

PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KEKUATAN DIELEKTRIK MINYAK NABATI SEBAGAI BAHAN ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA

Melda Latif

Staf Pengajar Teknik Elektro UNAND

e-mail : melda_latif@ft.unand.ac.id, mlatif_2002@yahoo.co.uk

ABSTRAK

Transformator daya merupakan salah satu peralatan utama sistem tenaga listrik. Dalam penggunaannya transformator daya membutuhkan isolator cair untuk mengisolasi bagian intinya dari medan listrik dan sebagai media pendingin. Salah satu cara sifat bahan isolasi cair adalah mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi. Makalah ini menyajikan kekuatan dielektrik minyak nabati sebagai bahan isolasi alternatif untuk transformator daya. Minyak nabati yang digunakan adalah minyak goreng kelapa sawit, minyak jagung dan minyak kelapa. Kekuatan dielektrik dapat diketahui dengan melakukan pengujian tegangan tembus pada setiap minyak dengan temperatur yang berbeda pada tegangan uji bolak balik. Semakin tinggi tegangan tembus suatu jenis minyak nabati maka semakin tinggi kekuatan dielektrik minyak tersebut sehingga semakin baik digunakan untuk bahan isolasi transformator daya.

Kata kunci: Isolasi cair, transformator daya, minyak nabati, kekuatan dielektrik, tegangan tembus, temperatur.

1. PENDAHULUAN

Pada transformator daya biasanya digunakan isolasi cair sebagai bahan isolasi pada bagian intinya. Isolasi cair yang biasa digunakan adalah minyak hasil olahan dari minyak bumi, antara lain minyak Shell Diala, Esso, dll. Tetapi dengan pemakaian minyak bumi yang juga sebagai bahan bakar akan dapat mempercepat habisnya persediaan minyak bumi yang merupakan sumber daya alam yang tak terbarukan.

Pemakaian minyak sintesis merupakan salah satu cara untuk mengatasi permasalahan keterbatasan tersebut. Tetapi minyak sintesis memiliki sifat *nonbiodegradable* (tak terurai sempurna secara alami). Jadi jika terjadinya kebocoran tentunya dapat menimbulkan pencemaran lingkungan.

Salah satu alternatif lain adalah pemakaian minyak nabati. Hal ini dikarenakan minyak nabati termasuk sumber daya alam yang terbarukan dan juga bersifat *biodegradable*. Khususnya Indonesia, penggunaan minyak nabati ini sangat potensial sekali karena Indonesia termasuk produsen minyak nabati yang cukup besar di dunia.

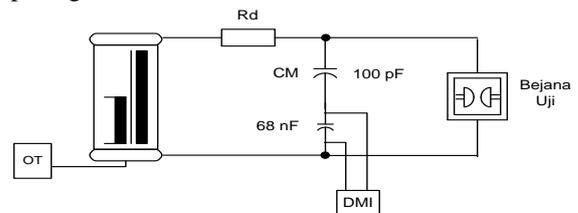
Penelitian terhadap minyak nabati belum begitu banyak yang melakukan. Peneliti (1-2) menggunakan minyak nabati mentah (*crude oil*) sebagai objek uji. Peneliti (3-4) menggunakan minyak nabati goreng sebagai objek uji. Metode pengujian yang dilakukan antara lain viskositas dan titik nyala.

Untuk objek uji minyak goreng belum ditemukan penelitian yang memberikan pengaruh perubahan temperatur. Pengaruh temperatur sangat penting karena minyak isolasi tidak selalu bekerja dalam temperatur ruang. Hal ini terjadi jika transformator daya mengalami kelebihan beban

sehingga meningkatkan temperatur kerja minyak isolasi.

2. PERALATAN DAN METODE PENGUJIAN

Sebagai objek uji digunakan tiga jenis minyak goreng nabati yaitu minyak kelapa sawit, minyak jagung dan minyak kelapa. Pengujian dilakukan di laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Unand. Pengujian tegangan tembus dilakukan untuk mengetahui kekuatan dielektrik setiap minyak dengan perubahan temperatur. Rangkaian pengujian tegangan tembus dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar-1 Rangkaian pengujian tegangan tembus

Pengujian tegangan tembus ini menggunakan bejana standar VDE 0370 dengan alat penguji dari *Haefely AC High Voltage Measurement Kit*. Pengujian dimulai dari temperatur ruang dan dinaikkan sampai 70 °C, dengan setiap kenaikan 10 °C.

Proses tembus pada zat cair sampai saat ini kurang banyak diketahui dibandingkan dengan teori kegagalan isolasi gas atau isolasi padat. Proses berikut dapat dijadikan salah satu acuan untuk proses tembus pada zat cair yaitu :

2.1 Kegagalan Elektronik Pada Zat Cair

Jika di antara elektroda diterapkan suatu kuat medan listrik yang tinggi, sedangkan pada elektroda

tersebut memiliki bagian permukaan tidak rata (ada yang runcing) maka kuat medan listrik yang terbesar terdapat pada bagian yang runcing tersebut. Kuat medan listrik maksimum ini akan mengeluarkan elektron e_1 (lihat gambar 2) yang akan memulai terbentuknya banjiran elektron (*electron avalanche*). Elektron yang dihasilkan e_1, e_2, e_3 dan e_n yang kemudian akan menyebabkan timbulnya arus konduksi dalam zat cair pada kuat medan listrik yang tinggi. Arus yang timbul mempunyai kerapatan :

$$J = J_t e^{\frac{4,4\sqrt{E}}{T}} \quad (\text{A/cm}^2) \quad (2.1)$$

$$J_t = AT^2 e^{-\phi/kT} \quad (2.2)$$

dimana

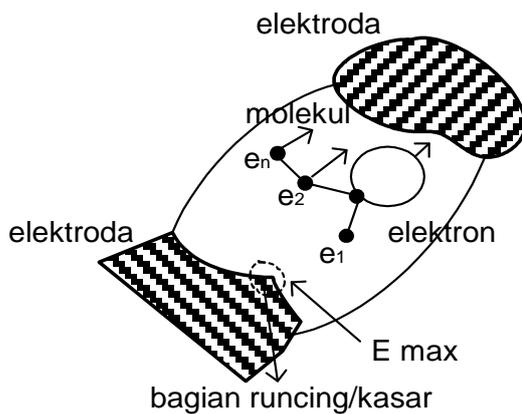
$$E = M \cdot E_a \quad (2.3)$$

dimana : J = kerapatan arus induksi

J_t = kerapatan arus termionik

E_a = kuat medan listrik yang diterapkan

M = faktor ketidak-rataan permukaan
= 10 untuk permukaan halus



Gambar Error! No text of specified style in document.. Kegagalan elektronik pada zat cair

Kondisi untuk memungkinkan mulai terjadinya banjiran elektron, diperoleh dengan menyamakan perolehan energi oleh elektron yang menempuh lintasan bebas rata-rata :

$$U_1 = F \cdot \lambda = e \cdot E \cdot \lambda \quad (2.4)$$

dengan energi yang diperlukan untuk mengionisasikan molekul :

$$U_2 = c \cdot h \quad (2.5)$$

dimana :

E = kuat medan listrik yang diterapkan

λ = lintasan bebas rata rata

h = satu (kuantum) energi yang diperlukan untuk mengionisasikan molekul

c = konstanta.

2.2 Kegagalan Gelembung atau Kavitasasi Pada Zat Cair

Kegagalan gelembung atau kavitasasi merupakan bentuk kegagalan isolasi zat cair yang disebabkan oleh adanya gelembung-gelembung gas didalamnya.

Sebab-sebab timbulnya gelembung gas (menurut Kao dan Krasucki) adalah :

- Permukaan elektroda tidak rata, sehingga terjadi kantong-kantong udara dipermukaannya,
- Adanya tabrakan elektron sehingga terjadi produk-produk baru berupa gas,
- Penguapan cairan karena adanya lucutan pada bagian-bagian elektroda yang tajam dan tidak teratur,
- Zat cair mengalami perubahan temperatur dan tekanan.

Medan listrik dalam gelembung gas yang ada dalam zat isolasi cair dinyatakan oleh persamaan :

$$E_b = \frac{3\varepsilon_1 E_0}{2\varepsilon_1 + 1} \quad (2.6)$$

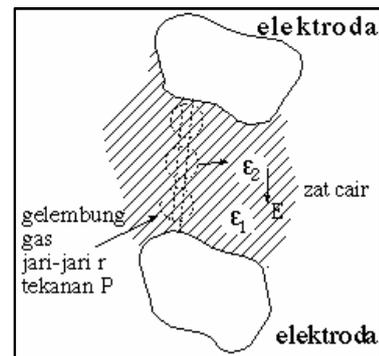
dimana :

ε_1 = permitivitas zat cair

E_0 = medan listrik dalam zat cair tanpa gelembung.

Bila E_b sama dengan batas medan ionisasi gas, maka akan terjadi lucutan pada gelembung. Hal ini akan mempercepat pembentukan gas karena dekomposisi zat cair dan dapat mengakibatkan kegagalan isolasi. Bentuk pengaruh medan terhadap gelembung udara ditunjukkan pada gambar 3.

Karena pengaruh medan listrik yang kuat diantara elektroda maka gelembung-gelembung udara dalam cairan tersebut akan berubah menjadi memanjang searah dengan medan. Gelembung-gelembung yang memanjang tersebut akan saling sambung-menyambung dan membentuk jembatan yang akhirnya akan mengawali terjadinya kegagalan seperti dalam gambar 3.



Gambar-3 Pengaruh medan listrik terhadap gelembung udara

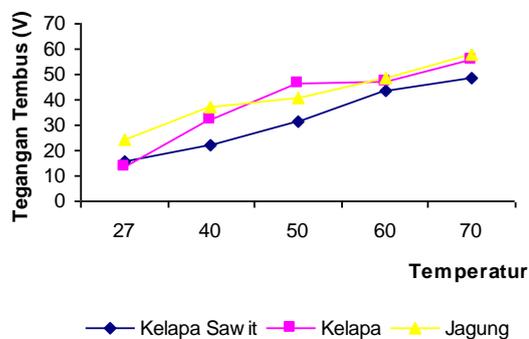
3. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN

Hasil pengujian tegangan tembus yang dilakukan di Laboratorium teknik Tegangan Tinggi jurusan Teknik Elektro Unand terhadap ke-tiga objek uji dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel-1 Data Pengujian Tegangan Tembus Ketiga Bahan Minyak Goreng Nabati

Temp. (°C)	Tegangan Tembus		
	Kelapa Sawit	Kelapa	Jagung
27	16.03	13.54	24.58
40	22	32.34	37.32
50	31.15	46.5	40.89
60	43.31	47.32	48.32
70	48.58	56.05	57.54

Dari tabel-1 dapat dilihat bahwa perubahan temperatur sangat mempengaruhi nilai tegangan tembus dari masing-masing objek uji. Dari hasil tersebut nampak bahwa semakin tinggi temperatur yang diberikan pada objek uji, ternyata tegangan tembus yang didapatkan juga semakin tinggi. Dimana kenaikan nilai tegangan tembus untuk setiap kenaikan temperatur, masing-masing objek uji memiliki kenaikan nilai yang bervariasi.



Gambar-4 Perbandingan tegangan tembus dari objek uji

Jika dibandingkan ketiga bahan minyak goreng nabati yang digunakan, dari gambar 4, dapat dilihat bahwa objek uji dari bahan dasar jagung memiliki nilai tegangan tembus yang paling besar dari kedua bahan dasar lainnya. Walaupun begitu nilai yang dihasilkan pada objek uji dari bahan dasar kelapa juga tidak berbeda jauh dari objek uji dari bahan dasar jagung. Perbedaannya nilai tegangan tembus keduanya sebesar 4.98 kV. Sedangkan objek uji dari bahan dasar kelapa sawit memiliki nilai tegangan tembus yang paling rendah.

Penilaian yang dilakukan berdasarkan nilai tegangan tembus pada suhu 40 °C sesuai dengan standar IEC 296. Dimana jika disesuaikan dengan standar tersebut, objek uji dari bahan dasar jagung dan kelapa sudah memenuhi nilai yang disyaratkan yaitu lebih besar dari 30 kV. Kedua objek uji ini memiliki nilai tegangan tembus sebesar 37.32 kV untuk objek uji dari jagung dan 32.34 kV untuk objek uji dari kelapa. Jadi dengan demikian kedua objek uji ini berpotensi menjadi bahan isolasi alternatif trafo daya dari segi nilai tegangan tembusnya. Untuk objek uji dari kelapa sawit memiliki tegangan tembus yang masih cukup jauh dari nilai yang disyaratkan yaitu 22 kV.

Hasil ini sudah dapat ditebak jika ditinjau pada pengamatan secara visual saat pengujian tegangan tembus, dimana objek uji dari jagung dan kelapa kelihatannya memiliki kekentalan yang rendah sekali karena encer sekali atau bisa dikatakan seperti air. Sedangkan objek uji dari kelapa sawit kelihatan lebih kental dari kedua objek uji lainnya.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Temperatur memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap karakteristik minyak nabati.
2. Kenaikan temperatur dapat meningkatkan tegangan tembus setiap minyak nabati dengan nilai kenaikan yang tidak tetap.
3. Minyak nabati yang memiliki sifat dielektrik yang bagus belum tentu memiliki sifat fisik yang bagus pula dan begitu sebaliknya.
4. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan minyak jagung merupakan minyak nabati yang paling berpotensi sebagai bahan isolasi alternatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan tidak lepas atas bantuan yang sepenuhnya dari saudara Dhany Rahmad Putra yang merupakan asisten lab. Teknik Tegangan Tinggi jurusan Teknik Elektro Unand sekaligus sebagai mahasiswa jurusan Teknik Elektro Unand Angkatan 2002.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Suwarno, F. Sitinjak, Ichwan S., Luthfi I., *Study On The Characteristics Of Palm Oil And It's Derivatives as Liquid Insulating Materials*.
- [2]. L. Tobing, Bonggas, Nasrul A., Sifat Dielektrik Minyak Kelapa Sawit (CPO), *Proceeding Seminar Nasional dan Workshop Tegangan Tinggi III Universitas Indonesia Hal 153 – 157, Jakarta*.
- [3]. L. Tobing, Bonggas, Surya T., Syahrawardi, Pengaruh Durasi Suhu Minyak Trafo Terhadap Tegangan Tembus, *Proceeding Seminar Nasional dan Workshop Tegangan Tinggi III Universitas Indonesia Hal 162 – 165, Jakarta*.
- [4]. L. Tobing, Bonggas, Raja H., Henry S., Pengaruh Durasi Suhu Minyak trafo Terhadap Faktor Rugi-Rugi Dielektrik ($\tan \delta$), *Proceeding Seminar Nasional dan Workshop Tegangan Tinggi III Universitas Indonesia Hal 158 – 161, Jakarta*.
- [5]. Anasrul, Teguh, Studi Karakteristik Minyak Kelapa Sawit Untuk Isolasi Transformator Tegangan Menengah, *Prosiding Makalah Tugas Akhir I Teknik Tenaga Listrik Departemen*

-
- Teknik Elektro Institut Teknologi Bandung Semester 1 2004 – 2005 Hal 89 – 94, Bandung.
- [6]. A., Gani, Usman, Yanuar Z.A., Pengaruh Temperatur Dan Pengotoran Terhadap Tegangan Tembus Pada Minyak Transformator, Proceeding Seminar Nasional dan Workshop Tegangan Tinggi III Universitas Indonesia Hal 166 – 170, Jakarta.
- [7]. Yusuf, Sabarisman, Johan P.M., Suwarno, Pengaruh Temperatur Dan Busur Api Terhadap Sifat Listrik Minyak Trafo, Proceeding Seminar Nasional dan Workshop Tegangan Tinggi III Universitas Indonesia Hal 174 – 179, Jakarta.
- [8]. Suwarno, Teknik Isolasi : Isolasi Cair, Bahan Kuliah Teknik Elektro Institut Teknologi Bandung, 2005
- [9]. L. Tobing, Bonggas, Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [10]. Arismunandar, A., Teknik Tegangan Tinggi Suplemen, Ghalia Indonesia, Jakarta, 1983.
- [11]. Kind, Dieter, Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi, ITB, Bandung, 1993.
- [12]. David, Wahyudi, Identifikasi Sifat-Sifat Beberapa Jenis Minyak Sebagai Alternatif Isolator Pada Transformator Daya, Tugas Akhir Teknologi Pertanian Universitas Andalas, 2005.
- [13]. Fadly, Diary, Study Karakteristik Pada Minyak Nabati Sebagai Dielektrik Cair, Tugas Akhir Teknik Elektro Universitas Andalas, 2004.