

Perbandingan Ketebalan Insulasi Jenis Kertas Laminasi Ditinjau dari Tegangan Tembus Transformator pada Dua Kondisi

Samsurizal^{1*}, Rio Afrianda¹, Andi Makkulau¹, Finka R Sani¹, Diana Puspita¹

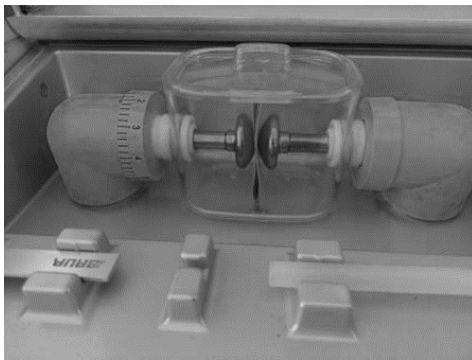
¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, Jakarta Barat, DKI Jakarta

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 20 November 2023
Direvisi : 24 Mei 2024
Disetujui : 30 Mei 2024

*Korespondensi Penulis:
Samsurizal@itpln.ac.id

Graphical abstract



Abstract

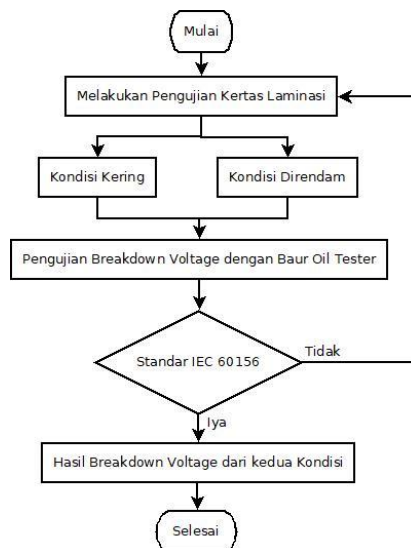
An insulation layer is used to cover the transformer winding in a transformer. Commonly used insulations in transformers include oil insulation and paper insulation. Paper insulation is soft and flexible, adapting to any desired shape. The crucial factors to consider in insulation are strength and durability. This research was conducted through testing with two conditions: varying the thickness of the paper and the condition of the paper when dried and immersed in insulation oil. The test results show that insulation paper with a thickness of 1.04 mm in a dry state has an average breakdown voltage of 6.7 kV. When immersed in oil, the same thickness has a breakdown voltage of 23.82 kV, indicating that insulation paper with the immersion method has a better breakdown voltage than dry insulation paper.

Keywords: Insulation, Thickness, Breakdown Voltage, Transformer

Abstrak

Pada trafo terdapat lapisan insulasi untuk menutupi kumparan trafo. Insulasi yang biasa digunakan pada trafo adalah insulasi minyak dan insulasi kertas. Kertas insulasi lembut atau fleksibel dan dapat menyesuaikan dengan bentuk apa pun yang diinginkan. Faktor penting yang harus diperhatikan dalam insulasi adalah kekuatan dan daya tahannya. Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan ketebalan insulasi jenis kertas laminasi ditinjau dari tegangan tembus transformator pada dua kondisi. Penelitian ini dilakukan dengan metode pengujian dengan dua kondisi. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan ketebalan kertas dan kondisi kertas saat dikeringkan dan direndam dalam minyak insulasi. Hasil pengujian kertas insulasi dengan ketebalan 1,04 mm dalam keadaan kering memberikan nilai tegangan tembus rata-rata sebesar 6,7 kV dan ketebalan yang sama sebesar 1,04 mm dalam keadaan kering direndam dalam minyak dengan nilai yang sama, 23,82 kV yang menunjukkan bahwa kertas insulasi dengan metode perendaman mempunyai tegangan tembus yang lebih baik dibandingkan kertas insulasi dalam keadaan kering.

Kata kunci: Insulasi, Ketebalan, Tegangan Tembus, Trafo



© 2024 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Efisiensi dan kehandalan transformator merupakan hal yang sangat perlu diperhatikan terhadap sistem ketenagalistrikan. Karena penggunaannya yang terus menerus, sehingga dalam penggunaannya memiliki keadaan normal dan tidak normal. Insulasi penggunaan yang terus menerus akan mempertahankan operasi transformator daya. Pada insulasi cair dan padat banyak digunakan sebagai bahan insulasi agar fungsi transformator berjalan dengan baik.

Insulasi yang umum digunakan pada transformator diantaranya adalah insulasi minyak dan insulasi kertas. Insulasi minyak yang sering digunakan adalah insulasi minyak jenis mineral. Karena insulasi minyak jenis mineral memiliki kinerja penyerapan serta kekuatan insulasi yang cukup baik. Insulasi kertas umumnya diaplikasikan sebagai lapisan gulungan kawat pada transformator. Faktor penting yang harus diperhatikan pada suatu bahan insulasi adalah kekuatan dan daya tahannya [1]. Salah satu pengujian yang digunakan untuk mengetahui kekuatan insulasi adalah pengujian *breakdown voltage* atau tegangan tembus. *Breakdown voltage* atau tegangan tembus merupakan suatu peristiwa dimana tegangan dinaikkan secara terus menerus, hingga atom-atom terionisasi sampai dengan batas kemampuan isolator untuk menahan tegangan [2]. Insulasi cair dan padat menentukan keandalan transformator daya. Insulasi cair lebih berkontribusi terhadap kerusakan insulasi padat [3]. Bahkan penekanan lebih diberikan pada bagian cair daripada bagian padat transformator daya di tahun-tahun berikutnya [4]. Antarmuka kertas minyak, elemen terpenting, dikatakan ada dalam insulasi padat transformator daya yang diisi minyak. Antarmuka kertas minyak adalah konfigurasi tunggal dan multi-lapisan yang diizinkan untuk menahan tekanan lingkungan, listrik, mekanik, dan termal. Muatan listrik, juga dikenal sebagai muatan ruang, ditemui oleh kontak atau antarmuka kertas minyak, membentuk kumpulan bahan insulasi komposit [5]. Pada umumnya, hal ini berlaku untuk kertas laminasi dan kertas kraft, karena keduanya merupakan polimer alami dari monomer glukosa [6] [7]. Sebaliknya, tidak adanya medan listrik dihitung sebagai salah satu kriteria utama yang membuat molekul berubah menjadi perubahan yang direpresentasikan sebagai gugus, terutama pada fitur kimia dan morfologi insulasi [8]. Hal tersebut diperlukan untuk melihat sejauh mana kehandalan dari insulasi yang digunakan.

Ion positif dan elektron bebas dihasilkan karena fenomena produksi muatan ruang yang disebabkan oleh penerapan tegangan tinggi [9]. Kinerja dan keandalan sistem insulasi kertas minyak dipengaruhi oleh fenomena tersebut. Sifat muatan ruang dalam sistem insulasi kertas minyak terdapat beberapa faktor penting yang berkontribusi terhadap keberhasilan studi tentang keandalan pada insulasi transformator. Empat komponen desain insulasi, deteksi masalah, desain alat diagnostik, dan modernisasi sistem kelistrikan semuanya berkontribusi pada pemahaman menyeluruh tentang dinamika muatan ruang. Sistem insulasi yang lebih baik dapat diandalkan dan efektif yang menghasilkan muatan insulasi pada transformator. Sistem insulasi kertas minyak terdistorsi ketika muatan lebih sering terakumulasi [9]. Distorsi akan meningkatkan suhu di dalam transformator, yang dapat menyebabkan kegagalan peralatan atau kerusakan insulasi. Oleh karena itu perilaku tersebut sangat penting untuk mengembangkan dan melihat kehandalan dari transformator daya yang andal dan efisien [10].

Terdapat beberapa kemungkinan risiko akibat pengembangan muatan ruang, desain insulasi membantu mendinginkan dan mengurangi distorsi medan listrik. Jadi, pemeliharaan preventif dapat dikembangkan dengan mengembangkan instrumen diagnostik untuk melacak keadaan sistem insulasi kertas minyak [11]. Instrumen ini dapat memprediksi kegagalan jauh sebelumnya dan merekomendasikan pemeliharaan preventif atau, jika diperlukan, dan mencari alternatif pengganti.

Kekuatan tegangan tembus pada insulasi padat lebih tinggi dibandingkan insulasi cair dan insulasi gas [12]. Analisis terpenting dalam teknik insulasi adalah analisis tentang tegangan tembus pada dielektrik padat. Apabila tegangan dibiarkan menembus bahan dielektrik, insulasi padat akan rusak secara permanen, sementara dengan insulasi cair beberapa kembali ke karakteristik aslinya dan beberapa lainnya tidak atau meninggalkan residu, serta insulasi gas kembali ke kondisi semula tanpa meninggalkan residu [13]. Setiap jenis dielektrik melakukan fungsi penting sebagai bahan insulasi, yaitu sebagai berikut: [10] Untuk menginsulasi satu konduktor dengan konduktor lain, untuk menahan gaya mekanik akibat arus dalam konduktor yang diinsulasi, dapat menahan tekanan yang disebabkan oleh temperatur dan reaksi kimia. Perlu diketahui efek dari semua parameter ini adalah karena tekanan yang disebabkan oleh medan listrik, gaya mekanik, panas dan reaksi kimia yang dapat terjadi bersamaan. Bahan insulasi dinyatakan ekonomis bila dapat menahan semua parameter tersebut untuk jangka waktu yang lama. Terdapat ciri-ciri dari bahan dielektrik yang baik [10] kekuatan dielektrik, konduktansi, tahanan insulasi, rugi-rugi dielektrik, *partial discharge*, *tracking strength* [14].

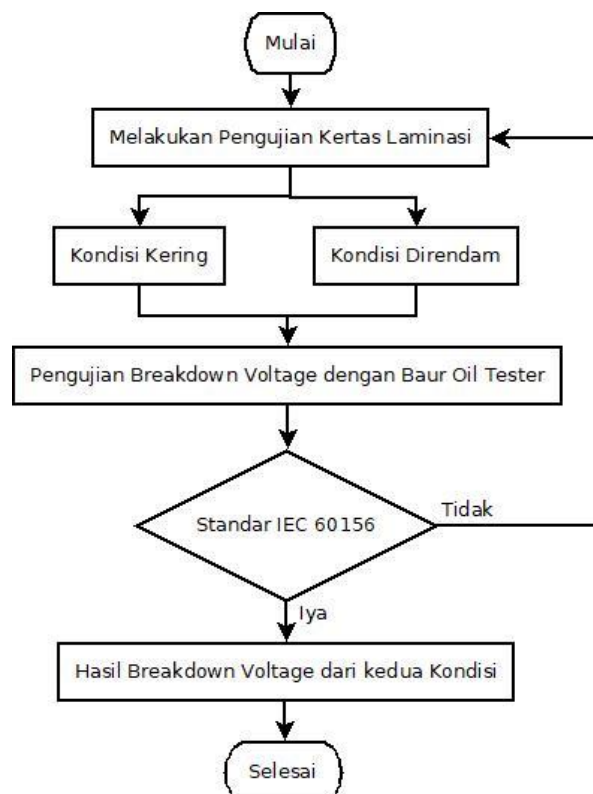
Kekuatan dielektrik merupakan ukuran kemampuan bahan untuk menahan medan listrik tanpa menyebabkan timbulnya tegangan tembus pada bahan insulasi [15]. Dapat diketahui setiap jenis bahan dielektrik mempunyai kekuatan yang berbeda-beda, seperti dari kualitas material atom-atom penyusun dielektrik, luas permukaan, serta bentuk permukaannya tergantung bagaimana perangkat atau komponen tersebut diproduksi.

2. METODE

Pengujian *Breakdown Voltage* (BDV) merupakan metode untuk mengevaluasi kemampuan menahan tegangan isolasi minyak transformator. Ketika tegangan pada isolator terus meningkat, atom-atom dalam minyak terionisasi dan pada titik tertentu isolator menjadi konduktor. Saat kritis ini disebut *breakdown*. Uji BDV diperlukan untuk mengetahui titik kritis minyak isolasi, yaitu batas ketahanan minyak terhadap tegangan. Hasil pengujian ini memberikan informasi mengenai kekuatan dielektrik minyak. Pengujian BDV sangat penting untuk memastikan minyak isolasi pada trafo berfungsi dengan baik dan aman. Semakin tinggi nilai BDV, semakin baik kemampuan oli untuk mengisolasi tegangan yang diberikan.

Tahapan awal pada penelitian yang digunakan dengan melakukan pengujian secara langsung menggunakan alat *Baur Oil Breakdown Voltage Tester*, mengacu dengan standar IEC 60156. Selanjutnya dilakukan analisis data, hasil uji insulasi termal kertas kering yang akan dibandingkan dengan hasil uji insulasi termal kertas saat direndam dalam air. Parameter yang digunakan adalah variasi ketebalan insulasi kertas. Dengan menggunakan 8 (delapan) variasi ketebalan, kertas insulasi yang digunakan pada pengujian adalah kertas laminasi. Untuk variasi ketebalan kertas insulasi dimuali dari ketebalan 0,13 mm hingga 1,04 mm. Media yang digunakan pada proses pencelupan kertas laminasi adalah minyak mineral, pengujian insulasi kertas dilakukan sebanyak delapan kali pengujian disetiap ketebalan kertas insulasi yang berbeda-beda saat keadaan kering maupun keadaan direndam minyak insulasi. Hasil pengujian insulasi kertas tersebut berupa nilai *breakdown voltage* atau tegangan tembusnya. Data hasil pengujian *breakdown voltage* atau tegangan tembus insulasi kertas saat keadaan kering dan keadaan direndam selanjutnya dianalisa untuk melihat mana yang paling baik nilai tegangan tembus untuk setiap variasi ketebalan kertas insulasi pada saat kering dan pada saat direndam dalam minyak insulasi.

Adapun diagram Alir Penelitian ini disajikan secara sederhana pada proses penelitian yang dilakukan dapat dijelaskan pada grafik gambar 1.



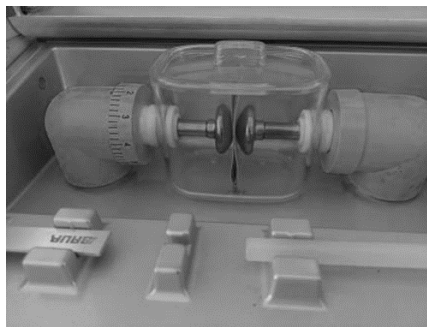
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Kertas isolasi yang digunakan saat pengujian, sebelumnya sudah dikeringkan melalui proses pemanasan (oven) dari pabrikannya. Proses pemanasan tersebut bertujuan untuk mengurangi kadar air yang terkandung dalam kertas isolasi. Selanjutnya dilakukan pengujian pada kertas isolasi sampai terjadi *breakdown voltage*. Nilai hasil *breakdown voltage* tersebut dicatat lalu diamati apa pengaruh

variasi ketebalan kertas terhadap *breakdown voltage* atau tegangan tembusnya. Untuk pengujian kertas isolasi pada keadaan direndam minyak, kertas isolasi direndam kedalam minyak isolasi jenis mineral MICTRANS B selama 1 (satu) minggu pada semua variasi ketebalan kertas. Setelah melalui proses perendaman, kertas isolasi tersebut diuji hingga terjadi *breakdown voltage*. Nilai hasil *breakdown voltage* tersebut dicatat lalu diamati apa pengaruh proses perendaman terhadap *breakdown voltage* atau tegangan tembusnya.

3. HASIL

Parameter yang digunakan pada pengujian ini adalah memvariasikan ketebalan kertas insulasi transformator saat kondisi kering terhadap tegangan tembus dan variasi ketebalan kertas insulasi transformator dalam keadaan direndam oleh insulasi minyak terhadap tegangan tembus. Sampel uji yang digunakan pada penelitian ini adalah kertas insulasi jenis laminasi dan minyak insulasi jenis mineral. Variasi ketebalan kertas insulasi yang digunakan pada pengujian ini dengan kelipatan 0,13 mm sebanyak 8 kali. Kertas insulasi transformator yang digunakan pada penelitian ini adalah kertas dengan kondisi baru. Kertas insulasi jenis laminasi merupakan kertas *multilayer* yang dibuat dengan proses berkelanjutan dari bahan pulp yang seluruhnya berasal dari nabati serta dengan kemurnian kimia yang tinggi. Kertas Laminasi memiliki spesifikasi kepadatan, kehalusan permukaan, kekuatan mekanik yang tinggi serta ketahanan terhadap tegangan tembus yang tinggi. Pengujian insulasi kertas ini menggunakan metode *breakdown voltage* atau tegangan tembus. Pengujian *breakdown voltage* dilakukan dengan menggunakan alat *Baur Oil Breakdown Voltage Tester* sesuai dengan standar IEC 60156. Alat dan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini disajikan pada gambar 2.



Gambar 2. Pegujian Breakdown Voltage

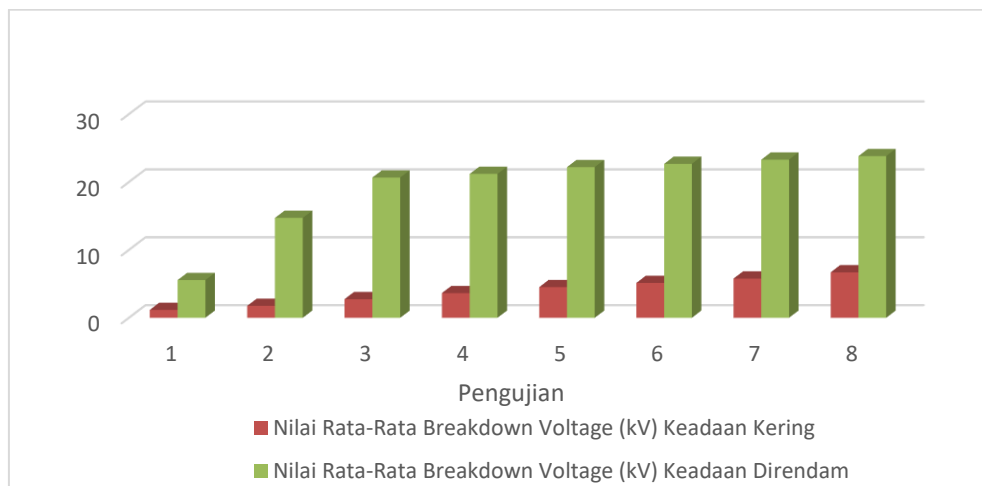
Dari pengujian ini diperoleh hasil data mengenai nilai *breakdown voltage* pada transformator dengan ketebalan insulin kertas terhadap dua kondisi. Setiap satu pengujiannya diperoleh hasil data sebanyak lima nilai *breakdown voltage*. Sehingga, pada penelitian ini dapat memperoleh nilai rata-rata *breakdown voltage* untuk delapan kali variasi. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan ketebalan kertas 0,13 mm pada pengujian pertama, selanjutnya dilakukan pengujian hingga 8 kali dengan variasi ketebalan kertas kelipatan dari pengujian pertama, dimana pengujian dikondisikan pada keadaan insulasi kertas kering dan pada keadaan insulasi kertas direndam dengan minyak. Hasil yang didapatkan disajikan pada table 1.

Tabel 1. Nilai Rata-Rata Breakdown Voltage Pada Keadaan Kering dan Direndam

| Pengujian | Nilai Rata-Rata <i>Breakdown Voltage</i> (kV) | |
|-----------|---|------------------|
| | Keadaan Kering | Keadaan Direndam |
| 1 | 1,16 | 5,56 |
| 2 | 1,76 | 14,72 |
| 3 | 2,74 | 20,66 |
| 4 | 3,64 | 21,20 |
| 5 | 4,52 | 22,20 |
| 6 | 5,14 | 22,68 |
| 7 | 5,78 | 23,30 |
| 8 | 6,70 | 23,82 |

Pengujian dilakukan dilaboratorium tegang tinggi Institut Teknologi PLN dilakukan sebanyak delapan kali. Pada tabel 1 pengujian diperoleh nilai rata-rata breakdown voltage yang terukur dalam keadaan kering dan keadaan direndam. Hasil pengujian nilai rata-rata pertama pada ketebalan insulasi 0,13 mm, pada keadaan kering diperoleh nilai 1,16 kV, dan pada keadaan direndam diperoleh 5,56 kV. Selanjutnya, pada ketebalan insulasi 0,26 mm diperoleh nilai rata-rata pada keadaan kering sebesar 1,76 kV, dan keadaan direndam diperoleh nilai sebesar 14,72 kV. Kemudian, pada ketebalan insulasi kertas 0,29 mm diperoleh nilai rata-rata ketiga, pada keadaan kering diperoleh 2,74 kV dan pada keadaan direndam diperoleh 20,66 kV. Diketebalan insulasi kertas 0,52 mm diperoleh nilai rata-rata ke empat dengan keadaan kering sebesar 3,64 kV dan pada keadaan direndam diperoleh 21,20 kV. Pada ketebalan kertas 0,65 mm diperoleh nilai rata-rata kelima dalam keadaan kering sebesar 4,52 kV dan dalam keadaan direndam sebesar 22,20 kV. Pada ketebalan insulasi kertas 0,78 mm dapat diperoleh nilai rata-rata pada keadaan kering sebesar 5,14 kV dan pada keadaan direndam sebesar 22,68 kV. Diketebalan insulasi kertas 0,91 mm diperoleh nilai rata-rata ke tujuh Ketika keadaan kering diperoleh 5,78 kV dan keadaan direndam sebesar 23,30 kV. Pengujian terakhir dengan ketebalan 1,04 mm diperoleh nilai rata-rata pada keadaan kering diperoleh 6,70 kV dan keadaan direndam sebesar 23,82 kV. Dari data tersebut dapat dibuktikan bahwa ketika keadaan insulasi kertas direndam memiliki nilai efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan insulasi dalam keadaan kering.

Nilai rata-rata *breakdown voltage* hasil pengujian yang telah dilakukan dalam kondisi kering dan direndam disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik Pengujian *Breakdown Voltage*

Berdasarkan grafik gambar 3 dapat dinyatakan bahwa nilai rata-rata *breakdown voltage* yang dihasilkan insulasi kertas jenis *laminasi paper* saat keadaan setelah direndam minyak insulasi jenis mineral lebih besar, yaitu dengan ketebalan 1,04 mm menghasilkan nilai rata-rata *breakdown voltage* sebesar 23,82 kV dibandingkan dengan nilai rata-rata *breakdown voltage* yang dihasilkan insulasi kertas saat keadaan kering, dengan ketebalan yang sama yaitu 1,04 mm menghasilkan nilai rata-rata *breakdown voltage* sebesar 6,7 kV.

Kertas isolasi yang direndam dalam minyak untuk membantu pendinginan dan tambahan isolasi. Oleh karena itu, menjaga kualitas minyak dan meminimalkan kelembaban sangat penting untuk mempertahankan tegangan tembus yang tinggi dan memastikan kinerja yang andal dari sistem isolasi. Berdasarkan hasil pengujian dimana kertas yang direndam memiliki nilai *breakdown voltage* lebih baik, perendaman kertas isolasi dalam minyak transformator bukan hanya penting, tetapi sering kali esensial untuk memastikan kinerja yang optimal dan umur panjang dari peralatan listrik. Minyak transformator memberikan peningkatan sifat dielektrik, pendinginan yang efektif, perlindungan dari kelembaban, stabilitas mekanis, serta kemudahan dalam proses manufaktur dan pemeliharaan. Dengan demikian, meskipun kertas isolasi dalam kondisi kering memiliki tegangan tembus yang lebih tinggi secara teoritis, perendaman dalam minyak memberikan manfaat praktis yang jauh lebih besar dalam aplikasi nyata.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan, hasil pengujian insulasi kertas terhadap *breakdown voltage* jenis *laminasi paper* dengan menggunakan 2 kondisi (kondisi kering dan direndam) dan memvariasikan ketebalan kertas diperoleh nilai tegangan tembus rata-rata tertinggi pada saat kertas insulasi keadaan direndam yaitu sebesar 23,82 kV dengan ketebalan 1,04 mm. Sedangkan kondisi kering dengan ketebalan yang sama yaitu 1,04 mm menghasilkan nilai rata-rata *breakdown voltage* sebesar 6,7 kV. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat dinyatakan bahwa metode perendaman kertas insulasi mampu meningkatkan tegangan tembus atau *breakdown voltage* lebih baik, dibandingkan dengan kertas insulasi dalam keadaan kering. Tegangan tembus kertas isolasi kering lebih rendah dibandingkan kertas isolasi yang direndam dalam minyak isolasi. Hal ini dikarenakan dalam keadaan kering, rongga atau pori-pori pada kertas isolasi masih terbuka dan mungkin mengandung kontaminan lembab. Sebaliknya, ketika direndam dalam minyak isolasi, rongga dan pori-pori pada kertas isolasi ditutupi dengan minyak isolasi, sehingga meningkatkan tegangan penahanan dan meningkatkan kualitas isolasi. Artinya kualitas insulasi kertas insulasi pada kondisi basah lebih tinggi dibandingkan saat kering.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi PLN, LPPM dan pihak-pihak yang terlibat dalam penelitian ini serta telah memberikan dukungan yang membantu penulisan artikel, semoga tulisan ini bermanfaat.

REFERENSI

- [1] F. Jatmiko, "Pengaruh Perendaman Berbagai Macam Jenis Kertas di Dalam Minyak Trafo Terhadap Karakteristik Tegangan Tembus Pada Suhu 30°C, 40°C, dan 50°C," Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2015.
- [2] M. I. Simanjuntak, "Pengaruh Lama Perendaman Kertas Trafo (Pressboard) Pada Minyak Mineral, Minyak Nabati, Dan Minyak Sintetis Terhadap Karakteristik Elektris Kertas," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2019.
- [3] D. Martin And T. Saha, "A Review Of The Techniques Used By Utilities To Measure The Water Content Of Transformer Insulation Paper.," IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 33, No. 3, Pp. 8-16, 2017.
- [4] Y. Du, M. Zahn, B. C. Lesieutre, A. V. Mamishev And S. R. Lindgren, *Moisture Equilibrium In Transformer Paper-Oil Systems*, 1999.
- [5] A. K. Das, D. C. Shill And S. Chatterjee, "Coconut Oil For Utility Transformers—Environmental Safety And Sustainability Perspectivess," *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, Vol. 112572, P. 164, 2022.
- [6] S.-G. JEONG And E. Al., "Toward Instrument-Free Digital Measurements: A Three-Dimensional Microfluidic Device Fabricated In A Single Sheet Of Paper By Double-Sided Printing And Lamination.," *Lab On A Chip*, Vol. 15, No. 4, Pp. 1188-1194, 2015.
- [7] C. L. Cassano And Z. H. Fan, "Laminated Paper-Based Analytical Devices (LPAD): Fabrication, Characterization, And Assays," *Microfluidics And Nanofluidics*, Vols. 15., Pp. 173-181, 2013.
- [8] M. H. Guo, J. X. Cai, Z. N. Liu, T. J. Mu, R. R. Martin And S. M. Hu, "Pct: Point Cloud Transformer," *Computational Visual Media*, 7, Pp. 187-199, 2021.

- [9] M. Verma, N. Bhatia, S. D. Holdridge And T. O'Neal, "Isolation Techniques For Medium-Voltage Adjustable Speed Drives: Drive Topologies For Maintaining Line-Side Performance," *IEEE Industry Applications Magazine*, , Vol. 25, No. 6, Pp. 92-100, 2019.
- [10] R. Radhitya, "Pengaruh Rendaman Minyak Transformator Terhadap Kekuatan Dielektrik Isolasi Kertas," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014.
- [11] I. N. O. Winanta, A. Agung, N. Amrita And W. G. Ariastina, "Studi Tegangan Tembus Minyak Transformator," *Jurnal SPEKTRUM*, Vol. 6, No. 3, 2019.
- [12] H. K. Mubarak, " Analisis Pengaruh Purifikasi (Filtering) Terhadap Kualitas Tegangan Tembus Minyak Transformator.," *JETI (Jurnal Elektro Dan Teknologi Informasi)*, Vol. 1, No. 2, Pp. 41-46, 2022.
- [13] Y. H. Pesa And F. Murdiya, "Karakteristik Tegangan Tembus AC Pada Material Isolasi Padat Campuran Epoxy Resin Dengan Cangkang Kelapa Sawit," *Jurnal FTEKNIK*, P. 2, 2017.
- [14] I. Roza, A. A. Nasution And H. Setiawan, "Analisis Umur Minyak Terhadap Temperatur Transformator 150kv Akibat Penurunan Tegangan Tembus Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) 2.1 PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan.," *Journal Of Electrical And System Control Engineering*, Vol. 1, No. 3, Pp. 1-12, 2019.
- [15] F. R. A. Bukit, "Analisis Kekuatan Dielektrik Minyak Campuran Metil Ester Bunga Matahari Sebagai Isolasi Cair Pada Transformator," *Journal Of Energy And Electrical Engineering* , P. 2, 2021.