

ANALISIS PENGARUH KADAR AIR TERHADAP KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS DAN DIELEKTRIK ISOLASI PRESSBOARD TIPE B.3.1

Rizky Abdul Rahman, Abdul Hafid Paronda, Sri Marini
Fakultas Teknik, UNISMA, Jl. Cut Meutia 83, Bekasi, 17110, Indonesia
Email: rarahman.rar@gmail.com

ABSTRAK

Transformator merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem transmisi dan distribusi listrik dalam kehidupan modern saat ini. Keandalan transformator sangat bergantung pada sistem isolasinya, salah satu isolasi yang digunakan dalam transformator adalah *pressboard*. *Pressboard* merupakan isolasi padat dan karena sifatnya yang padat menyebabkan *pressboard* rentan terhadap kenaikan tingkat kadar air yang terjadi karena pengaruh dari kelembaban udara di dalam ruangan. Tingkat kadar air dapat mempengaruhi penurunan terhadap tegangan tembus dan kekuatan dielektrik *pressboard*. Penelitian terhadap *pressboard* dilakukan dengan mengukur tingkat kadar air *pressboard* yang telah dikeringkan dalam temperatur $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ selama 48 jam kemudian disimpan dalam ruangan dengan temperatur 30°C dengan kelembaban 70% selama 10 hari. *Pressboard* dengan ukuran tipis lebih cepat menyerap air dan lebih cepat mencapai titik jenuh. *Pressboard* dengan kadar air dengan nilai $\pm 10\%$ dapat menyebabkan penurunan sebesar $> 50\%$ dari kemampuan *pressboard* menahan tegangan tembus dalam kondisi kering. *Pressboard* dengan kadar air $\pm 10\%$ juga dapat menyebabkan kekuatan dielektrik *pressboard* < 11 kV/mm yang berarti nilai tersebut berada dibawah standard kekuatan dielektrik berdasarkan IEC 60641.

Kata kunci : Transformator, *Pressboard*, kadar air, tegangan tembus, kekuatan dielektrik.

ABSTRACT

Transformer is an important component of modern electrical transmission and distribution system. The reliability of transformer depends on its insulation system. Pressboard is one of solid insulations used for transformer. Due to its solid nature, pressboard is susceptible to the increase in the level of moisture content caused by humidity of room temperature. The level of water content can cause the decrease toward breakdown voltage and dielectric strength of pressboard. Research toward pressboard is conducted to measure the water content of pressboard dried in temperature $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 48 hours before it was kept in a room with temperature of 30°C and the humidity level of 70% for ten days. Thin-sized pressboard absorbed water and reached saturation point quicker. Pressboard with $\pm 10\%$ water content can reduce $> 50\%$ of pressboard's ability to withstand breakdown voltage in dry condition. Pressboard with $\pm 10\%$ water content can also result in dielectric strength of < 11 kV/mm, putting it under standard of dielectric strength based on IEC 60641.

Keywords: Transformer, pressboard, water content, breakdown voltage, dielectric strength.

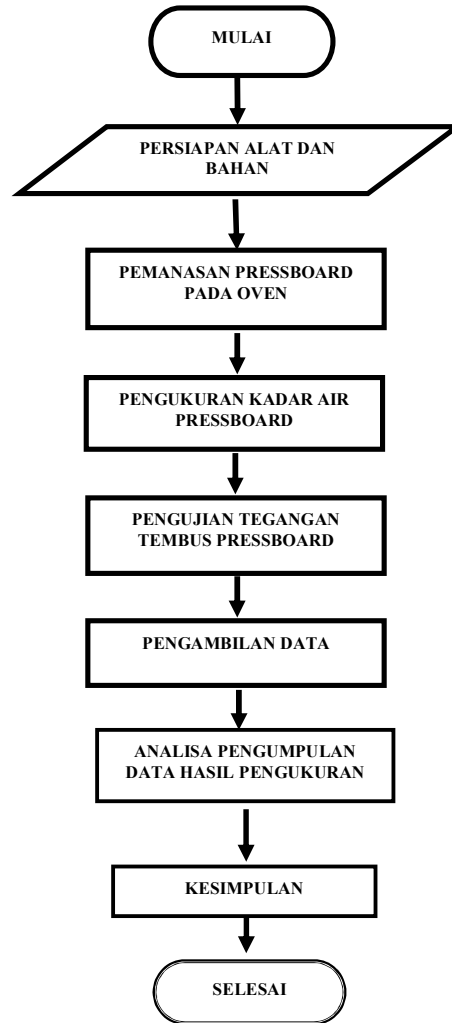
PENDAHULUAN

Transformator merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem transmisi dan distribusi listrik yang mana banyak dari kita yang bergantung pada standar kehidupan modern saat ini. Transformator merupakan teknologi yang dapat mengirim energi listrik secara efisien dari dimana listrik itu dihasilkan sampai listrik itu dibutuhkan baik oleh industri maupun kebutuhan rumah tangga (Jarman, 2008). Pada transformator tenaga, isolasi transformator merupakan komponen yang sangat penting dimana isolasi berfungsi untuk memisahkan bagian-bagian yang mempunyai beda tegangan agar tidak terjadi lompatan listrik (*flash-over*) atau percikan (*spark-over*). Salah satu bagian isolasi padat pada transformator yaitu *pressboard*. *Pressboard* adalah papan yang biasa dibuat menggunakan mesin, terbuat dari bahan *pulp* kayu yang seluruhnya terbuat dari bahan nabati alami pada kemurnian

kimia tertinggi (IEC 60641-1). Karena sifatnya yang padat *pressboard* sangat peka terhadap kelembaban yang dapat mempengaruhi kadar airnya. Berdasarkan hal diatas perlu adanya penelitian untuk menganalisis seberapa besar pengaruh kadar air yang dipengaruhi oleh kelembaban terhadap tegangan tembus dan kekuatan dielektrik *pressboard*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran baru bagaimana pengaruh kelembaban terhadap tingkat kadar air dalam *pressboard*, pengaruh perubahan tingkat kadar air dalam *pressboard* terhadap tegangan tembus, dan dielektrik pada *pressboard*. Langkah-langkah penelitian dijelaskan pada Gambar 1.

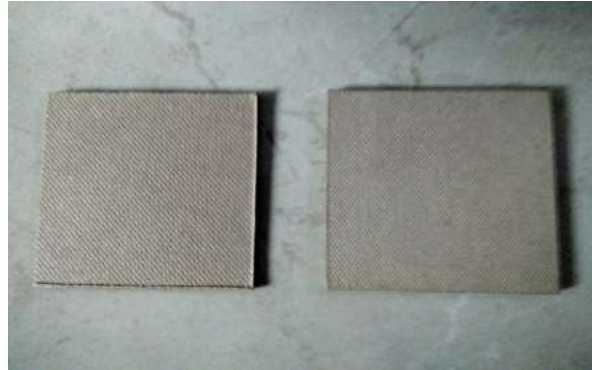


Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan *pressboard* baru dengan ketebalan yang berbeda yaitu 2 mm dan 3 mm yang diperlihatkan pada Gambar 1. *Pressboard* yang akan diuji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data *Pressboard* Transformator
 - Merk : Weidman
 - Jenis *Pressboard* : B.3.1

- Ukuran : 70x70 mm
 Ketebalan : 2 mm
2. Data *Pressboard* Transformator
 Merk : Weidman
 Jenis *Pressboard* : B.3.1
 Ukuran : 70x70 mm
 Ketebalan : 3 mm



Gambar 2. *Pressboard* tipe B.3.1

Cara pengeringan *pressboard* tipe B.3.1 adalah sebagai berikut:

1. Siapkan *pressboard* tipe B.3.1 dengan ukuran 2 mm dan 3 mm.
2. Masukkan *pressboard* pada oven.
3. Atur temperatur pada oven mencapai $103 \pm 2^\circ\text{C}$ berdasarkan standar IEC 60641-2.
4. Tunggu sampai 48 jam berdasarkan standar IEC 60641-2.
5. Setelah selesai keluarkan *pressboard* dari oven dan simpan pada sebuah ruangan.

Tabel 1. Waktu pemanasan bahan pengujian

Ketebalan (mm)	Waktu (Jam)
$\leq 0,5$	6 sampai 24
$> 0,5$ sampai 1,5	24
$> 1,5$ sampai 5	48
> 5	72

Pengukuran Kadar Air *Pressboard*

Pengukuran kadar air pada *pressboard* dilakukan sebagai tolak ukur untuk menyatakan jumlah air di dalam *pressboard*. Kadar air merupakan ukuran untuk menyatakan kandungan air di dalam *pressboard*. Kadar air merupakan perbandingan antara berat substansi air yang ada di dalam *pressboard* dan berat substansi *pressboard* itu sendiri ketika sama sekali tidak mengandung air. Kadar air selalu dinyatakan dalam persen. Secara matematis kadar air dirumuskan seperti (1).

$$K_a = (W_a / W_o) \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

K_a : kadar air (%)

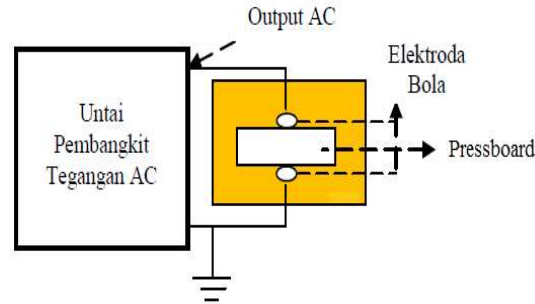
W_a : berat air (g)

W_o : berat kayu berkondisi kering tanur (g)

Pengujian Tegangan Tembus

Setiap bahan isolasi mempunyai batas kekuatan untuk menahan medan elektrik. Jika kuat medan elektrik yang ditahan bahan isolasi melebihi batas tersebut dan adanya medan elektrik berlangsung cukup lama, maka bahan isolasi akan menghantar arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam keadaan ini bahan isolasi disebut tembus listrik (*electrical breakdown*). Tegangan yang menyebabkan suatu bahan isolasi tembus listrik disebut tegangan tembus atau “*breakdown voltage*”.

Rangkaian pengujian yang digunakan ditunjukkan oleh Gambar 3. Diameter elektroda bola yang digunakan adalah 12,5 mm. Jarak elektroda dalam pengujian tegangan tinggi *pressboard* adalah 2mm dan 3mm sesuai dengan ukuran *pressboard* yang akan diuji.



Gambar 3. Rangkaian pengujian tegangan tinggi
(Sumber: Windarto,2015)

Pengukuran Dielektrik *Pressboard*

Kekuatan dielektrik adalah nilai maksimum tegangan listrik yang dapat diterapkan diantara dua buah elektroda tanpa menghasilkan busur api. Kekuatan dielektrik dirumuskan dalam persamaan 2.

$$E_{BDV} = U_{BDV}/d \quad (2)$$

Di mana:

E_{BDV} : Kekuatan dielektrik (kV/mm)

U_{BDV} : Tegangan tembus (kV)

d : Jarak antara dua elektroda

Pengujian tegangan tinggi *pressboard* dilakukan berdasarkan standar IEC 60641 yang ditunjukkan oleh tabel 2.

Tabel 2. Kekuatan elektrik *pressboard* B.3.1

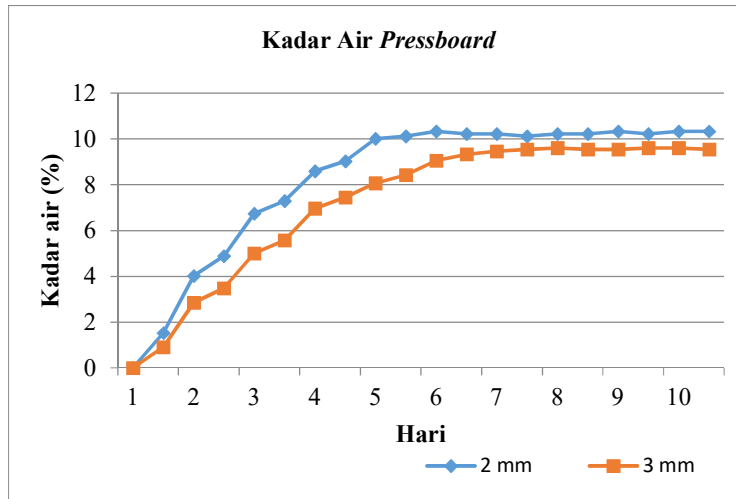
<i>Pressboard</i>	Kekuatan dielektrik (kV/mm)	
	Di Udara	Di Minyak
< 1.6 mm	12	40
> 1.6 – 3.0 mm	11	35
> 3.0 – 6.0 mm	10	30
> 6.0 – 8.0 mm	9	30

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengukuran kadar air dan tegangan tembus pada *pressboard* tipe B.3.1 ukuran 2 mm dan 3 mm maka diperoleh data sebagai berikut:

Analisis Pengaruh Kelembaban Terhadap Kadar Air *Pressboard*

Pengukuran berat *pressboard* ukuran 2 mm dan *pressboard* ukuran 3 mm dilakukan selama 10 hari setelah proses pengeringan dan penyimpanan pada ruangan dengan temperatur 30°C dengan kelembaban 70%. Grafik hasil pengukuran ditunjukkan oleh gambar 4.

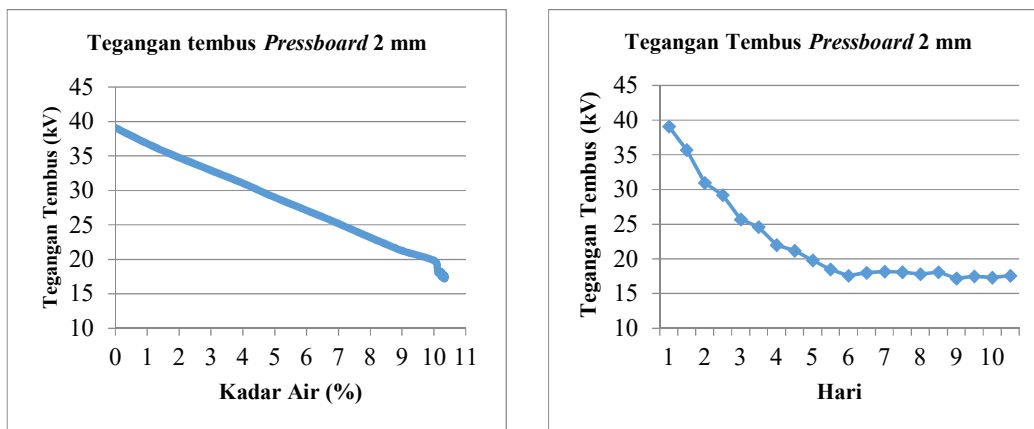


Gambar 4. Grafik tingkat kadar air pada *pressboard*

Grafik tingkat kadar air *pressboard* pada gambar 4 menunjukkan kenaikan tingkat kadar air pada *Pressboard* ukuran 2 mm terus mengalami peningkatan hingga mencapai titik jenuh dimana sejak hari ke-5 hingga hari ke-10 tidak ada peningkatan yang signifikan dengan nilai rata-rata mencapai 10,23%, sedangkan *pressboard* 3 mm juga mengalami kenaikan tingkat kadar air hingga mencapai titik jenuh dimana sejak hari ke-7 hingga hari ke-10 berada pada nilai rata-rata mencapai 9,56%.

Analisis Pengaruh Kadar Air Terhadap Tegangan Tembus dan Kekuatan Dielektrik *Pressboard*

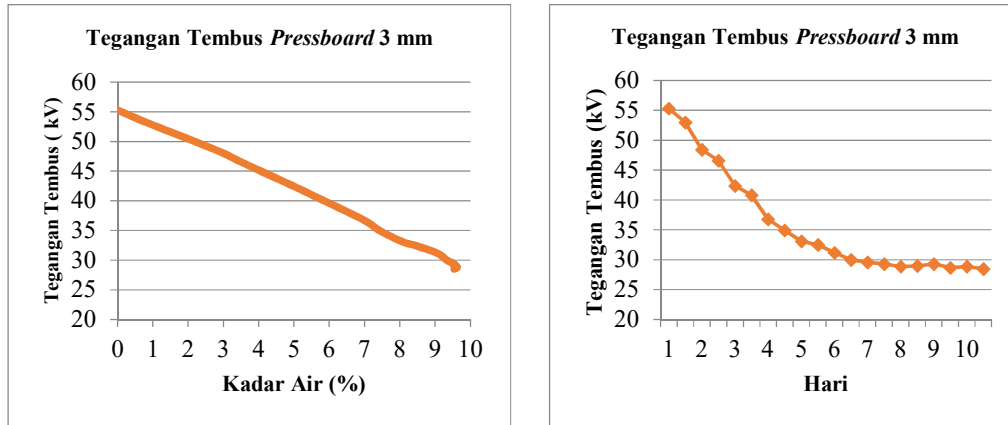
Pengukuran tegangan tembus *pressboard* ukuran 2 mm dan *pressboard* ukuran 3 mm dilakukan selama 10 hari setelah proses pengeringan dan penyimpanan pada ruangan dengan temperatur 30°C dan kelembaban 70%. Grafik hasil pengukuran tegangan tembus ditunjukkan oleh gambar 5 untuk *pressboard* ukuran 2 mm dan gambar 6 untuk *pressboard* ukuran 3 mm.



Gambar 5. Grafik tegangan tembus *pressboard* 2 mm

Grafik tegangan tembus *pressboard* pada gambar 5 menunjukkan nilai tegangan tembus yang terjadi pada *pressboard* ukuran 2 mm karena pengaruh meningkatnya kadar air dalam *pressboard*. Dari grafik tersebut bisa dilihat nilai saat kondisi kering tanur *pressboard* 2 mm mampu menahan

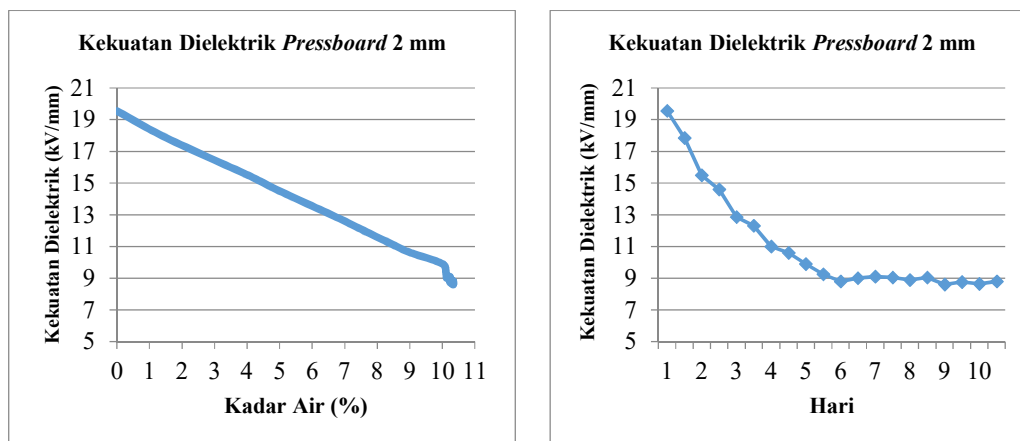
tegangan tembus mencapai 39,1 kV dan penurunan nilai tegangan tembus *pressboard* mencapai rata-rata sebesar 17,81 kV dalam kondisi tingkat kadar air rata-rata 10,23%, dengan kata lain kondisi *pressboard* ukuran 2 mm dengan tingkat kadar air 10,23% bisa menurunkan ketahanan *pressboard* terhadap tegangan tembus mencapai 21,29 kV atau 54,45% dari nilai tegangan tembus *pressboard* dalam kondisi kering tanur.



Gambar 6. Grafik tegangan tembus *pressboard* 3 mm

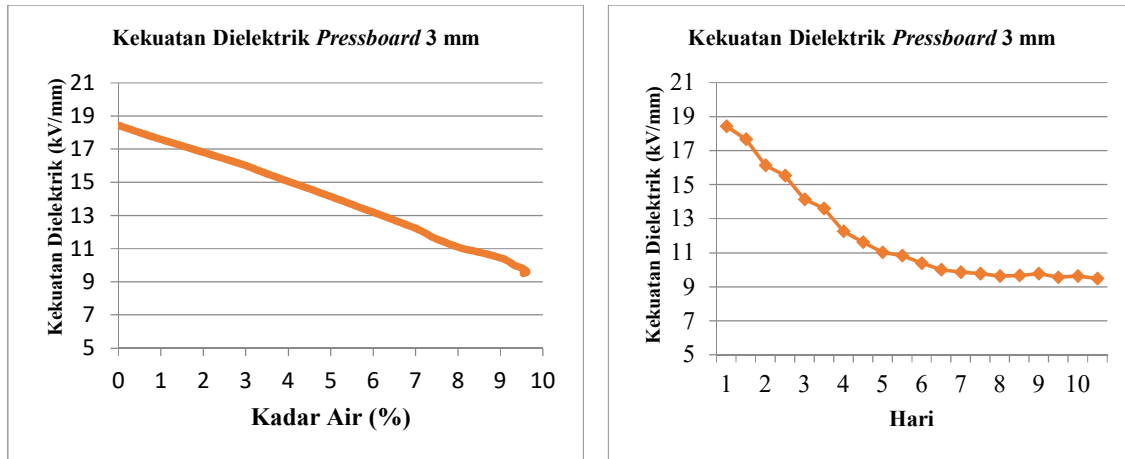
Grafik tegangan tembus *pressboard* pada gambar 6 menunjukkan nilai tegangan tembus yang terjadi pada *pressboard* ukuran 3 mm karena pengaruh meningkatnya kadar air dalam *pressboard*. Dari grafik tersebut bisa dilihat nilai saat kondisi kering tanur *pressboard* 3 mm mampu menahan tegangan tembus mencapai 55,3 kV dan penurunan nilai tegangan tembus *pressboard* mencapai nilai rata-rata 29,03 kV dalam kondisi tingkat kadar air rata-rata 9,56%, dengan kata lain kondisi *pressboard* ukuran 3 mm dengan tingkat kadar air 9,56% bisa menurunkan ketahanan *pressboard* terhadap tegangan tembus mencapai 26,27 kV atau 47,5% dari nilai tegangan tembus *pressboard* dalam kondisi kering tanur.

Pengukuran tegangan tembus pada isolasi erat kaitannya dengan pengukuran kekuatan dielektrik pada isolasi, karena pada penerapannya tegangan kekuatan dielektrik didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan yang menyebabkan kerusakan isolasi (tegangan tembus) dengan tebalnya isolasi yang memisahkan antara elektroda. Jadi pengukuran kekuatan dielektrik pada *pressboard* dilakukan dengan membagi hasil tegangan tembus dengan tingkat ketebalan pada *pressboard* yang diukur. Grafik hasil pengukuran kekuatan dielektrik pada *pressboard* dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Grafik kekuatan dielektrik *pressboard* 2 mm

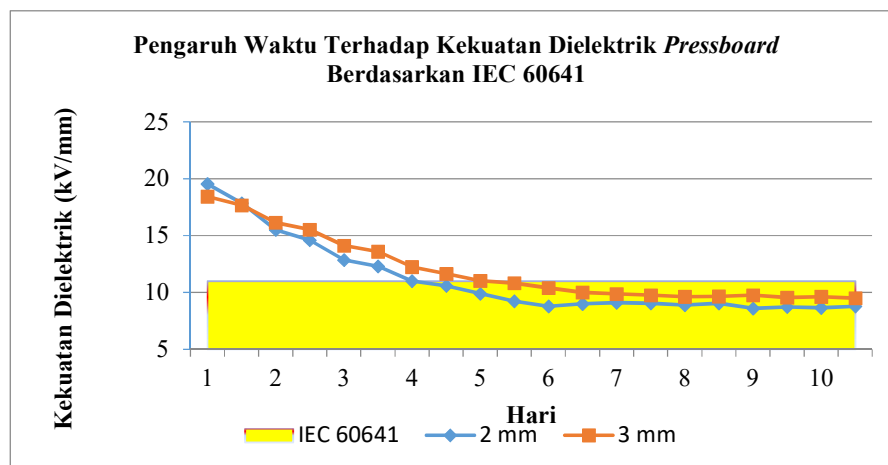
Grafik kekuatan dielektrik *pressboard* pada gambar 7 menunjukkan nilai kekuatan dielektrik pada *pressboard* ukuran 2 mm terhadap pengaruh meningkatnya kadar air dalam *pressboard*. Dari grafik tersebut bisa dilihat nilai saat kondisi kering tanur *pressboard* 2 mm memiliki kekuatan dielektrik mencapai 19,55 kV/mm dan penurunan nilai kekuatan dielektrik *pressboard* mencapai 8,6 kV/mm dalam kondisi tingkat kadar air 10,34%.



Gambar 8. Grafik kekuatan dielektrik *pressboard* 3 mm

Grafik tegangan tembus *pressboard* pada gambar 8 menunjukkan nilai kekuatan dielektrik pada *pressboard* ukuran 3 mm terhadap pengaruh meningkatnya kadar air dalam *pressboard*. Dari grafik tersebut bisa dilihat nilai saat kondisi kering tanur *pressboard* 3 mm memiliki kekuatan dielektrik mencapai 18,43 kV/mm dan penurunan nilai kekuatan dielektrik *pressboard* mencapai 9,5 kV/mm dalam kondisi tingkat kadar air 9,54%.

Hasil pengukuran yang telah dilakukan pada *pressboard* ukuran 2 mm dan 3 mm menunjukkan bahwa lamanya waktu penyimpanan *pressboard* dapat mempengaruhi peningkatan kadar air pada *pressboard* dan dapat menurunkan nilai tegangan tembus dan kekuatan dielektrik pada *pressboard*. Standard IEC 60641 telah menyebutkan nilai standar untuk kekuatan dielektrik pada *pressboard* berdasarkan tingkat ketebalannya seperti yang ditunjukkan oleh tabel 2. Pengaruh waktu penyimpanan *pressboard* terhadap kekuatan dielektrik *pressboard* ditunjukkan oleh gambar 9.



Gambar 9. Grafik pengaruh waktu penyimpanan terhadap kekuatan dielektrik *pressboard*

Berdasarkan standar IEC 60641 nilai kekuatan dielektrik pada isolasi *pressboard* untuk ukuran >1,6 – 3,0 mm adalah 11 kV/mm. Gambar 9 menunjukkan nilai kekuatan dielektrik *pressboard* ukuran

2 mm berada di bawah standar setelah disimpan selama 4 dengan nilai kekuatan dielektrik 10,6 kV/mm, sedangkan nilai kekuatan dielektrik *pressboard* ukuran 3 mm berada di bawah standar setelah disimpan selama 5 dengan nilai 10,83 kV/mm. Hasil analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan ke dalam tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis penelitian

No	Item	Pengukuran	<i>Pressboard</i>		Satuan
			2 mm	3 mm	
1	Kondisi Kering	Tegangan tembus	39,1	55,3	kV
		Kadar air	0	0	%
2	Kondisi Berkadar Air	Tegangan tembus	17,81	29,03	kV
		Kadar air	10,23	9,56	%
3	Penurunan Tegangan Tembus	-	21,29	26,27	kV
		-	54,45	47,5	%
4	Di bawah standar IEC 60641	Kekuatan dielektrik	10,6	10,83	kV/mm
			Hari ke-4	Hari ke-5	-

Keterangan:

Temperatur ruang : 30°C
Kelembaban udara : 70%

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa data pada penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan temperatur ruangan 30°C dan kelembaban 70%, nilai kadar air *pressboard* 2 mm stabil pada hari ke-5 dengan nilai rata-rata 10,23% dan *pressboard* 3 mm stabil pada hari ke-7 dengan nilai rata-rata 9,56%.
2. Tegangan tembus *pressboard* terus menurun nilainya karena peningkatan kadar air yang dikandungnya. Hal ini dibuktikan dengan penurunan tegangan tembus yang terjadi pada *pressboard* 2 mm sebesar 21,8 kV atau 55% dari nilai tegangan tembus *pressboard* dalam kondisi kering. Sedangkan *pressboard* ukuran 3 mm penurunannya sebesar 26,8 kV atau 51,5% dari nilai tegangan tembus *pressboard* dalam kondisi kering.
3. Kekuatan dielektrik *pressboard* ukuran 2 mm berada di bawah standar IEC pada hari ke- 4 dengan nilai 10,6 kV/mm, sedangkan *pressboard* ukuran 3 mm berada dibawah standar IEC dengan nilai 10,83 kV/mm pada hari ke-5.

DAFTAR PUSTAKA

- Casimy, Yovi Muhammad. Analisis Kerusakan dan Pemeliharaan Transformator di Gardu Induk Pauh Limo Padang. Padang
- Gaser, HP, dkk. 2007. *Water Absorption of Cellulosic Insulating Materials used in Power Transformers*. Winchester
- Heathcote, Martin J. 2007. *The J&P Transformer Book Thirteenth Edition A Practical Technologi of The Power Transformer*. Oxford: Elsevier Ltd
- International Electrotechincal Commission (IEC) 60641-1, 1979. *Specification for Pressboard and Presspaper for Electrical Purposes-Part 1: Definitions and General Requirements*. Geneva. IEC Standard
- International Electrotechincal Commission (IEC) 60641-2, 1979. *Specification for Pressboard and Presspaper for Electrical Purposes-Part 2: Methods of Test*. Geneva. IEC Standard
- International Electrotechincal Commission (IEC) 60641-3-1, 1979. *Specification for Pressboard and Presspaper for Electrical Purposes-Part 3: Specifications for Individual Material-Sheet 1:*

JREC

Journal of Electrical and Electronics

Vol. 6 No. 1

Requirements for Pressboard, types B.0.1, B.2.1, B.2.3, B.3.1, B.3.3, B.4.1, B.4.3, B.5.1, B.6.1 and B.7.1. Geneva. IEC Standard

International Electrotechnical Commission (IEC) 60076-1, 2011. *Power Transformers –Part 1: General.* Geneva. IEC Standard

Krause, Ch, dkk. *Effect of Moisture in Transformerboard Insulation and The Mechanism of Oil Impregnation of Voids.* Rapperswil

Mas Bejo. 2013. Bagian-bagian Trafo Tenaga <http://ilmulistrik.com/bagian-bagian-trafo-tenaga.html> di akses tanggal 13 mei 2016

Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) 8-1:1991. Transformator Tenaga–Bagian 1: Umum

Windarto, Andhang, Suharyanto dan T Haryono. 2015. Pengaruh Kadar Air terhadap Karakteristik Tegangan Tembus dan Dielektrik Isolasi Kertas-Minyak. Yogyakarta: Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)

Jarman, Paul. 2008. *Power Transformers vol.1 Fundamentals.* Paris: Areva T&D

Jarman, Paul. 2008. *Power Transformers vol.2 Expertise.* Paris. Areva T&D

Kulkarni, S.V, S.A Khaparde. 2004. *Transformer Engineering Design and Practise.* Mumbai. Indian Institute of Technology

