

PERBANDINGAN TEGANGAN TEMBUS MEDIA ISOLASI UDARA DAN MEDIA ISOLASI MINYAK TRAFU MENGUNAKAN ELEKTRODA BIDANG-BIDANG

Abdul Syakur, Mochammad Facta
Jurusan Teknik Elektro, F.T., Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia
Email : mfacta@elektro.ft.undip.ac.id

Abstrak

Isolasi memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Isolasi sangat diperlukan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga antara penghantar-penghantar tersebut tidak terjadi lompatan listrik atau percikan. Bahan isolasi akan mengalami pelepasan muatan yang merupakan bentuk kegagalan listrik apabila tegangan yang diterapkan melampaui kekuatan isolasinya. Kegagalan yang terjadi pada saat peralatan sedang beroperasi bisa menyebabkan kerusakan alat sehingga kontinuitas sistem terganggu.

Udara merupakan bahan isolasi yang banyak digunakan pada peralatan tegangan tinggi misalnya pada arrester sela batang yang terpasang di saluran transmisi, selain itu udara juga digunakan sebagai media peredam busur api pada pemutus tenaga (CB = Circuit Breaker). Sementara bahan isolasi cair banyak digunakan sebagai isolasi dan pendingin pada trafo karena memiliki kekuatan isolasi lebih tinggi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus yang terjadi pada media isolasi udara dan minyak cenderung meningkat seiring pertambahan jarak sela. Selain itu juga dilakukan pengujian pada minyak bekas dan minyak baru. Hasil pengujian menunjukkan tegangan tembus pada minyak baru lebih tinggi daripada minyak bekas dan tegangan tembus isolasi udara lebih kecil daripada tegangan tembus minyak.

Kata kunci : isolasi udara, isolasi minyak

I. PENDAHULUAN

Pada peralatan tegangan tinggi isolasi sangat diperlukan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga antara penghantar-penghantar tersebut tidak terjadi lompatan listrik atau percikan.

Menurut standart VDE 0433 -2 bentuk elektroda yang digunakan dalam pengujian tegangan tembus isolasi udara adalah elektroda bola-bola dan menurut standart VDE 0370 bentuk elektroda yang digunakan dalam pengujian tegangan tembus isolasi cair adalah elektroda setengah bola. Oleh karena itu untuk mengetahui pengaruh bentuk elektroda terhadap besarnya tegangan tembus, maka perlu dilakukan pengujian pada bentuk elektroda yang lain. Salah satu bentuk elektroda yang dapat digunakan adalah elektroda bidang-bidang.

II. TEORI KEGAGALAN ISOLASI

2.1 Kegagalan pada Isolasi gas

2.1.1 Proses dasar ionisasi

Ion merupakan atom atau gabungan atom yang memiliki muatan listrik, ion terbentuk apabila pada peristiwa kimia suatu atom unsur menangkap atau melepaskan elektron. Proses terbentuknya ion dinamai dengan ionisasi[5].

Jika diantara dua elektroda yang dimasukkan dalam media gas diterapkan tegangan V maka akan timbul suatu medan listrik E yang mempunyai besar dan arah tertentu yang akan mengakibatkan elektron bebas mendapatkan energi yang cukup kuat menuju kearah anoda sehingga dapat merangsang timbulnya proses ionisasi [3].

2.1.2 Ionisasi karena Benturan Elektron

Jika gradien tegangan yang ada cukup tinggi maka jumlah elektron yang diionisasikan akan lebih banyak dibandingkan dengan jumlah ion yang ditangkap molekul oksigen. Tiap-tiap elektron ini kemudian akan berjalan menuju anoda secara kontinu sambil membuat benturan-benturan yang akan membebaskan elektron lebih banyak lagi. Ionisasi karena benturan ini merupakan proses dasar yang penting dalam kegagalan udara atau gas.

2.1.3 Mekanisme Kegagalan Gas

Proses kegagalan dalam gas ditandai dengan adanya percikan secara tiba-tiba, percikan ini dapat terjadi karena adanya pelepasan yang terjadi pada gas tersebut. Mekanisme kegagalan gas yang disebut percikan adalah peralihan dari pelepasan tak bertahan sendiri ke berbagai pelepasan yang bertahan sendiri[3].

Proses dasar yang paling penting dalam kegagalan gas adalah proses ionisasi karena benturan, tetapi proses ini tidak cukup untuk menghasilkan kegagalan. Proses lain yang terjadi dalam kegagalan gas adalah proses atau mekanisme primer dan proses atau mekanisme sekunder.

Proses yang terpenting dalam mekanisme primer adalah proses katoda, pada proses ini diawali dengan pelepasan elektron oleh suatu elektroda yang diuji, peristiwa ini akan mengawali terjadinya kegagalan percikan (*spark breakdown*). Elektroda yang memiliki potensial rendah (katoda) akan menjadi elektroda yang melepaskan elektron. Elektron awal yang dibebaskan (dilepaskan) oleh katoda akan memulai terjadinya banjiran elektron dari permukaan katoda.

Jika jumlah elektron yang dibebaskan makin lama makin banyak atau terjadinya peningkatan banjiran

maka arus akan bertambah dengan cepat sampai terjadi perubahan pelepasan dan peralihan pelepasan ini akan menimbulkan percikan (kegagalan) dalam gas[5].

2.2 Kegagalan Pada Isolasi Cair (Minyak)

Karakteristik pada isolasi minyak trafo akan berubah jika terjadi ketidakmurnian di dalamnya. Hal ini akan mempercepat terjadinya proses kegagalan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan isolasi antara lain adanya partikel padat, uap air dan gelembung gas.

2.2.1 Mekanisme Kegagalan Isolasi Cair

Teori mengenai kegagalan dalam zat cair kurang banyak diketahui dibandingkan dengan teori kegagalan gas atau zat padat. Hal tersebut disebabkan karena sampai saat ini belum didapatkan teori yang dapat menjelaskan proses kegagalan dalam zat cair yang benar-benar sesuai antara keadaan secara teoritis dengan keadaan sebenarnya.

Teori kegagalan zat isolasi cair dapat dibagi menjadi empat jenis sebagai berikut[3]:

a. Teori Kegagalan Elektronik

Teori ini merupakan perluasan teori kegagalan dalam gas[3], artinya proses kegagalan yang terjadi dalam zat cair dianggap serupa dengan yang terjadi dalam gas. Oleh karena itu supaya terjadi kegagalan diperlukan elektron awal yang dimasukkan kedalam zat cair. Elektron awal inilah yang akan memulai proses kegagalan.

b. Teori Kegagalan Gelembung

Kegagalan gelembung atau kavitasi[3] merupakan bentuk kegagalan zat cair yang disebabkan oleh adanya gelembung-gelembung gas di dalamnya.

c. Teori Kegagalan Bola Cair

Jika suatu zat isolasi mengandung sebuah bola cair dari jenis cairan lain, maka dapat terjadi kegagalan akibat ketakstabilan bola cair tersebut dalam medan listrik. Medan listrik akan menyebabkan tetesan bola cair yang tertahan didalam minyak yang memanjang searah medan dan pada medan yang kritis tetesan ini menjadi tidak stabil. Kanal kegagalan akan menjalar dari ujung tetesan yang memanjang sehingga menghasilkan kegagalan total.

d. Teori Kegagalan Tak Murnian Padat

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

2.2.2 Kekuatan Kegagalan

Dari semua teori yang membahas tentang kegagalan zat cair tidak memperhitungkan hubungan antara panjang ruang celah (sela) dengan kekuatan peristiwa kegagalan. Semuanya hanya membahas tentang kekuatan kegagalan maksimum yang dicapai. Namun dari semua teori diatas dapat ditarik suatu persamaan baru yang berisi komponen panjang ruang celah dan komponen kekuatan peristiwa kegagalan pada benda cair, yaitu[15]:

$$V_b = Ad^n \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

dimana:

d : panjang ruang celah

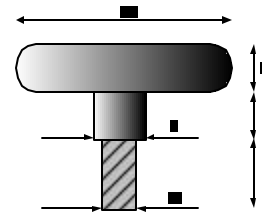
A : konstanta

n : juga konstanta yang nilainya < 1

III. TEKNIK PENGAMBILAN DATA

Elektroda

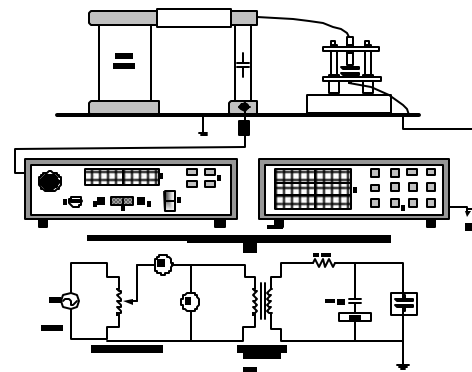
Elektrode yang digunakan dalam pengujian ini adalah elektrode bidang (plat). Elektrode bidang ini digunakan pada pengujian isolasi udara maupun minyak trafo. Elektrode bidang ini terbuat dari stainless steel. Elektrode bidang dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1. Elektrode Bidang

3.1 Rangkaian Pengujian

Rangkaian pembangkitan tegangan AC pada gambar 3.2 adalah rangkaian yang digunakan untuk mengetahui tegangan tembus pada pengujian. Rangkaian tersebut digunakan pada media isolasi udara maupun media isolasi minyak trafo.



Gambar 3.2 (a) Skema Pengujian Tegangan Tembus
(b) Rangkaian pengujian tegangan tembus

IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Hasil Pengujian

4.1.1 Tegangan Tembus pada Isolasi Udara

Pengujian tegangan tembus pada isolasi udara dilakukan pada kondisi yaitu pada kondisi kelembaban ruang (76%RH).

Tabel 4.1 Tegangan tembus isolasi udara

No	Sela (mm)	Tegangan Tembus (kV)
1	2,5	4,568
2	5	7,248
3	7,5	13,116

4	10	15,24
---	----	-------

4.1.2 Tegangan Tembus pada Isolasi Minyak Trafo

Pengujian tegangan tembus pada isolasi minyak trafo dilakukan pada kondisi temperatur 30°C. Dengan menggunakan 2 jenis minyak trafo yaitu minyak trafo baru dan minyak trafo bekas.

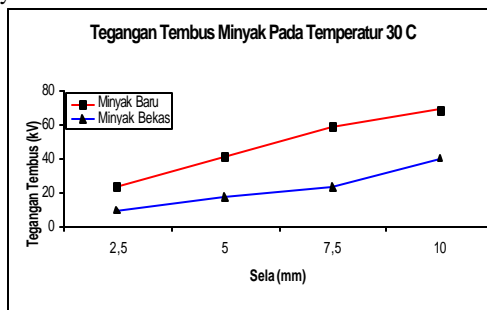
Tabel 4.2 Tegangan tembus isolasi minyak trafo baru

No	Sela (mm)	Tegangan Tembus (kV)	
		Baru	Bekas
1	2,5	23,868	9,081
2	5	40,906	16,962
3	7,5	58,782	23,09
4	10	69,466	40,332

4.2 Analisa Hasil Pengujian

4.2.1 Perbandingan Tegangan Tembus Media Isolasi Minyak Baru dan Minyak Bekas

Gambar 4.4 memperlihatkan besarnya tegangan tembus sebagai fungsi sela hasil pengujian pada temperatur 30 °C pada media isolasi minyak baru dan minyak bekas.



Gambar 4.4 Grafik tegangan tembus temperatur 30 °C,

Berdasarkan gambar 4.4 dapat diketahui bahwa tegangan tembus pada isolasi minyak baru lebih besar dibandingkan dengan isolasi minyak bekas. Hal ini disebabkan karena pada minyak bekas terdapat kandungan partikel-partikel dan uap air yang menyebabkan ketidakmurnian pada minyak.

Apabila jumlah partikel yang melayang pada minyak sangat banyak, partikel-partikel tersebut akan membentuk semacam jembatan yang menghubungkan kedua elektroda sehingga mengakibatkan terjadinya peristiwa kegagalan. Namun bila hanya terdapat sebuah partikel, partikel tersebut akan membuat perluasan area medan (*local field enhancement*) yang luasnya ditentukan oleh bentuk partikel itu sendiri. Jika perluasan area medan ini melebihi ketahanan benda cair, maka terjadilah peristiwa kegagalan setempat (*local breakdown*) yaitu terjadi di dekat partikel-partikel asing tersebut. Hal ini akan membuat terbentuknya gelembung-gelembung gas yang pada akhirnya juga menyebabkan peristiwa kegagalan pada minyak tersebut.

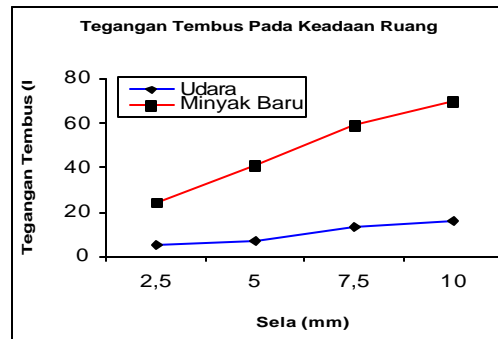
Pada minyak bekas cenderung memiliki kadar uap air yang lebih besar daripada minyak baru. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada saat medan listrik yang tinggi, molekul uap air yang terlarut

memisah dari minyak dan terpolarisasi membentuk suatu dipol. Jika jumlah molekul-molekul uap air banyak, maka akan terbentuk kanal peluahan. Kanal ini akan merambat dan memanjang sampai menghasilkan tembus listrik.

Ketidakhormian ini sangat berpengaruh dalam kegagalan isolasi sehingga pada minyak bekas akan lebih mudah terjadi *discharge* dibandingkan dengan minyak baru karena kekuatan isolasi minyak bekas sudah tidak sebagai minyak baru.

4.2.2 Perbandingan Tegangan Tembus Udara dengan Minyak Trafo

Gambar 4.5 memperlihatkan grafik karakteristik tegangan tembus isolasi udara dan minyak sebagai fungsi jarak sela, hasil pengujian pada kondisi ruang (30 °C).



Gambar 4.5 Grafik perbandingan tegangan tembus pada keadaan ruang

Berdasarkan gambar 4.5 dapat diketahui bahwa tegangan tembus pada minyak lebih besar dibandingkan dengan udara. Hal ini disebabkan karena kekuatan dielektrik minyak lebih besar daripada udara, karena permitivitas relatif minyak lebih tinggi daripada permitivitas relatif udara ($\epsilon_r \text{ minyak} = 2.3$ sedangkan $\epsilon_r \text{ udara} = 1$). Hal ini berarti bahwa media isolasi minyak lebih baik daripada media isolasi udara jika digunakan dalam peralatan tegangan tinggi.

V. KESIMPULAN

1. Tegangan tembus pada isolasi udara cenderung meningkat seiring pertambahan jarak sela elektroda, semakin besar jarak sela elektroda maka tegangan tembusnya akan semakin besar juga. Hal ini sesuai dengan standarisasi VDE 0433-2.
2. Tegangan tembus pada isolasi minyak cenderung meningkat seiring pertambahan jarak sela elektroda, semakin besar jarak sela elektroda maka tegangan tembusnya akan semakin besar juga. Hal ini sesuai dengan teori yang ada mengenai pengaruh jarak sela.
3. Tegangan tembus pada isolasi minyak baru pada jarak yang sama lebih besar dibandingkan tegangan tembus pada isolasi minyak bekas.
4. Tegangan tembus pada isolasi udara pada jarak sela yang sama lebih kecil dibandingkan tegangan tembus pada isolasi minyak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abduh, Syamsir, 2003 “*Teori Kegagalan Isolasi*” , Universitas Trisakti.
- [2] Abdul Syakur, 2002 “ *Pengukuran Partial Discharge pada Void Menggunakan Sistem Elektroda Metoda II Cigre*” Thesis Magister Program Pascasarjana,ITB.
- [3] Arismunandar,A.,*Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*, Ghalia Indonesia, Jakarta, 1983
- [4] Arismunandar,A.,*Teknik Tegangan Tinggi*,Pradnya Paramita, Jakarta,2001
- [5] Dedy,KS,*Studi Pengaruh Temperatur Terhadap Karakteristik Dielektrik Minyak Transformator Jenis Shell Diala B*,ITB,Bandung,2004
- [6] Djulil Amri,Fali Oklilas,*Kekuatan dan Rugi-rugi Dielektrik Minyak Transformator yang Dipengaruhi oleh Kontaminasi Air dan Kenaikan Temperatur*, Seminar Nasional Teknik Elektro,2003
- [7] Kuffel,E,Zaengl,WS, *High Voltage Engineering Fundamental*, Pergamon Press,1984
- [8] Kind,D.,*Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*, ITB,Bandung,1993
- [9] Naidu, M.S., Kamaraju,V., *High Voltage Engineering*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited,New Delhi,1982
- [10] Tadjuddin,*Analisis Kegagalan Minyak Transformator*, Elektro Indonesia Edisi ke Dua Belas,Maret 1998