

PENGUJIAN KERTAS NOMEX DAN FIBER CERAMIC SEBAGAI BAHAN ISOLATOR PADA TRANSFORMATOR

Pramadya H.M. Sembiring¹, Amelya Indah Pratiwi², dan Muammar
Zainuddin³

Prodi Teknik Elektro
Universitas Ichsan Gorontalo
Gorontalo, Indonesia

Email : herrysembiring19@gmail.com¹, muammarzainuddin@gmail.com², amelyaindahpratiwi@gmail.com³

Abstrak

PENGUJIAN KERTAS NOMEX DAN FIBER CERAMIC SEBAGAI BAHAN ISOLASI PADA TRANSFORMATOR

Penelitian ini mengkaji bagaimana memperoleh jenis kertas isolasi transformator sesuai standart dengan bahan uji yaitu kertas nomex dan fiber ceramic. Hasil penelitan menunjukkan nilai tegangan tembus (*breakdown voltage*) mengalami kenaikan dengan ditambahnya ketebalan kertas dari 0,20 mm menjadi 0,80 mm, dan ketebalan 2 mm menjadi 6 dengan penambahan sampai 4 kali lipat untuk kertas nomex 3 kali lipat untuk kertas fiber ceramic. Pada jenis isolasi kertas nomex harus dilakukan perendaman dalam minyak selama 72 jam agar memiliki nilai breakdown voltage yang stabil, sedangkan pada jenis isolasi kertas fiber ceramic hanya membutuhkan waktu perendaman selama 24 jam. Hal tersebut dapat terjadi karena pada setiap jenis isolasi kertas memiliki kemampuan proses adhesi yang berbeda beda, proses adhesi adalah proses dimana antar senyawa kimia saling megikat untuk menjadi komposit yang lebih sempurna. Dapat dianalisis bahwa dengan direndamnya isolasi kertas didalam minyak akan membuat kadar selulosa akan meningkat. Semakin tinggi nilai kadar selulosa juga akan membuat nilai breakdown voltage juga akan meningkat juga, hal tersebut dikarenakan dalam perendaman minyak akan membuat permukaan kertas yang tersusun selulosa tersebut memperbaiki struktur penyusunnya dan membuat rantai senyawa yang lebih kompleks dan Panjang.

Kata Kunci: Kertas Nomex, *Fiber Ceramic*, Isolasi Transformator

Abstract

TESTING OF NOMEX PAPER AND FIBER CERAMIC AS INSULATING MATERIALS IN TRANSFORMERS

Study This study How obtain type paper isolation transformer in accordance standard with test material viz paper nomex and ceramic fiber . Research results show mark voltage breakdown voltage is experienced increase with he added thickness paper from 0.20 mm to 0.80 mm, and a thickness of 2 mm to 6 with addition up to 4 times For paper nomex 3 times For paper ceramic fiber . On type isolation paper nomex must done immersion in oil for 72 hours to have stable breakdown voltage value , while in type isolation paper fiber ceramic only need time immersion for 24 hours. That matter can happen because in every type isolation paper own different adhesion process capabilities different , the adhesion process is the process where between compound chemistry each other bind For become more composite perfect . Can be analyzed that with soak it isolation paper in the oil will make rate cellulose will increase . The more tall mark rate cellulose will too make breakdown voltage value will also be increased too, p the because in immersion oil will make surface arranged paper cellulose the repair structure compose and create chain more compounds complex and long.

Keywords: *Nomex Paper , Ceramic Fiber , Insulation Transformer*

I. PENDAHULUAN

Listrik saat ini menduduki peringkat sebagai salah satu kebutuhan terpenting masyarakat, setelah air dan kebutuhan pokok lainnya. Seiring bertambahnya jumlah penduduk, begitu pula kebutuhan listrik. Dengan meningkatnya permintaan masyarakat, peluang bisnis produsen peralatan listrik juga semakin terbuka dan terus meningkat. Salah satu peralatan listrik yang banyak digunakan adalah transformator.

Transformator adalah salah satu komponen terpenting yang berperan penting dalam suatu sistem kelistrikan yang menaikkan dan menurunkan tegangan dengan frekuensi yang sama. Transformator dalam pelayanan sistem kelistrikan sering mengalami gangguan, baik berupa gangguan termal maupun gangguan listrik jenis kesalahan umum pada transformator daya adalah panas berlebih, pelepasan sebagai, dan kelebihan beban yang terjadi pada sistem isolasi. *Overload* terjadi ketika beban yang terhubung ke transformator melebihi kapasitas maksimum, sehingga arus melebihi beban penuh transformator dan menghasilkan panas.

Kualitas dan kuantitas transformator masing-masing pabrikan bersaing dengan yang terbaik, sehingga transformator masing-masing pabrikan laris manis di pasar. Tentunya hal ini tidak sembarang, mengingat transformator merupakan salah satu perangkat kelistrikan yang sangat penting dalam jaringan kelistrikan dan harganya tidak boleh diremehkan. Oleh karena itu, perhatian khusus harus diberikan pada semua komponen transformator. Pada pemeriksaan lebih dekat, transformator membawa arus yang besar dan dapat menyebabkan hotspot dari arus yang lewat. Oleh karena itu, diperlukan isolasi pada transformator untuk keselamatan. Baik untuk isolasi panas atau listrik. Dalam dunia kelistrikan, isolasi dapat dibagi menjadi beberapa jenis antara lain: isolasi gas, selulosa, cair dan padat. Pada pengujian ini akan dicoba dengan jenis isolasi selulosa yaitu isolasi kertas.

Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian jenis kertas isolasi yang berbeda pada setiap bagian transformator yang memiliki fungsi dan tegangan tembus yang berbeda. Jenis kertas yang digunakan dalam pengujian ini adalah kertas ceramic fiber dan kertas nomex. Waktu lama perendaman untuk setiap kertas yang direndam dalam minyak transformator bervariasi, mulai dari 0

jam, 24 dan 72 jam. Hasil pengujian dimaksudkan untuk memberikan analisis bagi produsen transformator, yang tentunya memiliki peran yang semakin penting, terutama dalam melakukan pengujian untuk memastikan bahwa setiap isolator kertas dapat menahan tegangan tembus yang diharapkan spesifikasi transformator.

Dalam melakukan pengujian isolasi kertas ini, kita harus memenuhi standar dari kertas yang akan digunakan sebagai bahan isolasi pada transformator. Untuk memenuhi standar, kertas yang akan digunakan harus memiliki karakteristik seperti, sifat dielektrik yaitu sebagai pemabatas antar komponen yang bertegangan atau dengan komponen yang tidak bertegangan dan supaya arus listrik tidak mengalir ke titik yang lain. Kemudian sifat mekanis yang baik yaitu tahan terhadap tekanan dan tidak mudah mengalami kerusakan pada saat menerima tegangan yang tinggi. Mempunyai sifat termal yaitu tahan dengan suhu panas yang tinggi baik dari arus listrik atau dari ruang lingkup sekitar. Memiliki sifat kimia yaitu tidak mudah menyerap air. Karena air bersifat konduktif, maka semakin basah suatu isolator maka semakin kecil kuat dielektriknya.

II. METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan menjelaskan mengenai langkah-langkah pengujian dan metode yang digunakan secara terperinci dan lengkap. Yang pertama peralatan yang digunakan, kemudian bahan yang dibutuhkan, langkah selanjutnya adalah mempersiapkan sebelum melakukan pengujian mulai pemilihan kertas hingga dilakukannya pengujian pada setiap sample yang dibutuhkan.

Tahapan yang kami lakukan pada penelitian ini adalah :

A. Studi Literatur

Mengambil referensi penelitian dari beberapa jurnal di internet dan mengelola bahan penelitian

B. Peraiapan Alat dan Bahan

Menyiapkan bahan yang akan diuji hingga alat pembangkitan tegangan tinggi AC

C. Melakukan Pengujian

Pengujian bahan isolator kertas terhadap tegangan tembus

D. Analisis hasil pengujian

Pengambilan data dilakukan secara manual dengan cara mencatat tegangan tembus dari masing-masing kertas yang sudah direndam maupun yg tidak direndam.

Tabel 1. Data pengambilan.

Lama rendaman	Nomex		Lama rendaman	Fiber ceramic	
	Tegangan tembus (kV)			Tegangan tembus (kV)	
	Tebal 0,20mm	Tebal 0,80mm		Tebal 2mm	Tebal 6mm
0 jam			0 jam		
24 jam			24 jam		
72 jam			72 jam		

E. Evaluasi

hasil evaluasi dari penelitian ini didapatkan data hasil pengujian isolator kertas

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas setiap sampel yang akan diuji tegangan tembusnya pada laboratorium tegangan tinggi yang dilakukan pada 8 oktober 2023. Untuk memudahkan analisis, sampel akan diuraikan dalam tabel. Untuk setiap sampel, tiga kali pengujian dilakukan, dan setiap jenis isolator kertas akan memiliki ketebalan tiga kali tebal awalnya. Selain itu, sampel yang diuji akan diuji dalam dua kondisi: kertas nomex kondisi kering dengan ketebalan 20 milimeter dan 80 milimeter, nomex kondisi perendaman 24 jam dengan ketebalan 20 milimeter dan 80 milimeter, dan nomex kondisi rendaman 72 jam dengan ketebalan 20 milimeter dan 80 milimeter.

A. Keterangan Tabel

Terkait dengan hasil tegangan tembus, juga dikenal sebagai tegangan breakdown, dengan berbagai variabel jenis isolasi kertas. Untuk setiap jenisnya, pengujian akan dilakukan secara bergantian. Kertas akan dibersihkan sebelum pengujian agar tidak ada kotoran yang dapat mempengaruhi kertas saat pengujian. Selama pengujian, setiap jenis sampel isolasi kertas menerima tegangan tinggi AC yang naik secara bertahap dari 0 volt hingga tegangan tembus (breakdown voltage) muncul tabel yang sudah dibuat sebelumnya akan menunjukkan langkah selanjutnya. Tujuan dari langkah ini adalah untuk melakukan pengamatan dan mengidentifikasi karakteristik kurva masing-masing jenis isolasi kertas. Pengujian ini akan memeriksa kondisi kertas baik direndam dengan maupun tanpa perendaman. Dengan kata lain, pengujian ini akan memeriksa kondisi semua jenis isolasi kertas.

B. Pengujian Isolator Kertas Jenis Nomex

Pengujian pertama akan dilakukan pada jenis kertas nomex dengan tegangan 0 volt hingga tegangan tembus (breakdown voltage) terbentuk pada kertas yang terisolasi. Tegangan tembus ini akan memiliki berbagai variabel, mulai dari ketebalan 0.20 milimeter hingga 0.80 milimeter, dan kemudian dalam kondisi kering dan dengan waktu rendaman yang berbeda, mulai dari 24 jam hingga 72 jam.

Tabel 2 nilai tagangan tembus kertas nomex kondisi kering

Penujian	Tegangan Tembus (kv)	
	Tebal 0,20 mm	Tebal 0,80 mm
1	7,2	12,7
2	4,7	11,7
3	2,6	11,8
Rata-rata	4,8	12

Tabel 3 nilai tegangan tembus kertas nomex kondisi rendaman 24 jam

Penujian	Tegangan Tembus (kv)	
	Tebal 0,20 mm	Tebal 0,80 mm
1	7,8	10,3
2	7,6	9,3
3	7,2	9,2
Rata-rata	7,5	9,7

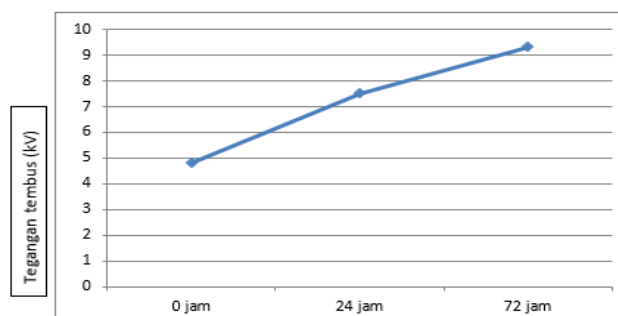
Tabel 4 nilai tegangan tembus kertas nomex kondisi rendaman 72 jam

Penujian	Tegangan Tembus (kv)	
	Tebal 0,20 mm	Tebal 0,80 mm
1	7,2	12,7
2	4,7	11,7
3	2,6	11,8
Rata-rata	4,8	12

Setelah menguji semua sampel pada isolasi kertas nomex ketebalan 0.20 mm dan 0.80 mm, akan dilanjutkan dengan membuat tabel dan grafik yang membandingkan lama perendaman dan ketebalan kertas nomex. Tabel berikut menunjukkan perbandingan isolasi kertas nomex ketebalan 0.20 mm dan 0.80 mm, dan waktu perendaman kering adalah 24 dan 72 jam.

Tabel 5 nilai tegangan tembus (breakdown voltage) dengan ketebalan 0.20 mm

Lama Perendaman	Nilai Tegangan Tembus (kV)
0 jam	4,8
24 jam	7,5
72 jam	9,3

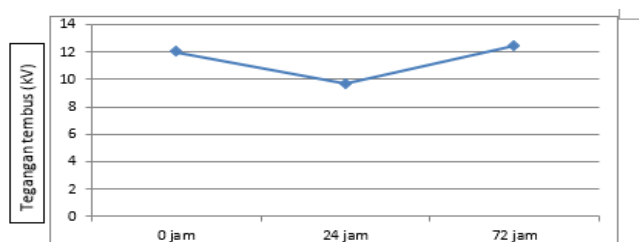


Gambar 1 grafik rata rata nilai tegangan tembus pada kertas nomex dengan tebal 0.20 mm

Sedangkan nilai breakdown voltage pada pengujian isolasi kertas press dengan ketebalan 0,80mm adalah sebagai berikut:

Tabel 6 hasil nilai tegangan tembus (breakdown voltage) dengan ketebalan 0,80 mm

Lama Perendaman	Nilai Tegangan Tembus (kV)
0 jam	12
24 jam	9,7
72 jam	12,5



Grafik 2 rata rata nilai breakdown voltage pada kertas nomex dengan ketebalan 0,80

Pengujian yang dilakukan pada isolasi kertas nomex menunjukkan bahwa dalam jangka waktu 24 jam, perendaman kertas dalam minyak dapat mempengaruhi nilai voltase breakdown. Pada isolasi kertas nomex dengan ketebalan 0.20 milimeter dan kertas nomex dengan ketebalan 0.80 milimeter, perbedaan voltase breakdown sebesar 7,5 milivolt. Dalam pengujian kertas nomex, ditemukan bahwa semakin lama kertas

direndam, semakin kuat kekuatan dielektrikalnya. Misalnya setelah 72 jam direndam, tegangan breakdown hampir mencapai 9.3 KV pada kertas ketebalan 0.20 milimeter, sedangkan tegangan breakdown pada kertas 0.80 milimeter mencapai 12.5 kV. Dengan demikian, tegangan breakdown dari kertas nomex yang lebih tebal menjadi lebih tinggi.

C. Pengujian Isolator Kertas Jenis Fiber Ceramic

Selanjutnya, pengujian dilakukan pada isolasi kertas jenis fiber ceramic, jenis kertas yang paling sering digunakan dan digunakan sebagai pembatas antar lapisan pada minyak transformator. Hasil pengujian isolasi kertas fiber ceramic dengan ketebalan 2 mm dan 6 mm ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel. 7 Nilai tegangan tembus kertas fiber ceramic kondisi kering

Pengujian	Tegangan Tembus (kV) - Tebal 2mm	Tegangan Tembus (kV) - Tebal 6mm
1	2	20
2	1,9	29,3
3	2,1	24,7
Rata-rata	2	24,6

Tabel. 8 Nilai tegangan tembus kertas fiber ceramic kondisi rendaman 24 jam.

Pengujian	Tegangan Tembus (kV) - Tebal 2mm	Tegangan Tembus (kV) - Tebal 6mm
1	3,6	28,4
2	4,1	28,6
3	3,2	26,8
Rata-rata	3,6	27,9

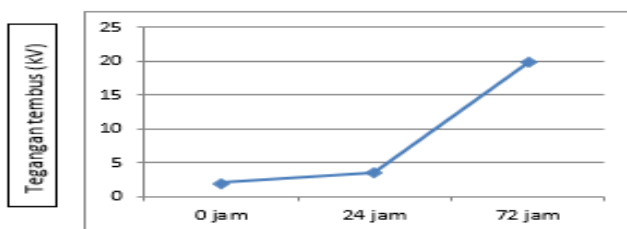
Tabel 9 nilai tegangan tembus kertas fiber ceramic kondisi rendaman 72 jam.

Pengujian	Tegangan Tembus (kV) - Tebal 2mm	Tegangan Tembus (kV) - Tebal 6mm
1	18,6	29,2
2	21,2	32,8
3	19,7	32,7
Rata-rata	19,8	31,5

Setelah menguji semua sampel pada isolasi kertas fiber ceramic dengan ketebalan 2 mm dan 6 mm kita kan membuat tabel perbandingan untuk setiap lama perendaman dan ketebalan kertas fiber ceramic. Perbandingan isolasi kertas fiber ceramic pada ketebalan 2 mm dan 6 mm adalah sebagai berikut:

Tabel 10 nilai tegangan tembus (breakdown voltage) dengan ketebalan 2 mm

Lama Perendaman	Nilai Tegangan Tembus (kV)
0 jam	2
24 jam	3,6
72 jam	19,8

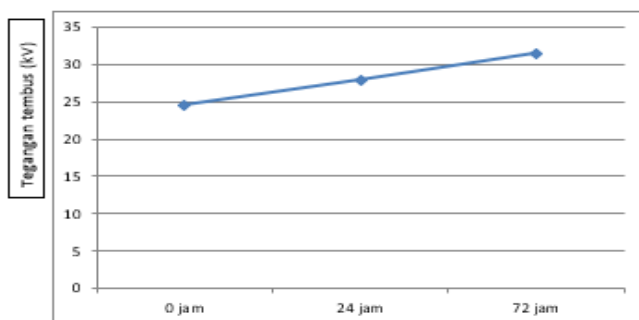


Gambar 3 grafik rata rata nilai tegangan tembus pada kertas fiber ceramic dengan tebal 2 mm

Berikut adalah tabel dan grafik nilai breakdown voltage pada isolasi kertas fiber ceramic dengan ketebalan 6 mm:

Tabel. 11 Nilai tegangan tembus (breakdown voltage) dengan ketebalan 6 mm.

Lama Perendaman	Nilai Tegangan Tembus (kV)
0 jam	24,6
24 jam	27,9
72 jam	31,5



Gambar.4 Grafik rata rata nilai breakdown voltage pada kertas fiber ceramic dengan ketebalan 6 mm.

Menurut data dari pengujian isolasi kertas fiber ceramic, nilai breakdown voltage kertas fiber ceramic tanpa perendaman minyak adalah 2kV pada ketebalan 2 mm kertas fiber ceramic murni, 3.6 kV pada mengujian kertas fiber ceramic yang direndam dengan minyak selama 24 jam, dan 3.6 kV pada pengujian kertas fiber ceramic yang direndam dengan minyak selama 72 jam. Menghasilkan tegangan sebesar 31.5 selama 72 jam perendaman. Hal ini menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan jenis isolasi kertas lainnya, proses adhesi pada fiber ceramic berlangsung lebih cepat.

D. Analisa semua jenis sampel kertas isolator

Setelah dilakukan pengujian secara keseluruhan dapat dianalisa bahwa setiap jenis kertas memiliki tingkat adhesi atau penyerapan minyak ke dalam kertas berbeda-beda. Begitu juga dengan ketebalan dari setiap jenis kertas berpengaruh terhadap tegangan tembus. Pernyataan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel.12 perbandingan nilai tegangan tembus (breakdown voltage) dari kedua sampel

Lama Rendaman	Nomex - Tegangan Tembus (kV)		Fiber Ceramic - Tegangan Tembus (kV)	
	Tebal 0,20mm	Tebal 0,80mm	Tebal 2mm	Tebal 6mm
0 jam	4,8	12	2	24,6
24 jam	7,5	9,7	3,6	27,9
72 jam	9,3	12,5	19,8	31,5

Tabel diatas menunjukn bahwa kertas nomex memiliki nilai teganga tembus 4,8 kV ketika diuji dalam kondisi kering dengan ketebalan awal, sementara kertas fiber ceramic memiliki nilai tegangan tembus yang lebih rendah 2 kV. Namun, ketika masing-masing kertas ditambahkan ketebalannya, hasilnya sebaliknya, kertas fiber ceramic memiliki nilai tegangan tembus yang lebih tinggi, 24,6 kV, sedangkan kertas nomex hanya memiliki 12 kV. Selanjutnya, pengujian dilakukan pada kertas fiber ceramic yang direndam minyak isolator selama 24 jam pada tebal awal. Hasilnya sama seperti pada kondisi kering, tetapi kertas nomex hanya memiliki 9,3 kV dan kertas fiber ceramic mencapai nilai

tegangan tembus 19,8 kV. Selain itu, saat setiap jenis kertas ditambahkan ketebalan, kertas fiber ceramic mencapai nilai yang signifikan 31,4 kV.

Penjelasan ini menunjukkan bahwa ketebalan kertas isolasi dapat mempengaruhi nilai tegangan tembus, atau tegangan breakdown, tetapi itu tidak berarti bahwa kertas isolasi yang lebih tebal lebih efisien, karena kertas isolasi yang digunakan pada transformator harus memiliki ketebalan tertentu. Selain itu, durasi perendaman kertas isolasi, yang masing-masing berlangsung selama 24 jam dan 72 jam, dapat mempengaruhi tegangan dengan menghasilkan tegangan tembus yang lebih tinggi. Proses adhesi kertas yang lebih lama akan menyebabkan rongga kertas membentuk struktur komposit yang lebih baik.

Tabel 13 perbandingan hasil pengujian dengan penelitian sebelumnya.

Jenis Kertas	Tegangan Tembus (kV) - Lama Rendaman		
	0 jam	24 jam	72 jam
Nomex			
0,2mm	4,8	7,5	9,3
0,8mm	12	9,7	12,5
Fiber Ceramic			
2mm	2	3,6	19,8
6mm	24,6	27,9	31,5
Press			
1mm	7,40	10,64	12,63
2mm	9,26	12,17	14,49
Krep			
1mm	12,18	17,06	17,63
2mm	17,12	22,74	24,11
Pressboard			
1mm	11,05	16,69	19,52
2mm	13,94	18,73	19,68
Kraft			
2mm	23,60	35,26	35,94

E. Analisa Kegagalan Dielektrik Dalam Pengujian

Kegagalan dielektrik pasti memiliki penyebabnya, dan analisis harus dilakukan untuk mengetahui titik kelemahan isolasi dan menghindarinya. Kegagalan mengisolasi kertas dari pengujian dapat disebabkan oleh faktor-faktor berikut:

Kegagalan elektromekanik ini disebabkan oleh perbedaan polaritas antara elektroda yang mengapit isolasi kertas. Selain itu, tekanan yang diberikan pada isolasi kertas melampaui ketahanan permukaannya, sehingga isolasi kertas gagal.

Kegagalan intrinsik terjadi karena masing-masing jenis isolasi kertas memiliki karakteristik permukaan lapisan kertas yang berbeda. Ketebalan kertas juga berpengaruh terhadap nilai voltage breakdown, dengan ketebala kertas yang lebih tinggi berpengaruh pada nilai voltage breakdown.

Kegagalan erosi terjadi ketika kertas diisolasi tanpa pengaruh dari luar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai breakdown voltage berbeda bahkan dengan jenis kertas yang sama dalam hal ketebalan dan perlakuan. Ini karena kualitas isolasi yang berbeda, seperti jumlah rongga dan lebar rongga di permukaannya. Kegagalan dielektrik pasti memiliki penyebabnya, dan analisis harus dilakukan untuk mengetahui titik kelemahan isolasi dan menghindarinya. Kegagalan mengisolasi kertas dari pengujian dapat disebabkan oleh faktor-faktor berikut:

Kegagalan elektromekanik ini disebabkan oleh perbedaan polaritas antara elektroda yang mengapit isolasi kertas. Selain itu, tekanan yang diberikan pada isolasi kertas melampaui ketahanan permukaannya, sehingga isolasi kertas gagal.

Kegagalan intrinsik terjadi karena masing-masing jenis isolasi kertas memiliki karakteristik permukaan lapisan kertas yang berbeda. Ketebalan kertas juga berpengaruh terhadap nilai voltage breakdown, dengan ketebala kertas yang lebih tinggi berpengaruh pada nilai voltage breakdown. Kegagalan erosi terjadi ketika kertas diisolasi tanpa pengaruh dari luar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai breakdown voltage berbeda bahkan dengan jenis kertas yang sama dalam hal ketebalan dan perlakuan. Ini karena kualitas isolasi yang berbeda, seperti jumlah rongga dan lebar rongga di permukaannya

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis dalam tugas akhir ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai tegangan tembus pada isolasi kertas dalam kondisi kering (tanpa perendaman) bervariasi, karena standar pengujian yang digunakan dalam datasheet kertas berbeda-beda.
2. Tegangan tembus (breakdown voltage) meningkat seiring dengan bertambahnya ketebalan kertas. Pada kertas Nomex, peningkatan dari 0,20 mm menjadi 0,80 mm menghasilkan kenaikan hingga empat kali lipat, sedangkan pada kertas Fiber Ceramic, peningkatan dari 2 mm menjadi 6 mm menghasilkan kenaikan hingga tiga kali lipat.
3. Perendaman isolasi kertas dalam minyak menyebabkan peningkatan nilai tegangan tembus. Semakin lama waktu perendaman, semakin tinggi nilai breakdown voltage. Namun, setelah mencapai durasi tertentu, nilai breakdown voltage pada beberapa jenis kertas cenderung mendekati nilai yang stabil atau bahkan mengalami penurunan.
4. Untuk mencapai nilai breakdown voltage yang stabil, kertas Nomex memerlukan waktu perendaman dalam minyak selama 72 jam, sedangkan kertas Fiber Ceramic hanya memerlukan waktu 24 jam. Perbedaan ini disebabkan oleh variasi kemampuan adhesi pada setiap jenis isolasi kertas. Adhesi adalah proses di mana senyawa kimia saling berikatan untuk membentuk komposit yang lebih kuat dan stabil.

Secara keseluruhan, perendaman isolasi kertas dalam minyak meningkatkan kadar selulosa, yang berkontribusi terhadap peningkatan nilai breakdown voltage. Hal ini terjadi karena minyak membantu memperbaiki struktur penyusun kertas berbasis selulosa, sehingga membentuk rantai

senyawa yang lebih kompleks dan stabil

REFERENSI

- [1]. I. D. Albin Salam, "Analisis Tegangan Tembus Minyak dan Pengaruh Rendaman Minyak pada Isolasi," *Universitas Gadjah Mada*, 2017. [Online]. Tersedia: <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- [2]. P. D. Fadrian Jatmiko dan Dr.Eng. F. Danang Wijaya, S. M., "Pengaruh Perendaman Berbagai Macam Jenis Kertas di dalam Minyak Trafo," *Universitas Gadjah Mada*, 2015. [Online]. Tersedia: <http://etd.repository.ugm.ac.id>
- [3]. M. H. Siagian dan B. Sugiyantoro, "Pengujian Beberapa Macam Kertas sebagai Bahan Isolator pada Sistem Tenaga," *Universitas Gadjah Mada*, 2018. [Online]. Tersedia: <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- [4]. D. Nugroho, "Kegagalan Isolasi Minyak Trafo," *Media Elektrika*, vol. 3, pp. 1-10, 2010.
- [5]. I. Y. Wahyu Kunto Wibowo, "Analisis Karakteristik Breakdown Voltage pada Dielektrik Minyak," 2008, pp. 1-11.
- [6]. R. Radhitya, "Pengaruh Rendaman Minyak Transformator terhadap Kekuatan Dielektrik Isolasi Kertas," *Teknik Elektro*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014.
- [7]. B. Haryanto dan R. Setiawan, "Studi Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Isolasi dengan Variasi Temperatur," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 45-52, 2012.
- [8]. A. Susanto, "Pengaruh Perendaman Isolasi Kertas dalam Minyak Trafo terhadap Karakteristik Listriknya," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 14, no. 1, pp. 33-41, 2016.
- [9]. R. Prasetyo, "Analisis Tegangan Tembus pada Minyak Trafo Bekas dan Baru," *Jurnal Energi & Kelistrikan*, vol. 7, no. 1, pp. 22-30, 2019.
- [10]. L. Setiadi dan T. Suryadi, "Kajian Pengaruh Umur Minyak Transformator terhadap Tegangan Tembus Isolasi," *Jurnal Kelistrikan dan Energi Terbarukan*, vol. 5, no. 3, pp. 15-24, 2020