dielektrik cair) cenderung dapat memperbaiki diri sendiri (*self healing*) jika terjadi pelepasan muatan (*discharge*).

Lebih dari satu abad, minyak mineral (minyak bumi) telah digunakan sebagai bahan isolasi cair. Meskipun minyak mineral ini memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi, tetapi karena berbasis pada minyak petroleum, sehingga memiliki sifat mudah terbakar (*flammable*). Selain itu, persediaan minyak petroleum di alam yang semakin sedikit jumlahnya, menyebabkan tingkat harganya relatif mahal. Untuk itu diteliti bahan dielektrik cair terutama minyak nabati, karena akan lebih aman dan efisien dibandingkan bila menggunakan minyak bumi dan turunannya. Di samping itu, proses penggantian minyak nabati di alam yang relatif cepat apabila telah digunakan.

Pada penelitian sebelumnya, bahan dielektrik yang digunakan adalah udara, dan minyak trafo jenis *Shell diala B* dengan elektroda bidang (pelat). Pada isolasi udara dengan jarak sela elektroda yang sama, memiliki nilai tegangan dadal lebih kecil dibandingkan pada bahan dielektrik minyak [5]. Bentuk geometri elektroda sangat mempengaruhi nilai tegangan dadal berdasarkan besarnya tingkat kelengkungan elektroda. Elektroda bola-bola memiliki nilai tegangan dadal yang lebih besar dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh elektrode jarum-setengah bola untuk jenis dielektrik yang sama.

Sehingga untuk melanjutkan dan melengkapi penelitian sebelumnya, elektroda yang digunakan adalah elektroda bola-bola dengan memvariasi berbagai bahan dielektrik sebagai sampel uji. Sampel-sampel tersebut adalah minyak castor dan minyak sawit. Pemilihan jenis bahan dielektrik seperti minyak castor, dan minyak sawit lebih disebabkan oleh tingkat harganya yang lebih rendah dibandingkan minyak *Shell diala B* (minyak trafo). Dan untuk mengetahui kelayakan dari bahan-bahan dielektrik tersebut sebagai alternatif isolasi peralatan listrik tegangan tinggi, maka dilakukan pengujian karakteristik listrik dengan salah satu parameter pengujian yaitu besarnya tegangan dadal.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, dapat diambil perumusan masalah yaitu bagaimana karakteristik fisis bahan dielektrik cair pada kondisi dadal (*breakdown*). Karakteristik fisis tersebut meliputi : jarak sela elektroda, viskositas, temperatur, dan besarnya tegangan dadal yang digunakan sebagai indikasi adanya dadal pada dielektrik cair dengan menggunakan elektroda berbentuk bola dan *chamber* kaca silinder.

Beberapa batasan yang perlu diberikan agar permasalahan yang akan dibahas menjadi terarah. Batasan tersebut adalah sebagai berikut :

- 1) Sampel uji yang digunakan adalah minyak castor dan minyak sawit.
- 2) Pengujian dilakukan dengan menggunakan elektroda berbentuk bola dari bahan aluminium dengan diameter  $\pm 30$  mm.
- 3) Pengujian tegangan dadal dilakukan pada temperatur (30,40,50) °C dengan interval 10 °C serta dengan jarak antar elektroda mulai 1 mm sampai 3 mm dengan interval 0,5 mm.
- 4) Tegangan yang diterapkan untuk pengujian, menggunakan tegangan AC dengan frekuensi 50 Hz.
- 5) Parameter yang akan diteliti meliputi pengaruh jarak sela elektroda, viskositas, serta temperatur terhadap besarnya tegangan dadal untuk masing-masing sampel uji.

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah (1) Mengamati dan menganalisis pengaruh jarak sela elektroda terhadap besarnya tegangan dadal yang terjadi pada bahan dielektrik cair. (2) Menganalisis pengaruh temperatur terhadap nilai tegangan dadal

(3) Menganalisis pengaruh viskositas terhadap tegangan dadal. (4) Mempelajari kenaikan temperatur terhadap besarnya viskositas dielektrik cair.

**BAHAN DIELEKTRIK**

Bahan dielektrik ideal adalah bahan yang tidak memiliki muatan bebas. Medan listrik menimbulkan gaya pada setiap partikel bermuatan. Muatan positif dan negatif dari setiap molekul berpindah dari letak kesetimbangannya ke arah yang berlawanan. Tetapi, perpindahan ini dibatasi oleh gaya pemulih yang kuat yang terjadi akibat perubahan susunan muatan dalam molekul. Perpindahan relatif muatan positif dalam dielektrik terhadap muatan negatif, menyebabkan dielektrik tersebut terpolarisasi. Besarnya polarisasi tidak hanya bergantung pada medan listrik, tetapi juga pada sifat molekul penyusun bahan dielektrik tersebut.

Sifat dielektrik dapat diperhatikan dalam semua fase material, yaitu padat, cair, gas dan plasma. Interaksi molekul dalam material pada level mikroskopis disebabkan adanya kuat medan listrik luar. Pertambahan medan listrik melalui interaksi muatan-muatan listrik pada medium dikenal dengan *hukum Coulomb*, yaitu :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \mathbf{a}_r \tag{2.1}$$

$$F = Q E \tag{2.2}$$

sehingga

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \mathbf{a}_r \tag{2.3}$$

dengan **F** menyatakan gaya interaksi Coulomb antara 2 muatan, berupa  $Q_1$  dan  $Q_2$  yang dipisahkan sejauh  $r$  meter dalam medium dielektrik, dan  $\mathbf{a}_r$  menyatakan vektor satuan sepanjang arah  $r$ . **F** dapat dinyatakan sebagai hasil kali dari  $Q$  dan **E** menyatakan intensitas medan listrik [9].

Intensitas medan listrik terkait dengan besaran yang dinamakan potensial listrik  $V$ . Potensial listrik merupakan besaran skalar yang dirumuskan secara matematis sebagai berikut :

$$E = - \nabla V \tag{2.4}$$

Sehingga diperoleh persamaan potensial listrik :

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} \tag{2.5}$$

dengan  $V$  menyatakan potensial pada distribusi muatan listrik.

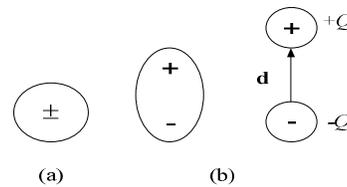
Dielektrik memiliki karakteristik memperlemah medan listrik antara elektroda. Molekul-molekul dalam dielektrik akan menghasilkan medan listrik tambahan yang arahnya berlawanan dengan medan listrik luar. Jika molekul-molekul dalam dielektrik bersifat polar, dielektrik tersebut memiliki momen dipol permanen. Momen dipol secara normal tersebar secara acak. Dalam pengaruh medan listrik di antara elektroda, momen dipol menerima gaya yang memaksa momen dipol tersebut menyearahkan diri dengan arah medan listrik. Kemampuan momen dipol menyearahkan diri dengan medan listrik bergantung pada kuat medan dan temperatur. Pada temperatur tinggi, gerak termal molekul-molekul yang bersifat acak cenderung menghambat proses penyearahan [15].

Momen dipol listrik terletak antara muatan positif dan negatif dengan besar yang sama yaitu  $Q$  seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.

Momen dipol listrik **p** didefinisikan sebagai sebuah vektor oleh persamaan :

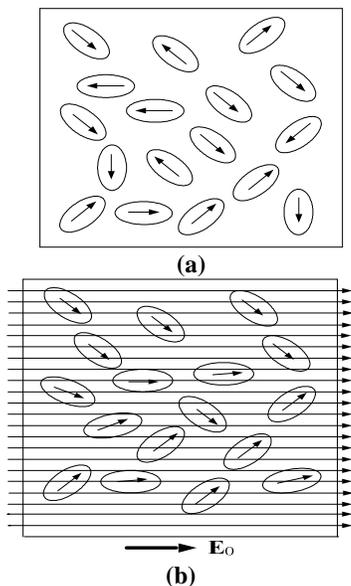
$$p = Q d \tag{2.6}$$

dengan **d** menyatakan vektor pergeseran di antara titik pusat muatan positif dan titik pusat muatan negatif, yang besarnya masing-masing adalah  $Q$  coulomb [9].



**Gambar 2.1 (a) molekul non polar (b) molekul polar yang diwakili oleh sebuah dipol listrik ekuivalen**

Jika molekul-molekul dielektrik bersifat non polar, maka dalam pengaruh suatu medan listrik luar, molekul-molekul dielektrik akan menginduksi momen-momen dipol yang searah dengan arah medan listrik. Suatu dielektrik dengan momen dipol yang searah dengan medan listrik dikatakan terpolarisasi oleh medan. Pada kasus tersebut, dipol-dipol molekular menghasilkan suatu medan listrik tambahan yang arahnya berlawanan dengan medan awal, sehingga dapat melemahkan medan awal.



**Gambar 2.2**  
**(a) Dipol-dipol listrik yang tersebar secara acak dari suatu dielektrik polar tanpa kehadiran medan listrik luar**  
**(b) Dalam pengaruh medan listrik luar, dipol-dipol menyearahkan dirinya sejajar dengan arah medan listrik [15]**

Dengan adanya sifat melemahkan medan listrik awal, dielektrik merupakan isolator, bersifat *inert* (lembam) dalam medan listrik dan memiliki kekuatan dielektrik. Kekuatan dielektrik dapat didefinisikan sebagai tekanan dielektrik maksimum yang dapat mengalirkan arus listrik dalam bahan dielektrik atau ukuran ketahanan suatu material terhadap tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kedadalan listrik (*electrical breakdown*). Kedadalan listrik umumnya terjadi akibat adanya pengotor, retak, garit (*flaw*), dan ketaksempurnaan lainnya, dan bukan merupakan karakteristik listrik bawaan material tersebut. Ketika medan listrik memasuki bahan dielektrik, dan mencapai medan kritisnya, medium mengalami *dielectric breakdown*, sehingga aliran arus dapat melewati dielektrik. Kekuatan dielektrik cair tergantung pada sifat atom dan molekul cairan, material elektroda, temperatur, jenis tegangan yang diberikan, gas yang terdapat dalam cairan dan sebagainya yang dapat mengubah sifat molekul cairan. Pada dielektrik cair, kekuatan dielektrik setara dengan tegangan yang terjadi [12].

**Bahan Dielektrik Cair**

Secara umum, dielektrik cair lebih banyak digunakan sebagai material isolasi dalam peralatan tegangan tinggi karena dielektrik cair

mempunyai beberapa kelebihan yaitu (Tadjuddin, 1998) :

- 1) Dielektrik cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan dielektrik gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi.
- 2) Dielektrik cair akan mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi secara serentak melalui proses konversi dengan menghilangkan panas yang timbul akibat rugi energi.
- 3) Dielektrik cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri (*self healing*) jika terjadi pelepasan muatan (*discharge*).

Tetapi dielektrik cair juga memiliki kekurangan yaitu mudah terkontaminasi.

Adanya tegangan lebih (*over voltage*) dan pemanasan termal (*thermal stress*) karena disipasi daya di dalam transformator menyebabkan pada bahan dielektrik cair akan timbul kontaminan yang berupa partikel padat, cair ataupun gas. Keberadaan kontaminan ini sangat merugikan, karena menurunkan kualitas dielektrik cair pada peralatan tegangan tinggi, terutama pada transformator. Bahkan untuk gas-gas yang mudah terbakar, jika disertai dengan oksigen dan temperatur yang cukup tinggi dapat menyebabkan terjadinya kebakaran pada transformator.

**Parameter fisis pada bahan dielektrik cair**

Parameter fisis pada bahan dielektrik cair adalah (Pender & Del Mar, 1949) :

- 1.) Kerapatan (*Density*)  
 Densitas merupakan perbandingan massa dan volume material tertentu.

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{2.7}$$

dengan  $m$  menyatakan massa dan  $V$  menyatakan volume zat cair. Densitas dielektrik cair (minyak dan oli) lebih kecil dibandingkan dengan air, oleh karena itu adanya air dalam minyak akan mudah terpisah.

- 2.) Kekentalan (*Viscosity*)  
 Viskositas adalah besaran yang menggambarkan kekuatan aliran zat cair. Bila sebuah bola bergerak dalam cairan statis, maka akan ada gaya penghambat. Menurut hukum Stokes :

$$R = 6\pi\eta rv \tag{2.8}$$

dengan  $R$  menyatakan gaya penghambat,  $r$  jari-jari bola,  $v$  kecepatan relatif bola dan  $\eta$  koefisien kekentalan yang digunakan dalam

menentukan besarnya viskositas zat cair. Viskositas dielektrik cair diukur dari waktu alir minyak dengan volume dan kondisi tertentu. Dalam fungsinya sebagai media pendingin, maka viskositas bahan dielektrik cair merupakan faktor penting dalam aliran konversi untuk memindahkan panas. Viskositas tergantung pada temperatur cairan.

### 3.) Tegangan Dadal (*Breakdown Voltage*)

Medan listrik memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Dengan kata lain, medan listrik merupakan suatu beban yang menekan dielektrik agar berubah sifat menjadi konduktor. Beban dari dielektrik dapat disebut sebagai terpaan medan listrik. Jika terpaan listrik melebihi batas kekuatan dielektrik dan berlangsung cukup lama, maka dielektrik akan menghantar arus atau berubah fungsinya sebagai bahan isolasi. Dalam hal ini, dielektrik mengalami dadal. Tegangan yang menyebabkan dielektrik tersebut mengalami dadal disebut tegangan dadal (*breakdown voltage*). Besarnya tegangan dadal pada dielektrik sama dengan atau lebih besar dari kekuatan dielektriknya [16]

Dari semua teori yang membahas tentang tegangan dadal pada material cair, dapat ditarik suatu hubungan antara jarak sela elektroda dengan kekuatan maksimum dielektrik. Hubungan antara jarak sela elektroda dengan tegangan dadal pada dielektrik cair dapat dirumuskan ke dalam persamaan umum yaitu :

$$V_{bd} = A d^n \quad (2.9)$$

dengan  $V_{bd}$  menyatakan besarnya tegangan dadal dan  $d$  menyatakan jarak sela elektroda,  $A$  dan  $n$  konstanta yang merupakan pendekatan logaritmis dari hubungan jarak sela elektroda dan tegangan dadal, dengan nilai  $n$  selalu  $< 1$  [1].

Tegangan dadal pada bahan dielektrik cair juga dipengaruhi oleh sifat alami tegangan, sistem tegangan, dan durasi waktu penggunaan tegangan. Hubungan dari faktor-faktor tersebut perlu mendapatkan perhatian, karena tekanan listrik (*electrical stress*) yang dialami minyak dapat ditentukan dari hubungan faktor-faktor tersebut. Banyak riset yang telah dilakukan oleh para ahli yang bertujuan untuk mengukur tegangan awal (*inception voltage*), peristiwa pelepasan muatan (*discharge*) pada minyak, serta

mengukur besarnya tegangan dadal dielektrik cair yang volumenya relatif besar pada berbagai kondisi yang berbeda [1].

### Komposisi Kimia Bahan Dielektrik Cair

Pada dasarnya, dielektrik cair yang digunakan sebagai material isolasi tersusun atas senyawa-senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon [9].

#### a.) 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 naphthena dan senyawa aromatik.

#### b.) Senyawa Non Hidrokarbon

Senyawa non hidrokarbon yang terdapat dalam dielektrik cair adalah substansi asphalt/ter, senyawa organik yang mengandung belerang dan nitrogen, asam naphthena, ester, alkohol dan senyawa organometalik.

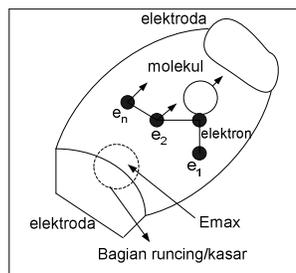
### Tegangan Dadal pada Bahan Dielektrik Cair

Fenomena fisis dari peristiwa *dielectric breakdown* adalah lucutan/percikan api dalam zat cair. Bila tegangan dinaikkan secara kontinyu, maka pada suatu tegangan kritis tertentu akan terjadi percikan api diantara kedua elektroda tersebut. Dielektrik ideal hanya terdiri dari molekul-molekul netral, sehingga tidak dapat mengalirkan arus listrik. Dadal yang terjadi pada dielektrik cair tergantung pada jumlah elektron bebas yang ada dalam dielektrik tersebut. Konsentrasi elektron bebas dalam dielektrik pada keadaan normal sangat kecil dan ditentukan oleh pengaruh gaya dari luar. Jika diantara elektroda diterapkan suatu tegangan listrik, maka akan timbul medan listrik yang mempunyai besar dan arah tertentu. Di dalam medan listrik, elektron-elektron bebas akan mendapat energi yang cukup kuat, sehingga dapat menyebabkan proses ionisasi dalam bahan dielektrik cair. Jika gradien tegangan cukup tinggi, maka jumlah elektron yang diionisasikan akan lebih banyak daripada jumlah ion yang ditangkap menjadi molekul-molekul. Tiap elektron ini kemudian akan menuju anoda secara kontinyu, dan mengalami benturan dengan molekul cairan yang membebaskan lebih banyak elektron. Dengan banyaknya elektron yang terbebas dari molekul dan atomnya, maka sifat dielektrik cair menjadi

hilang karena adanya aliran elektron yang menyebabkan adanya arus konduksi. Dan besarnya medan listrik setelah percikan dapat terukur dalam bentuk tegangan dadal [12]. Percikan api dalam dielektrik cair ini disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut [2] :

- 1) Besar medan listrik yang diaplikasikan pada dielektrik cair.
- 2) Gelembung gas dan butir-butir zat padat hasil dekomposisi zat cair (tergantung dari sifat kimiawi zat cair).
- 3) Lubang pada elektroda atau permukaan elektroda yang tidak rata.
- 4) Tekanan impulsif dalam zat cair disertai suara ledakan.

Terjadinya dadal disebabkan oleh elektron bebas yang terdapat pada zat cair. Elektron bebas inilah yang akan memulai proses dadal. Walaupun kuat medannya cukup besar, tetapi jika tidak terdapat elektron bebas maka tidak akan terjadi dadal. Jika diantara elektroda diterapkan suatu medan listrik yang kuat, sedangkan pada elektroda tersebut terdapat permukaan yang tidak rata (runcing), maka kuat medan yang terbesar terdapat pada bagian yang runcing tersebut. Kuat medan maksimum akan mengeluarkan elektron  $e_1$ , yang akan memulai terbentuknya banjiran elektron, sehingga terjadilah proses ionisasi [2].



**Gambar 2.3 Kuat medan maksimum pada ujung yang runcing**

Mekanisme dadal dalam dielektrik minyak pada keadaan yang sesungguhnya bukanlah peristiwa yang sederhana, apalagi penentuan besarnya tegangan dadal hanya didapat dari hasil eksperimen saja. Penentuan tegangan dadal pada minyak bervolume kecil tidak dapat digunakan pada minyak yang bervolume besar. Penelitian dilakukan pada minyak bervolume kecil menyesuaikan dengan pengujian oleh SPLN (Standar Perusahaan Listrik Negara) maupun standard IEC (*International Electrotechnical Commission*) [5].

## METODOLOGI PENELITIAN

### Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni – Agustus 2006 di Laboratorium Fisika Zat Padat Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan Laboratorium Konversi Energi Listrik dan Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.

### Alat dan Bahan Penelitian

#### Alat Penelitian

Dalam pengujian tegangan dadal pada bahan dielektrik cair, diperlukan beberapa peralatan yaitu sebagai berikut.

**Tabel 3.1 Peralatan yang digunakan pada pengujian tegangan dadal**

No.	Alat	Fungsi
1.	Regulator Tegangan	Mengatur besarnya tegangan listrik yang masuk ke rangkaian pengujian
2.	Pembangkit tegangan terdiri dari : Trafo <i>step up</i> Panel kontrol <i>-Operating terminal</i> <i>-Digital Measuring Instrument</i>	Membangkitkan tegangan AC 100 kV Menaikkan/menurunkan tegangan Penunjuk nilai tegangan dadal
3.	Resistor	Memiliki hambatan yang tinggi untuk melindungi trafo dari arus yang besar saat kondisi dadal
4.	Kapasitor	Meningkatkan kapasitansi pada rangkaian pengujian
5.	Tongkat pentanahan ( <i>ground stick</i> )	Membuang tegangan sisa ke bumi
6.	Kabel dan jepit buaya	Menghubungkan sampel uji dengan pembangkit tegangan
7.	Termometer air raksa	Mengukur temperatur sampel uji
8.	Kompur listrik dan panci aluminium	Memanaskan sampel uji
9.	Jangka sorong	Mengukur jarak sela antar elektroda
10.	Pengukuran viskositas : <i>-Bola-bola kaca</i> <i>-mikrometer skrup</i> <i>-mistar</i> <i>-stopwatch</i> <i>-timbangan digital</i> <i>-gelas ukur</i>	Sebagai media yang dihitung waktu jatuhnya mengukur diameter bola kaca Untuk mengukur jarak jatuh bola Untuk mencatat waktu Mengukur massa bola dan massa sampel uji Sebagai tempat lintasan jatuhnya bola

### Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut minyak castor (*Castor Oil*) dan minyak sawit (*Palm Oil*), merk BIMOLI.

### Prosedur Penelitian

#### Pengambilan Data

Pada pengujian tegangan dadal ( $V_{bd}$ ), masing-masing sampel uji dipanaskan sampai didapat temperatur yang diinginkan. Temperatur pengujian yaitu 30 °C, 40 °C, dan 50 °C. Bila sampel telah selesai dipanaskan, kemudian sampel tersebut dimasukkan ke dalam *chamber*. Untuk setiap variasi temperatur pada satu sampel uji, besarnya jarak sela elektroda juga divariasikan dari 1 mm sampai 3 mm dengan interval 0,5 mm. Kemudian tegangan dinaikkan sampai terjadi dadal, dengan ditandai adanya percikan api di sela elektroda dan suara ledakan. Untuk satu jarak sela elektroda, sampel uji dikenai tegangan tinggi sampai 5 kali pengulangan.

Pengukuran densitas dan viskositas dilakukan pada kondisi sebelum dan setelah dikenai tegangan dadal dengan memvariasikan temperatur dan jenis bahan dielektrik cair. Perlakuan ini berlaku untuk semua sampel uji yaitu minyak castor (*Castor Oil*) dan minyak sawit (*Palm Oil*)

#### Analisis Data

Setelah melakukan pengujian tegangan dadal, kemudian menganalisis karakteristik fisis bahan dielektrik cair. Analisis ini dilakukan untuk kondisi sebelum dan setelah dadal agar dapat diketahui pengaruh tegangan tinggi pada karakteristik fisis bahan dielektrik cair tersebut. Parameter fisis yang dianalisis antara lain : viskositas bahan dielektrik cair dan besarnya tegangan dadal untuk setiap variasi jarak sela elektroda dan temperatur.

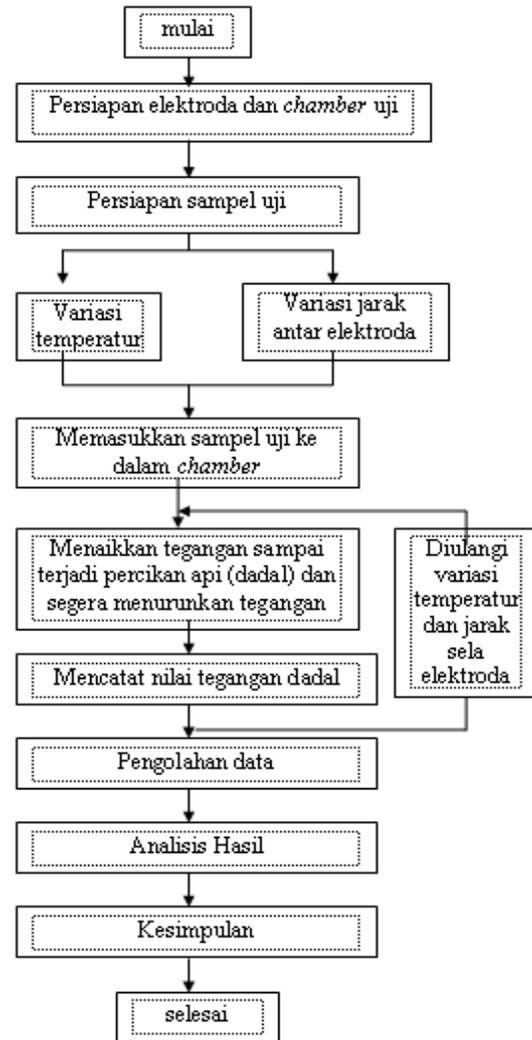
Analisis ini dijelaskan melalui grafik analisis yaitu grafik pengaruh penambahan jarak sela elektroda terhadap tegangan dadal, grafik pengaruh temperatur terhadap tegangan dadal, grafik hubungan viskositas dan tegangan dadal dan yang terakhir adalah grafik pengaruh perubahan temperatur terhadap viskositas dielektrik cair untuk kondisi sebelum dan setelah terjadi kedadalan dielektrik.

Dengan menganalisis grafik-grafik tersebut, dapat diketahui pengaruh parameter fisis terutama temperatur, viskositas dan perubahan jarak sela elektroda terhadap tegangan dadal

sebagai indikasi besarnya kekuatan dielektrik cair.

### Diagram Alir Penelitian

Diagram alir proses pengujian tegangan dadal pada sampel uji



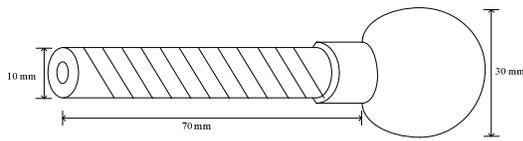
Gambar 3.1 Diagram alir proses pengujian tegangan dadal pada bahan dielektrik cair

### Diagram Alat

#### Bentuk Elektroda dan Chamber Uji

Sistem pembangkit tegangan tinggi AC yang digunakan berkonfigurasi elektroda bola-bola (*sphere-to-sphere geometry*) seperti tampak pada gambar 3.2 dan 3.3. Elektroda yang digunakan pada pengujian adalah 2 buah elektroda bola dengan diameter 30 mm dan terbuat dari bahan aluminium. Dengan panjang elektroda keseluruhan yaitu 100 mm untuk elektroda positif (anoda) dan elektroda negatif (katoda). Berikut adalah gambar bentuk elektroda

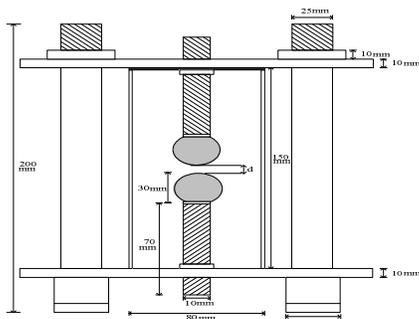
untuk pengujian tegangan dadal pada bahan dielektrik cair :



**Gambar 3.2 Bentuk elektroda yang digunakan dalam pengujian tegangan dadal**

*Chamber* yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari kaca berbentuk silinder (gelas) dengan ukuran diameter 80 mm, tinggi 150 mm dan tebalnya 3mm. Dua buah kaca datar dengan ketebalan 10 mm diletakkan pada posisi atas dan bawah kaca silinder. Selain itu, kaca datar dilubangi, agar elektroda dapat dipasang secara vertikal. Posisi kedua elektroda tersebut dijaga agar selalu tegak lurus. Jarak sela dapat diatur dengan memutar ulir elektroda, dan besarnya diukur dari permukaan luar elektroda bola yang saling berhadapan. Penyangga terbuat dari nilon dengan panjang keseluruhan 200 mm untuk setiap batang, dengan diameter batang 25 mm atau sekitar 1 inci.

Desain *chamber* uji dapat diperhatikan pada gambar 3.3.

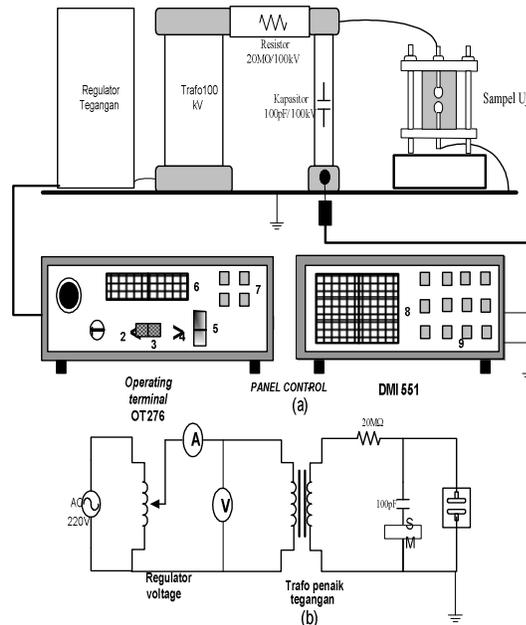


**Gambar 3.3 Desain *chamber* uji tegangan dadal pada dielektrik cair**

**Deskripsi Sistem Pembangkit Tegangan Tinggi AC**

Rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC pada gambar 3.4 adalah rangkaian yang digunakan untuk mengukur besarnya tegangan dadal pada bahan dielektrik cair. Susunan rangkaian pengujian ini terdiri dari trafo 100 kV yang fungsinya untuk menaikkan tegangan listrik dan dipasang seri dengan resistor. Resistor memiliki hambatan yang besar yaitu 20 MΩ agar dapat membatasi besarnya arus saat terjadinya percikan api di antara sela elektroda. Terminal

positif kapasitor dihubungkan dengan resistor dan anoda sampel uji, sedangkan terminal negatifnya dihubungkan dengan alat pengukur digital DMI 551 sekaligus ditanahkan. Pada sampel uji, anoda dihubungkan dengan terminal positif kapasitor dan katoda ditanahkan. Hal ini dilakukan karena bumi merupakan kutub negatif yang tak terhingga besarnya. Untuk menaikkan dan menurunkan tegangan, digunakan panel kontrol OT 276. Dan besarnya tegangan dadal dapat dibaca pada alat pengukur digital DMI 551.



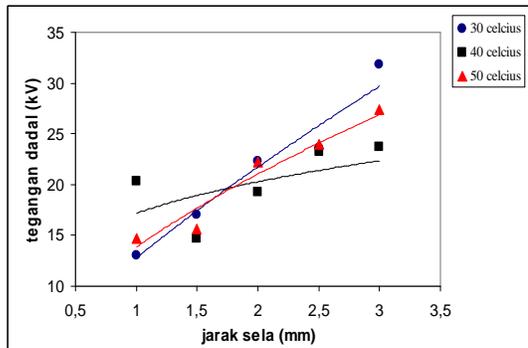
**Gambar 3.4 Diagram alat pengujian tegangan dadal**

- (a) Skema Pengujian tegangan dadal
- (b) Rangkaian pengujian tegangan dadal

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengaruh Jarak Sela Elektroda terhadap Nilai Tegangan Dadal**

Adanya medan listrik yang tinggi menyebabkan suatu bahan dielektrik kehilangan kemampuannya sebagai bahan isolasi antara penghantar bermuatan. Jika dua buah penghantar dipisahkan oleh suatu jarak dalam bahan dielektrik, maka dapat diketahui besarnya tegangan dadal dengan mengaplikasikan medan listrik tinggi pada bahan dielektrik tersebut. Dari penelitian yang telah dilakukan pada beberapa bahan dielektrik cair, yaitu minyak castor dan minyak sawit dapat diperoleh grafik hubungan antara jarak sela elektroda dengan besarnya tegangan dadal adalah seperti berikut.



**Gambar 4.1** Grafik hubungan jarak sela dan tegangan dadal pada minyak castor dengan temperatur 30 °C, 40 °C, dan 50 °C

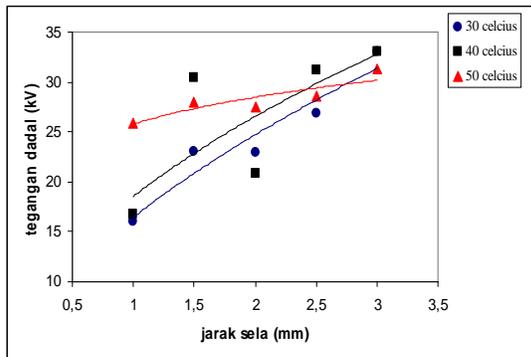
Pada gambar 4.1, dapat diketahui hubungan empirik antara jarak sela elektroda dan tegangan dadal. Semakin besar jarak sela elektroda, maka semakin besar juga tegangan dadal yang dihasilkan. Medan listrik menyebabkan elektron-elektron bebas pada elektroda mendapat energi yang cukup besar untuk memindahkan muatan (elektron) dari elektroda satu ke elektroda lainnya melalui bahan dielektrik minyak castor, sehingga terjadi interaksi elektron pada molekul netral minyak castor melalui proses tumbukan. Jika jarak sela antara elektroda kecil, maka energi elektron untuk berpindah dari elektroda satu ke elektroda lainnya lebih kecil. Sebaliknya, semakin besar jarak sela, maka energi dan tegangan yang diterapkan juga semakin besar.

Pada suhu kamar (30 °C), susunan molekul-molekul pada minyak castor belum mengalami perubahan, karena tidak adanya energi termal yang memutus ikatan molekul dan mengubah struktur molekular pada minyak castor tersebut.

Grafik hubungan jarak sela dan tegangan dadal pada temperatur 40 °C, menunjukkan bahwa tegangan dadal yang terukur sebesar 20,274 kV untuk jarak sela elektroda 1 mm. Pada jarak ini, minyak castor yang digunakan merupakan cairan murni dan belum dikenai medan listrik sama sekali. Perbedaan dengan minyak castor suhu 30 °C pada jarak yang sama adalah faktor fisis yang mempengaruhinya, yaitu kelembaban. Pada temperatur 30 °C, kelembabannya yaitu 53 %, lebih tinggi daripada pada temperatur 40 °C yang hanya 40 %. Tingkat kelembaban yang tinggi akan berpengaruh pada kekuatan dielektrik suatu cairan.

Semakin besar kandungan uap air pada minyak castor, maka akan memudahkan cairan dielektrik menjadi konduktor. Karena air merupakan molekul polar yang bersifat konduktif. Medan listrik yang besar menyebabkan uap air dalam ukuran yang sangat kecil ini akan memanjang searah medan listrik, dan membentuk jembatan antar elektroda yang menyebabkan terjadinya kedadalan dielektrik (Arismunandar, 1983). Pada jarak sela 1,5 mm, besarnya tegangan dadal turun menjadi 14,698 kV. Penerapan tegangan yang cukup besar pada jarak 1 mm, telah merusak kekuatan dielektrik minyak castor sehingga menyebabkan adanya kontaminan berupa karbon. Dan pada saat dikenai tegangan dadal berikutnya untuk jarak 1,5 mm, minyak castor tidak cukup kuat untuk menahan medan listrik yang diberikan. Dielektrik cair memiliki sifat dapat memperbaiki diri sendiri (*self healing*). Karakteristik fisis dan kekuatan dielektrik cair akan kembali ke kondisi semula, apabila gaya eksternal dihilangkan karena molekul-molekul dalam bahan dielektrik cair cenderung ingin mencapai kestabilan. Maka, setelah minyak castor terkena tegangan dadal pada jarak 1,5 mm yang besarnya hanya 14,698 kV, kekuatan dielektriknya dapat kembali lagi akibat adanya gaya pemulih yang kuat yang terjadi akibat perubahan susunan muatan dalam molekul (Reitz, Milford & Christy, 1993). Sehingga pada jarak-jarak berikutnya, tegangan dadal akan sebanding dengan jarak sela.

Sifat dielektrik minyak sangat tergantung pada struktur molekular. Bila dilihat dari grafik 4.1, menunjukkan adanya kesebandingan antara jarak sela elektroda dengan tegangan dadal. Kenaikan ini disebabkan oleh susunan atom dan molekul yang telah stabil meskipun telah dikenai energi termal berupa penambahan temperatur. Atom-atom yang telah lepas dari ikatannya, cenderung mencari tetangga terdekatnya. Ikatan baru yang terbentuk inilah yang membuat minyak castor memiliki kekuatan dielektrik yang besar. Minyak castor dalam hal ini telah mengalami *self healing*. Pada dasarnya, penambahan temperatur dalam penelitian ini tidak cukup kuat untuk membuat elektron yang terdapat dalam atom-atom minyak castor untuk bereksitasi dan berinteraksi dengan atom-atom tetangganya tanpa adanya medan listrik yang sangat tinggi.



**Gambar 4.2 Grafik hubungan jarak sela dan tegangan dadal pada minyak sawit dengan temperatur 30 °C, 40 °C, dan 50 °C**

Minyak sawit rata-rata memiliki nilai tegangan dadal lebih tinggi dari minyak castor. Hal ini disebabkan karena minyak sawit memiliki viskositas lebih rendah (encer) daripada minyak castor. Pada cairan dengan viskositas lebih rendah, jarak antar atomiknya lebih jauh, sehingga interaksi antara muatan dalam atom-atom penyusunnya akan lebih lemah. Dengan demikian, sangat kecil kemungkinannya elektron pada satu atom akan berpindah ke atom tetangganya yang dapat menyebabkan adanya aliran elektron penyebab berubahnya sifat dielektrik menjadi sebuah penghantar listrik (konduktor).

Pada gambar 4.2, memperlihatkan bahwa antara besarnya jarak sela dengan tegangan dadal sebanding. Akan tetapi, pada satu titik tertentu terjadi penyimpangan untuk masing-masing minyak sawit. Penurunan nilai tegangan dadal yang terjadi pada jarak 2 mm lebih disebabkan adanya *disruptive discharge*, yaitu pelepasan muatan yang akan mengganggu kestabilan molekul-molekul dan mengurangi kekuatan bahan dielektrik. *Disruptive discharge* dapat diketahui dengan adanya percikan api, dan pemanasan lokal pada cairan dielektrik menghasilkan partikel karbon, dan gas (Khalifa, 1990). Akan tetapi, faktor-faktor itu tidak terlalu signifikan pengaruhnya terhadap kekuatan dielektrik. Minyak sawit pada temperatur 30 °C dan 50 °C, mengalami sedikit penurunan/kenaikan tegangan dadal. Akan tetapi pada suhu 40 °C, nilai tegangan dadal mencapai 30,412 kV untuk jarak sela 1,5 mm. Minyak sawit memiliki sifat fisis yang jernih dan encer, sehingga mudah untuk dibersihkan. Pengaruh kontaminan tidak terlalu besar, karena partikel-partikel karbon yang terdapat pada permukaan elektroda dan cairan mudah dihilangkan, sehingga proses *self*

*healing* mudah tercapai. Penerapan medan listrik yang sangat tinggi akan mengubah struktur molekular pada minyak sawit. Setelah dikenai tegangan sebesar 30,412 kV nilai tegangan dadal turun menjadi 20,832 kV. Penurunan nilai tegangan dadal ini lebih besar dibandingkan dengan minyak sawit pada suhu 30 °C dan 40 °C.

Pada umumnya, karakteristik minyak castor dan minyak sawit. Ketiganya adalah cairan dielektrik yang berfungsi untuk menahan medan listrik eksternal. Hubungan antara jarak sela dan tegangannya sebanding. Artinya semakin besar jarak sela elektroda, semakin besar pula nilai tegangan dadal. Tetapi, karena adanya faktor-faktor fisis tertentu yang mempengaruhinya, menjadikan adanya ketidakstabilan. Medan listrik yang sangat besar menyebabkan terjadi proses oksidasi yang salah satu hasil residunya adalah partikel-partikel karbon yang melayang di dalam cairan dielektrik disertai adanya percikan api.

Pada minyak castor dan minyak sawit, komposisi kimianya tersusun dari ikatan-ikatan hidrokarbon golongan ester. Karena minyak castor lebih kental, maka struktur molekularnya lebih rumit dan jarak antar molekulnya lebih rapat daripada minyak sawit. Dilihat dari struktur molekulnya yang berbeda, masing-masing dielektrik cair memiliki penampakan warna yang berbeda pula.

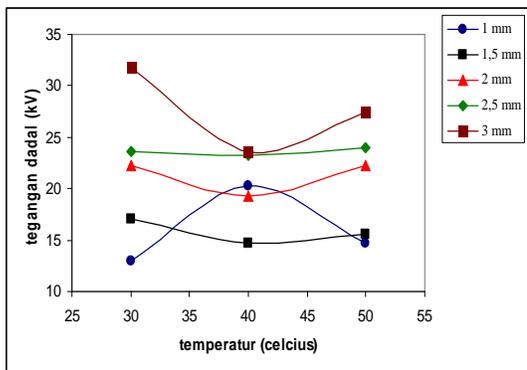
Faktor-faktor yang mengurangi besarnya tegangan dadal dan mempercepat terjadi kedadalan pada bahan dialaktrik cair adalah : adanya kontaminan berupa karbon, partikel debu karena *chamber* tidak tertutup rapat dan tanpa adanya proses pemvakuman, adanya uap air/air yang tertinggal dari proses pembersihan *chamber*, serta gas terlarut dalam cairan dielektrik yang mempercepat terjadinya dadal. Gas terlarut dapat menyebabkan dadal, karena perbedaan permitivitas antara gas dan cairan dielektrik. Hal ini disebabkan karena medan listrik dalam gas dianggap lebih besar daripada dalam cairan. Ketika gelembung gas mencapai volume kritisnya, dan dipengaruhi medan listrik, gelembung gas akan diionisasi dan longsoran elektron akan terbentuk. Adanya elektron dalam jumlah besar, akan menyebabkan adanya tumbukan antara elektron dengan molekul cairan, sehingga ada energi yang dilepaskan berupa panas yang berakibat pada berubah atau putusya struktur molekul cairan dielektrik. Selain itu pula, elektron yang saling berinteraksi dan adanya elektron-elektron bebas menyebabkan adanya aliran elektron (arus listrik) sehingga

karakteristik dielektrik sebagai material isolasi akan berubah menjadi konduktor. Terdapat pula percikan api akibat adanya peristiwa tumbukan tadi (Khalifa, 1990).

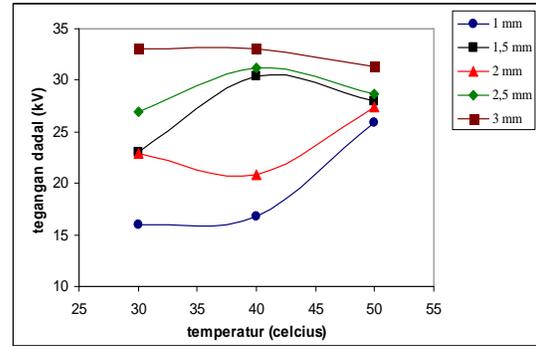
Dari persamaan  $V_{bd} = A d^n$  (persamaan 2.9), dapat diketahui bahwa antara konstanta A dan n memiliki hubungan terbalik yaitu bila A semakin besar, n semakin kecil dan nilai A yang kecil menyebabkan nilai n besar. A dan n merupakan konstanta yang diperoleh dari pendekatan logaritmis data jarak sela elektroda dan tegangan dadal. Nilai n selalu kurang dari 1. Kedua konstanta ini mempengaruhi perhitungan besarnya tegangan dadal secara matematis. Nilai A dan n yang besar menyebabkan nilai tegangan dadal juga besar. Persamaan tegangan dadal untuk masing-masing sampel uji dapat dilihat pada lampiran C. Di dalam eksperimen, kekuatan dielektrik tergantung pada besarnya jarak sela elektroda. Tegangan dadal juga tergantung pada jenis tegangan, cara tegangan diterapkan dan lamanya penerapan tegangan tersebut (Abduh, 2003).

**Pengaruh temperatur terhadap besarnya tegangan dadal**

Pada penelitian ini, temperatur berpengaruh terhadap besarnya tegangan dadal. Karena temperatur dapat dianggap sebagai gaya eksternal yang menjadikan adanya ketidakstabilan pada atom dan molekul penyusun dielektrik cair. Pengaruh temperatur terhadap besarnya tegangan dadal untuk beberapa jarak sela elektroda dapat dilihat pada grafik 4.3, dan 4.4.



**Gambar 4.3 Grafik hubungan temperatur dan tegangan dadal pada minyak castor untuk beberapa jarak sela elektroda**



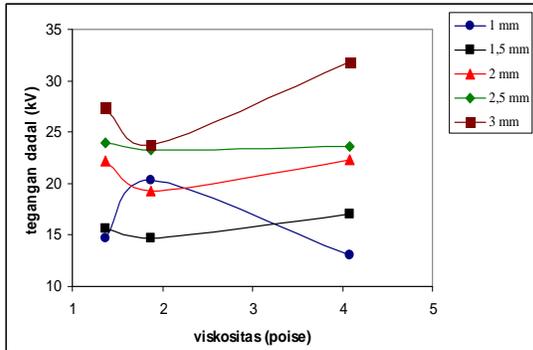
**Gambar 4.4 Grafik hubungan temperatur dan tegangan dadal pada minyak sawit untuk beberapa jarak sela elektroda**

Dari grafik hubungan temperatur dan tegangan dadal, dapat dilihat bahwa pada temperatur 40 °C terdapat ketidakstabilan besarnya tegangan dadal untuk minyak castor dan minyak sawit. Pada temperatur ini, terdapat kecenderungan nilai tegangan dadal yang berbeda dibandingkan pada temperatur 30 °C atau 50 °C. Pada minyak castor, nilai tegangan dadal pada temperatur 40 °C paling rendah. Karena pada temperatur ini ikatan atom minyak castor telah lepas oleh adanya gaya termal. Tetapi tegangan dadal dapat kembali naik akibat adanya kecenderungan atom mengadakan ikatan dengan tetangga terdekatnya dan menciptakan suatu molekul yang netral.

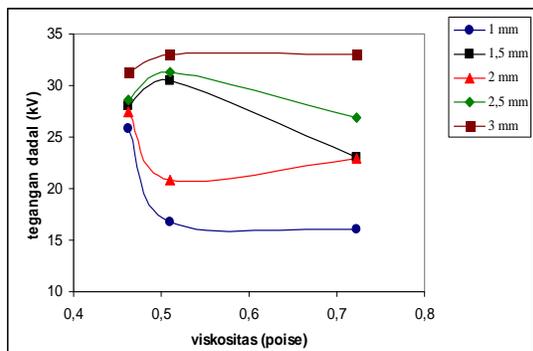
Demikian juga untuk minyak sawit. Pada minyak sawit, ketidakstabilan ditunjukkan dengan adanya perbedaan fluktuatif besarnya tegangan dadal untuk jarak sela 1,5 mm dan 2 mm.

**Pengaruh viskositas terhadap besarnya tegangan dadal**

Tinggi atau rendahnya tegangan dadal dipengaruhi juga oleh viskositas cairan dielektrik. Viskositas sangat peka terhadap perubahan temperatur, sehingga kecenderungan besarnya viskositas terhadap tegangan dadal akan sama dengan kecenderungan penambahan temperatur terhadap tegangan dadal. Hal ini dapat dilihat dari grafik hubungan temperatur-tegangan dadal dan viskositas-tegangan dadal. Grafik di bawah ini menunjukkan hubungan viskositas dan tegangan dadal pada minyak castor dengan temperatur 30 °C, 40 °C dan 50 °C untuk beberapa jarak sela elektrode.



**Gambar 4.5** Grafik hubungan viskositas dan tegangan dadal minyak castor pada temperatur 30 °C, 40 °C dan 50 °C untuk beberapa jarak sela elektroda



**Gambar 4.6** Grafik hubungan viskositas dan tegangan dadal minyak sawit pada temperatur 30 °C, 40 °C dan 50 °C untuk beberapa jarak sela elektroda

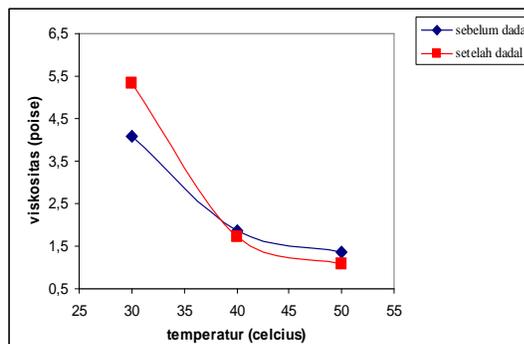
Penelitian ini hanya difokuskan pada tiga temperatur yaitu 30 °C, 40 °C, dan 50 °C. Dari grafik 4.5, besarnya tegangan dadal pada viskositas 1,867 poise paling kecil dibandingkan dengan pada viskositas 1,368 dan 4,076 poise. Pada viskositas ini, cairan dielektrik menerima gaya termal yang menyebabkan ikatan antar atom menjadi tak stabil. Tetapi sifat *self healing* pada dielektrik cair menyebabkan susunan atomik pada minyak castor tertata kembali, sehingga nilai tegangan dadal mengalami kenaikan.

Grafik 4.6 menunjukkan hubungan antara viskositas dan tegangan dadal pada minyak sawit. Besarnya tegangan dadal pada viskositas 0,463 poise untuk masing-masing jarak sela besarnya cenderung saling mendekati/sama. Pada viskositas 0,510 poise, susunan molekul pada minyak sawit mengalami ketakstabilan yang dapat dilihat dari sebaran datanya. Selain dikenai medan listrik yang besar, juga dikenai gaya termal akibat pemanasan sehingga pada nilai viskositas ini kekuatan dielektrik menjadi

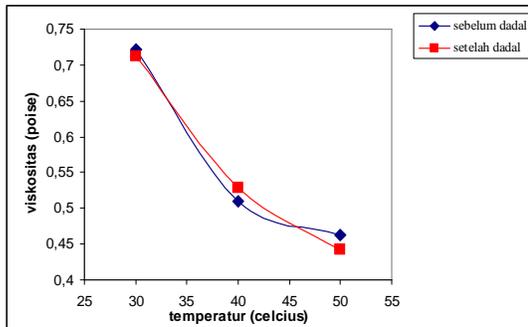
berkurang, terutama pada jarak sela 1mm dan 2 mm. Hal itu juga dapat dianalogikan pada grafik 4.9. Ketidakstabilan karakteristik dielektrik terjadi setelah dikenai penambahan temperatur khususnya pada temperatur 40 °C. Karena data hanya diambil pada tiga temperatur, maka untuk menganalisa pengaruh viskositas terhadap kenaikan/penurunan tegangan dadal menjadi kurang akurat. Akan tetapi berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, dapat ditarik suatu hubungan terbalik antara besarnya viskositas dan tegangan dadal. Artinya, apabila viskositasnya lebih besar maka nilai tegangan dadal kecil, demikian pula sebaliknya. Karena pada viskositas yang tinggi, jarak antar atomnya relatif kecil dan rapat, sehingga gaya interaksi antar muatan pada atom-atom penyusun dielektrik cair menjadi kuat. Hal ini yang menyebabkan nilai tegangan dadalnya rendah, karena dielektrik mudah terkonduksi akibat interaksi muatan-muatan pada bahan dielektrik tersebut. Penelitian ini dilakukan pada bahan dielektrik cair yang tidak selalu dapat dikondisikan sama untuk setiap saat, meskipun parameter fisis telah diatur sedemikian rupa. Karena sifat dari dielektrik cair cenderung tidak stabil bila dikenai gaya eksternal. Akan tetapi bahan dielektrik cair memiliki sifat *self healing*, sehingga dapat kembali ke keadaan semula.

**Pengaruh temperatur terhadap viskositas dielektrik cair**

Antara temperatur dan viskositas memiliki hubungan eksponensial negatif. Dengan kata lain, apabila temperatur bertambah besar viskositas menurun. Dan apabila temperatur berkurang, viskositas bertambah. Hal ini dapat di ketahui dari grafik hubungan antara temperatur dan viskositas sebelum dan setelah terjadi kedadalan dielektrik.



**Gambar 4.7** Grafik hubungan temperatur dan viskositas pada minyak castor.



**Gambar 4.8** Grafik hubungan temperatur dan viskositas pada minyak sawit

Pada dasarnya, viskositas akan berkurang seiring dengan pertambahan temperatur. Hal ini dapat diketahui dari data empirik dan grafik, yaitu bahwa setiap kenaikan temperatur akan menurunkan tingkat kekentalannya. Pada minyak castor, kondisi viskositas sebelum mengalami kedadalan dielektrik lebih kecil daripada setelah dadal pada suhu 30 °C. Hal ini disebabkan oleh parameter fisis ruangan pada saat penelitian. Kondisi temperatur ruangan dan kelembaban udara, juga mempengaruhi kondisi dielektrik cair. Pengukuran viskositas dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan, dengan kondisi fisis yang tidak selalu sama. Dan hasil ini diperoleh dari nilai reratanya. Untuk temperatur 40 °C dan 50 °C, viskositas sebelum dadal untuk minyak sawit selalu lebih besar daripada setelah dadal, walaupun pada suhu 40 °C (minyak sawit) terjadi sedikit penurunan. Nilai viskositas peka terhadap temperatur, karena nilai ini dipengaruhi oleh pergerakan (akibat pergeseran) atom dan molekul terhadap tetangga-tetangga mereka. Tegangan tinggi yang diberikan kepada dielektrik minyak membuat adanya vibrasi pada atom-atom bahan, yang menyebabkan berubahnya susunan atom pada molekul atau lepasnya sebagian ikatan penyusun bahan dielektrik cair. Setiap atom dari suatu material terkoordinasi dengan tetangga-tetangganya. Vibrasi-vibrasi termal pada satu atom mempengaruhi atom-atom di dekatnya. Perpindahan suatu atom akibat gaya-gaya mekanik atau akibat medan listrik menyebabkan ikut berubahnya posisi dari atom-atom tetangga.

Energi termal akan lebih besar pada temperatur yang lebih tinggi. Selain menimbulkan getaran termal yang lebih kuat, juga membentuk kekosongan. Kekosongan akan menimbulkan kekacauan pada struktur material, sehingga nilai viskositasnya menurun.

## PENUTUP

Pada dasarnya, penambahan jarak sela elektroda menyebabkan kenaikan nilai tegangan dadal minyak castor dan minyak sawit.

Pada penelitian ini, dielektrik cair cenderung tidak stabil pada temperatur 40°C.

Viskositas dielektrik cair sangat peka terhadap kenaikan temperatur. Dari grafik, viskositas setelah dadal untuk dielektrik minyak lebih kecil dibandingkan sebelum dadal.

Dari data pengukuran tegangan dadal, dielektrik cair paling baik pada penelitian ini adalah minyak sawit.

Sebaiknya untuk penelitian lebih lanjut, bahan dielektrik cair dikondisikan murni, bebas dari campuran gas dan partikel-partikel lain. Pengkondisian ruangan dan parameter-parameter fisis sangat diperlukan, agar data lebih akurat dan penelitian bersifat konsisten.

## Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Konversi Energi dan Sistem Tenaga Listrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro untuk melakukan pengujian tegangan tinggi, dan juga Laboratorium Zat Padat Jurusan Fisika Universitas Diponegoro yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan persiapan percobaan.

## DAFTAR RUJUKAN

- Abduh, S. 2003. *Teori Kegagalan Isolasi*. Universitas Trisakti. Jakarta.
- Arismunandar, A. 1983. *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*. Jakarta : Ghalia Indonesia.
- Baktiman, P. 2005. *Pengujian Tegangan Tembus pada Media Isolasi Cair Minyak Trafo dan Minyak Sawit dengan Menggunakan Elektroda Setengah Bola dan Jarum*. Semarang : Teknik Elektro UNDIP.
- Dedy, K.S. 2004. *Studi Pengaruh Temperatur terhadap Karakteristik Dielektrik Minyak Transformator Jenis Shell Diala B*. Bandung : ITB.
- Dewi, L.T. 2005. *Pengujian Tegangan Tembus pada Media Isolasi Udara dengan Variasi Kelembaban dan Media Isolasi Minyak Trafo dengan Variasi Temperatur Menggunakan Elektroda Bidang-Bidang*. Semarang : Teknik Elektro UNDIP.

- Jatmiko, H.A.2004. *Pengaruh Perubahan Suhu terhadap Tegangan Tembus pada Bahan Isolasi Cair*. Surakarta : UMS.
- Kasap,S.O. 2000. *Principles of Electrical Engineering Material and Devices, Revised Edition*. Singapura : Mc Graw-Hill International Edition.
- Khalifa,M. 1990. *High Voltage Engineering, Theory and Practice*. New York : Marcel Dekker,Inc.
- Neelakanta, P, S., 1995. *Handbook of Electromagnetic Materials : Monolithicand Composite Versions and Their Applications*. Boca Raton, Florida : CRC Press LLC.
- Pender,H dan Del Mar,W.A. 1949. *Electrical Engineers Handbook (Electric Power)*. New York : John Willey & Sons Inc.
- Reitz,J.R, Milford,F.J dan Christy,R.W. 1993. *Dasar Teori Listrik Magnet, Edisi ketiga*. Bandung : ITB.
- Syakur,A. 2004. *Bahan Ajar Gejala Medan Tinggi*. Semarang : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Tadjuddin. 1998. *Analisis Kegagalan Minyak Transformator*, Edisi ke-12. Elektro Indonesia. Maret 1998.
- Tipler,P.A. 2001. *Fisika untuk Sains dan Teknik, edisi ke-3*. Jakarta : Erlangga.
- Tobing,B,L. 2003. *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- Vlack,L.H.V. 2004. *Elemen-Elemen Ilmu dan Rekayasa Material, edisi ke-6*. Jakarta : Erlangga.
- Wangness, R.K. 1986. *Electromagnetic Fields, 2nd Edition*. New York : John Willey & Sons Inc.