

# Pengaruh Kadar Air terhadap Karakteristik Tegangan Tembus dan Dielektrik Isolasi Kertas-Minyak

Andhang Windarto<sup>1,4</sup>, Suharyanto<sup>2</sup>, T. Haryono<sup>3</sup>

**Abstract**— Paper impregnated oil (paper-oil insulation) is used as insulation material in transformer. The water in transformer appears as a consequence of oxidation process of the paper-oil system and atmospheric air penetration into the tank. High voltage testing is used to test paper-oil insulation with different water content to examine its breakdown voltage. Three conditions were used in this research, which are initial condition, the condition after heating up to 70°C, and the condition after cooling down at room temperature for 2 x 24 hour. The result of high voltage tests shows that the water content can decrease the breakdown voltage and the dielectric strength of paper-oil insulation. The heating-cooling process reduces the water content of oil insulation and therefore increases the breakdown voltage and dielectric strength of paper-oil insulation.

**Intisari**— Isolasi kertas yang dicelup minyak (isolasi kertas-minyak) adalah isolasi yang digunakan pada transformator. Air dapat timbul sebagai akibat proses oksidasi dan penetrasi udara luar selama transformator beroperasi. Pengujian tegangan tinggi dilakukan terhadap isolasi kertas-minyak dengan kadar air yang berbeda untuk mengetahui besar tegangan tembusnya. Pengujian tegangan tinggi dilakukan terhadap isolasi kertas-minyak pada tiga kondisi, yaitu kondisi awal, kondisi setelah dipanaskan sampai suhu 70°C, dan kondisi setelah didinginkan pada suhu ruangan selama 2 x 24 jam. Dari hasil pengujian tegangan tinggi, diperoleh kesimpulan bahwa kenaikan kadar air akan menurunkan tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak. Diketahui juga, proses pemanasan dan pendinginan menurunkan kadar air dalam isolasi kertas-minyak sehingga dapat meningkatkan tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak.

**Kata Kunci**— isolasi kertas-minyak, kadar air, pengujian tegangan tinggi, pemanasan, pendinginan, tegangan tembus, kekuatan dielektrik.

## I. PENDAHULUAN

Pada saat transformator beroperasi, akan timbul senyawa-senyawa sebagai akibat proses penuaan isolasi yang digunakan. Senyawa CO, CO<sub>2</sub>, dan furfural (2-furaldehid) merupakan senyawa yang terbentuk karena proses penuaan

isolasi transformator [1]. Selain senyawa-senyawa tersebut, pada saat transformator beroperasi juga terjadi air. Air pada isolasi transformator disebabkan oleh proses oksidasi isolasi kertas-minyak dan penetrasi udara atmosfer ke dalam tangki transformator [2]. Air yang timbul dalam isolasi minyak merupakan kontaminan. Oleh karena itu, pengaruh kadar air dalam isolasi minyak tersebut perlu diteliti.

Ketika transformator beroperasi, terjadi perubahan suhu pada komponen-komponen transformator. Pada saat beban tinggi, suhu operasi transformator naik, sedangkan pada saat beban rendah, suhu transformator turun. Kenaikan suhu transformator mengakibatkan suhu pada komponen-komponennya, termasuk isolasi, juga naik. Kenaikan suhu pada isolasi transformator ini akan mengakibatkan proses penuaan yang pada akhirnya akan menyebabkan perubahan pada karakteristik material isolasi [1], [3]-[6]. Oleh karenanya, pengaruh perubahan suhu terhadap tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak dengan variasi kadar air perlu diteliti. Penelitian ini meneliti pengaruh kadar air dan perubahan suhu terhadap tegangan tembus dan kekuatan dielektrik sistem isolasi kertas-minyak.

## II. PENGUJIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak yang memiliki perbedaan kadar air. Sampel isolasi yang digunakan adalah:

1. isolasi kertas-minyak baru (sampel 1),
2. isolasi kertas-minyak dengan kadar air 1,3% (sampel 2),
3. isolasi kertas-minyak dengan kadar air 2% (sampel 3), dan
4. isolasi kertas-minyak dengan kadar air 3,8% (sampel 4).

Isolasi kertas-minyak diuji pada tiga kondisi, yaitu kondisi awal pada suhu ruangan, kondisi suhu tinggi (70°C), dan kondisi setelah didinginkan sampai mencapai suhu ruangan. Kadar air isolasi minyak diuji sebelum dan sesudah dilakukan rangkaian pengujian tegangan tinggi. Pengujian kadar air dilakukan menggunakan metode ASTM D 95 [7].

### A. Pengujian Tegangan Tinggi Isolasi Kertas-Minyak dengan Variasi Kadar Air

Pengujian tegangan tinggi isolasi kertas-minyak dilakukan berdasarkan standar IEC 156 [8]. Rangkaian pengujian yang digunakan ditunjukkan oleh Gbr.1.

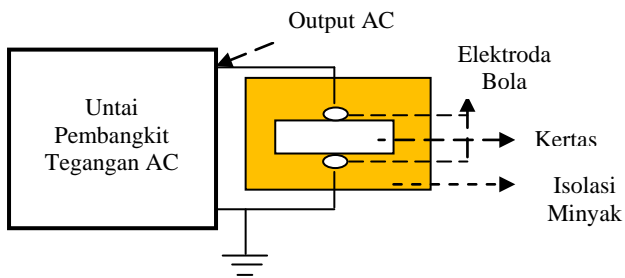
Diameter elektroda bola yang digunakan adalah 12,5 mm. Jarak elektroda dalam pengujian tegangan tinggi kertas Kraft dan isolasi kertas-minyak adalah 1,38 mm, sedangkan jarak elektroda dalam pengujian tegangan tinggi isolasi minyak baru dan isolasi minyak yang sudah digunakan adalah 2 mm.

<sup>1</sup>Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2 Kampus UGM Yogyakarta 55281 INDONESIA (e-mail: andhang\_s2te\_11@mail.ugm.ac.id)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2 Kampus UGM Yogyakarta 55281 INDONESIA (e-mail: suharyanto@ugm.ac.id)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2 Kampus UGM Yogyakarta 55281 INDONESIA (e-mail: tharyono@te.ugm.ac.id)

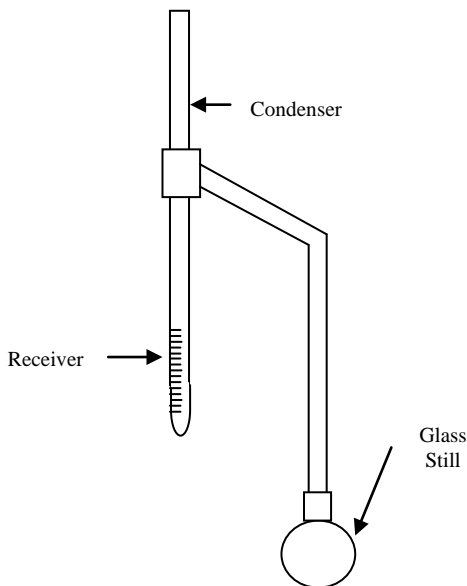
<sup>4</sup>Penera, Balai Standardisasi Metrologi Legal Regional II, Jl. Ringroad Barat Tamantirto Kasihan Bantul Yogyakarta



Gbr. 1 Rangkaian pengujian tegangan tinggi

**B. Pengujian Kadar Air Isolasi Minyak**

Metode ASTM D 95 digunakan untuk mengetahui kadar air produk minyak dan bitumen dengan menggunakan proses distilasi. Metode pengujian ini dapat digunakan untuk menentukan kadar air dalam rentang 0 sampai 25% pada produk minyak bumi. Rangkaian pengujian kadar air ditunjukkan oleh Gbr. 2.



Gbr. 2 Bagian-bagian alat pengujian kadar air

Metode ini melibatkan kodistilasi langsung sampel minyak. Sampel minyak dilarutkan dengan cairan pelarut dalam suatu wadah, kemudian dipanaskan. Air yang terkandung di dalam minyak dan cairan pelarut tersebut akan menguap, lalu uap akan terkondensasi. Kemudian air dikumpulkan dalam tabung penampung yang memiliki skala, sementara cairan pelarut akan kembali ke wadah. Volume air yang dihasilkan dengan distilasi dapat diukur sebagai fungsi dari total volume minyak yang digunakan.

Dalam pengujian, cairan pelarut yang digunakan mungkin sudah mengandung air. Karenanya, kadar air dalam cairan pelarut harus ditentukan dengan proses penyulingan sejumlah pelarut yang setara dengan jumlah pelarut yang digunakan

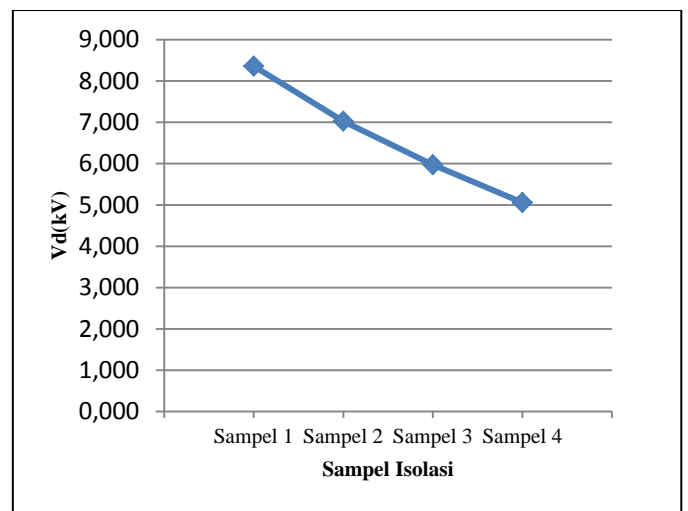
untuk sampel uji dalam alat distilasi dan pengujian. Selanjutnya, kadar air sampel minyak dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Kadar\ air\ (\%) = \frac{V_{air\ dalam\ campuran} - V_{air\ dalam\ pelarut}}{V_{total\ campuran}} \times 100\% \quad (1)$$

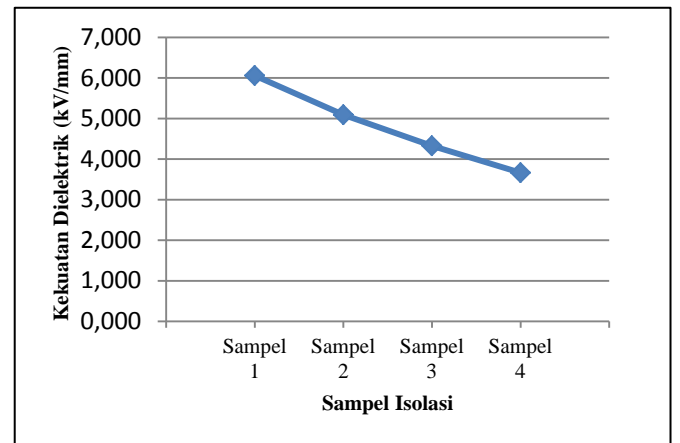
**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Pengujian Tegangan Tinggi Isolasi Kertas-Minyak dengan Variasi Kadar Air**

Pengujian dengan tegangan tinggi dilakukan terhadap isolasi kertas-minyak yang memiliki kadar air yang berbeda. Hasil pengujian dengan tegangan tinggi isolasi kertas-minyak ini kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian tegangan tinggi isolasi kertas-minyak standar (tidak diberi perlakuan penambahan air). Hasil pengujian ditunjukkan oleh Gbr 3.



(a) tegangan tembus



(b) kekuatan dielektrik

Gbr. 3 Grafik tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak dengan variasi kadar air

Grafik tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak pada Gbr. 3 menunjukkan bahwa semakin besar kadar air dalam isolasi kertas-minyak, tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak akan menurun. Kandungan air sebesar 1,3% menurunkan nilai tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak sebesar 15,7%. Kandungan air sebesar 2,0% menurunkan nilai tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak sebesar 28,57%, sedangkan kandungan air sebesar 3,8% menurunkan nilai tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak sebesar 39,50%.

**B. Pengujian Tegangan Tinggi Isolasi Kertas-Minyak Melalui Proses Pemanasan dan Pendinginan**

Pengujian dengan tegangan tinggi dilakukan terhadap isolasi kertas-minyak yang telah mendapatkan perlakuan pemanasan sampai suhu 70°C. Kemudian, isolasi minyak didiamkan selama 2 x 24 jam dan dilakukan pengujian tegangan tinggi kembali. Hasil pengujian ditunjukkan oleh Gbr 4.

Grafik tegangan tembus dan kekuatan dielektrik pada Gbr.4 menunjukkan bahwa proses pemanasan dan pendinginan berpengaruh terhadap tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak. Nilai tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak mengalami penurunan setelah proses pemanasan. Setelah minyak isolasi didiamkan, nilai tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak mengalami kenaikan kembali menjadi lebih tinggi daripada kondisi awal.

Nilai perubahan tegangan tembus dan kekuatan dielektrik masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel I.

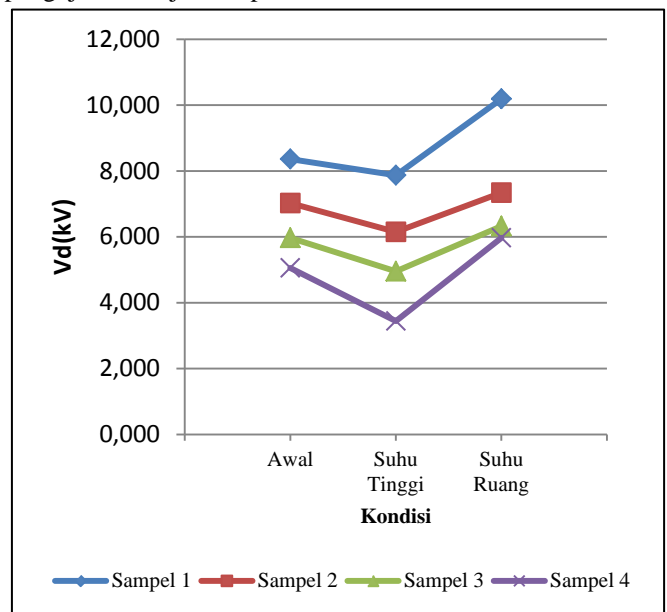
TABEL I  
NILAI PERUBAHAN TEGANGAN TEMBUS DAN KEKUATAN DIELEKTRIK ISOLASI KERTAS-MINYAK AKIBAT PROSES PEMANASAN DAN PENDINGINAN

Sampel	Perubahan Nilai Tegangan Tembus (%)		Perubahan Nilai Kekuatan Dielektrik (%)	
	Pemanasan	Pendinginan	Pemanasan	Pendinginan
1	-5.88	21.85	-5.88	21.85
2	-12.50	4.50	-12.50	4.50
3	-17.06	5.88	-17.06	5.88
4	-31.94	18.06	-31.94	18.06

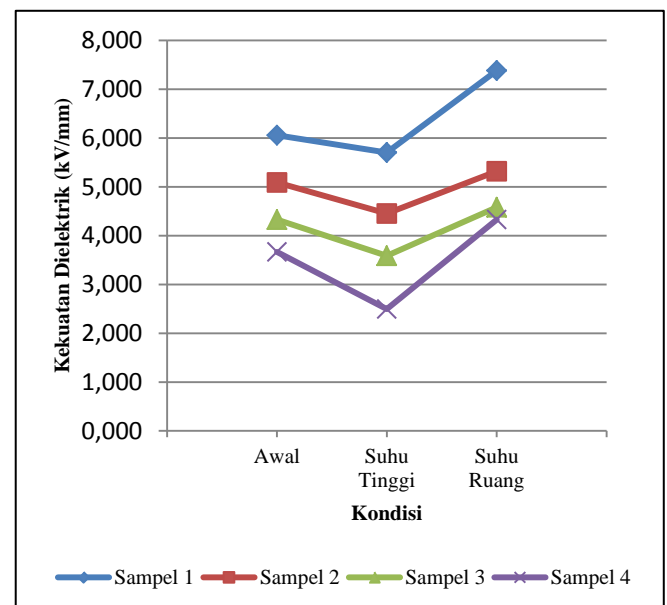
TABEL II  
HASIL PENGUJIAN WATER CONTENT ISOLASI MINYAK

No.	Sampel	Water Content (% Volume)	
		Awal	Akhir
1.	Sampel 1	Nil	Trace
2.	Sampel 2	1,3	0,1
3.	Sampel 3	2,0	0,4
4.	Sampel 4	3,8	3,6

Pengujian kadar air dilakukan terhadap isolasi minyak pada kondisi awal (sebelum dilakukan pengujian tegangan tinggi) dan setelah melalui proses pemanasan dan pendinginan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel II.



(a) tegangan tembus



(b) kekuatan dielektrik

Gbr. 4 Grafik tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak akibat proses pemanasan dan pendinginan.

Tabel II menunjukkan nilai kadar air masing-masing sampel isolasi minyak. Kadar air masing-masing sampel minyak transformator mengalami penurunan setelah proses pemanasan dan pendinginan. Penurunan kadar air ini diikuti dengan kenaikan tegangan tembus isolasi kertas-minyak. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemanasan dan pendinginan

mampu memperbaiki karakteristik tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi minyak.

#### IV. KESIMPULAN

Kenaikan kadar air isolasi kertas-minyak akan menurunkan nilai tegangan tembus dan kekuatan dielektriknya. Kandungan air sebesar 1,3% menurunkan nilai tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak sebesar 15,7%. Kandungan air sebesar 2,0% menurunkan nilai tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak sebesar 28,57%. Kandungan air sebesar 3,8% menurunkan nilai tegangan tembus dan kekuatan dielektrik isolasi kertas-minyak sebesar 39,50%.

Proses pemanasan dan pendinginan akan mengurangi kadar air isolasi kertas-minyak sehingga memperbaiki karakteristik isolasinya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

#### REFERENSI

- [1] Dong, M., Zhou, M.G., Qu, Y.M., dan Yan, Z., *Synthetic Furfural Analysis for Paper Insulation Ageing Diagnosis of Transformer*, Proceedings of 2005 International Symposium on Electrical Insulating Materials, Japan, 2005.
- [2] Przybyblek P., Moscicka H., *The Influence of Water Content and Ageing Degree of Paper Insulation on its Mechanical Strength*, International Conference on Solid Dielectrics, Potsdam, Germany, 2010.
- [3] Yang, L., Liao, R., Jian Li, Wang, Y., dan Liang, S., *Recognizing Different Aging Stages of Oil-Paper Based on Fisher Discriminant*, Proceedings of 2005 International Symposium on Electrical Insulating Materials, Japan, 2005.
- [4] Kato, K. L., dan Cameron, R. E., *A Review of The Relationship Between Thermally-Accelerated Ageing of Paper and Hornification*. Cellulose 6:23-40, 1999.
- [5] Joshi, A. dan Kumar, S., *Variation of Dielectric Strength of A Insulation Paper With Thermal Aging*, NDT&E International 38: 459–461, 2005.
- [6] Joshi, A. dan Bhanot, V., *Effect of Accelerated Aging on The Tensile Index of A Synthetic Insulation Paper*, NDT&E International 38: 394–396, 2005.
- [7] ASTM D 95, *Standard Test Method for Water in Petroleum Products and Bituminous Materials by Distillation*. ASTM International, 2002.
- [8] IEC 156, *Insulating Liquids - Determination of The Breakdown Voltage at Power Frequency – Test Method*, 1995.