

## ANALISIS TEGANGAN TEMBUS PADA KOMPOSIT SERAT KELAPA

Kiageng Reksa Pati<sup>\*)</sup>, Diah Permata, Herman Halomoan Sinaga dan Nining Purwasih

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung  
Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No. 1, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: kiagengreksap@gmail.com

### Abstrak

Material komposit berbasis serat alami mulai diminati sebagai material alternatif komposit sintetis dikarenakan lebih ramah lingkungan dan murah. Penggunaan material komposit berbasis serat alami dalam bidang elektro dibatasi oleh konduktivitas listriknya yang rendah. Penelitian ini membuat material komposit serat alami dari serat kelapa sebagai penguat yang dilapisi dengan polimer konduktif polianilin (PANI). Sedangkan matriks polimer digunakan resin epoksi yang diberi serbuk *filler Multi Walled Carbon Nanotubes* (MWCNTs). Kedua perlakuan pada bahan penguat dan matriks polimer bertujuan untuk meningkatkan konduktivitas listrik bahan komposit serat kelapa. Penelitian ini membuat 3 sampel komposit serat kelapa dengan variasi berat serat kelapa terhadap resin. Dua sampel dibuat dari komposit serat kelapa dengan polianilin dan matriks polimer yang diberi MWCNTs dengan persentase berat serat kelapa yaitu 5% (CF-PANI 5%/CNT) dan 10% (CF-PANI 10%/CNT) dari berat resin epoksi. Sebagai pembandingan, ada satu sampel yang dibuat dari serat kelapa tanpa dipolimerisasi PANI dan matriks polimer tanpa MWCNTs dengan persentase serat kelapa 5% (CF 5%) dari berat resin epoksi. Tiga benda uji dalam bentuk kotak ukuran 30 cm × 30 cm × 30 cm dibuat dari ketiga jenis komposit. Pengujian tegangan tembus pada sampel uji membutuhkan dua elektroda yang diletakkan sejajar di bagian atas dan di dalam kotak uji. Alat ukur kumparan Rogowski diletakkan pada kabel pentanahan dari elektroda bawah, sedangkan elektroda atas dihubungkan ke pembangkit impuls. Untuk melihat pengaruh waktu muka gelombang impuls, maka nilai induktor dari pembangkit impuls divariasikan sebesar 50 μH, 70 μH, dan 110 μH. Hasil pengukuran didapatkan tegangan tembus paling tinggi dari kotak uji komposit CF-PANI 10%/CNT yaitu 10,6 kV pada nilai induktor 70 μH. Sedangkan tegangan tembus paling rendah pada dari kotak uji komposit CF 5% yaitu 8 kV pada nilai induktor 50 μH.

*Kata kunci:*, Komposit Serat Kelapa, Kumparan Rogowski, Tegangan Tembus, Waktu Muka

### Abstract

*Natural fiber-based composite materials are becoming more popular as alternative materials for synthetic fiber composites due to their environmentally friendly and cost-effectiveness. However, their use in electrical engineering is limited due to their low electrical conductivity. This study proposes the use of coconut fiber coated with a conductive polymer polyaniline (PANI) as a reinforced. While the polymer matrix uses epoxy resin with filler Multi Walled Carbon Nanotubes (MWCNTs). Treatments of polymerized the reinforced with PANI and doping MWCNTs to polymer matrix aim to enhance the electrical conductivity of the coconut fiber composite. There are three samples of coconut fiber composite were made with varying weights of coconut fiber to resin. Two samples were made using PANI-polymerized coconut fiber and MWCNTs-filler polymer matrix with coconut fiber percentages of 5% and 10% to epoxy resin namely CF-PANI 5%/CNT and CF-PANI 10%/CNT. As a comparison, there is one sample composed of 5% unpolymerized PANI coconut fiber to polymer matrix without MWCNTs, i.e. CF 5%. Three boxes with dimensions of 30 cm × 30 cm × 30 cm were made using these composites. The breakdown voltage test used two electrodes at the top and inside the test boxes. A Rogowski coil was set on the grounding wire from the bottom electrode, while the top electrode was connected to the impulse generator. The effect of the impulse wavefront time was investigated by varying the value of the inductor of the impulse generator, i.e. 50 μH, 70 μH, and 110 μH. The highest breakdown voltage measurement is 10,6 kV resulting from the test box of the CF-PANI 10%/CNT at an inductor of 70 μH. whereas the lowest breakdown voltage is 8 kV occurring in the CF 5% composite at an inductor of 50 μH.*

*Keywords:* Coconut Fiber Composite, Rogowski Coil, Breakdown Voltage, Rise Time

### 1. Pendahuluan

Sambaran petir pada kendaraan adalah peristiwa langka. Baik pesawat ataupun mobil jika dioperasikan memiliki

kemungkinan untuk disambar petir. Dalam beberapa tahun terakhir, jumlah kematian dan cedera meningkat akibat sambaran petir pada penumpang di dalam kendaraan. Komposit serat sintetis seperti *Carbon Fiber Reinforced*

*Polymer* (CFRP) sudah banyak digunakan di bidang dirgantara atau otomotif untuk menutupi bagian luar pesawat ataupun mobil. Keuntungan dari komposit serat sintetik adalah bersifat lebih ringan, tidak korosif, dan memiliki kekuatan mekanis yang tinggi. Namun, material komposit serat sintesis memiliki konduktivitas yang lebih rendah dari material logam. Walaupun kemungkinan pesawat ataupun mobil tersambar petir sangat kecil namun jumlah kematian dan cedera meningkat akibat sambaran petir pada penumpang di dalam kendaraan [1][2][3]. Sehingga kemampuan komposit serat sintesis untuk menyalurkan arus petir ke seluruh permukaan badan menjadi hal yang krusial. Konduktivitas Listrik yang rendah menyebabkan petir tidak dapat disalurkan dengan baik ke seluruh permukaan seperti jika menggunakan material logam [4].

Isu lingkungan yang merebak saat ini menyebabkan semakin banyaknya penelitian mengenai kemungkinan material komposit alami menggantikan material komposit sintesis. Material komposit alami terbuat dari serat alami sebagai penguat (*reinforced*), sedangkan polimer matriks dapat berasal dari polimer sintesis ataupun polimer alami. Serat alami diekstraksi dari alam seperti tumbuhan dan hewan diantaranya pisang, palem, bambu, bulu kambing, goni, sisal, dan lain sebagainya. Kelebihan komposit serat alami adalah bahan baku serat yang murah dan berlimpah [5][6]. Tetapi, komposit serat alami mempunyai konduktivitas yang lebih rendah dari komposit serat sintesis misalnya *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) karena serat alami tidak mempunyai konduktivitas atau bersifat sebagai isolator. Oleh karena itu, komposit serat alami perlu adanya perlakuan kimia dan fisik untuk meningkatkan konduktivitasnya [7][8]. Penggunaan serat alam sebagai penguat pada komposit masih mengalami berbagai permasalahan. Kelemahan serat alam sebagai penguat komposit adalah sifat mekanis dan kekuatan ikatan yang rendah. Salah satu metode yang dilakukan adalah melakukan rekayasa pada proses awal pembuatan serat dengan alkali menggunakan *Natrium Hidroksida* (NaOH) untuk meningkatkan kandungan selulosa pada serat alam. Perendaman alkali dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit serat di mana kandungan optimum air mampu dikurangi sehingga sifat alami serat dapat memberikan ikatan *interfacial* dengan matriks lebih optimal [9].

Polimer konduktif seperti polipirol, polianilin, dan politiofena banyak digunakan untuk meningkatkan konduktivitas komposit serat alami dikarenakan karakteristik listrik dan optiknya yang unik [10]. Beberapa penelitian [11][12] menggunakan polimer konduktif polianilin (PANI) pada proses pembuatan komposit serat alami menunjukkan peningkatan konduktivitas listrik pada bahan komposit yang dibuat. Selain itu, pada komposit yang menggunakan *filler Multi Walled Carbon Nanotubes* (MWCNTs) yang dicampurkan pada matriks menunjukkan adanya peningkatan konduktivitas listrik dan *thermal* dengan membentuk jalur konduksi dalam matriks.

Komposit yang menggunakan MWCNTs menunjukkan stabilitas yang lebih baik daripada komposit tanpa MWCNTs [13].

Penelitian ini membuat komposit dari serat kelapa sebagai penguat, pemilihan serat kelapa karena banyak tersedia di Provinsi Lampung dan Indonesia pada umumnya. Selain itu, untuk meningkatkan nilai tambah serat kelapa yang merupakan limbah. Penelitian terdahulu [14] menunjukkan bahwa komposit serat kelapa mempunyai potensi digunakan sebagai material pelindung terhadap interferensi elektromagnetik. Komposit dibuat menggunakan serat kelapa yang dilapisi dengan polimer konduktif polianilin (PANI) dan resin epoksi yang diberi *filler Multi Walled Carbon Nanotubes* (MWCNTs) dengan komposisi berat serat 15% dari resin dapat meningkatkan konduktivitas menjadi 0,0458 S/m. Komposisi serat kelapa dengan konduktivitas pada orde  $10^{-4}$  S/m dapat digolongkan sebagai bahan yang cukup konduktif dan dapat diaplikasikan sebagai material *electrostatic discharge* (ESD) [15]. Karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan potensi serat kelapa sebagai material konduktif yang dapat digunakan sebagai material proteksi petir pada pesawat ataupun mobil sebagai pengganti *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP). Karakteristik material komposit serat kelapa yang diuji dalam penelitian ini adalah nilai tegangan tembus terhadap impuls petir.

## 2. Metode

### 2.1. Alat dan Bahan

Serat kelapa yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Perkebunan kelapa yang ada disekitar Bandar Lampung. Aniline yang digunakan berasal dari Merck, dan semua pelarut yang digunakan HCl, aquades, *ammonium persulfate* mempunyai standar untuk pengujian analitik di laboratorium. MWCNTs dibeli dari *US Research Nanomaterial, Inc.* Sedangkan matriks polimer adalah jenis *butly glycidyl ether of bisphenol* yang diproduksi oleh *Local Enterprise Co.*

### 2.2. Prosedur Penelitian

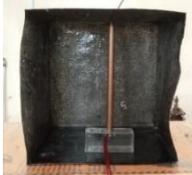
#### 2.2.1. Pembuatan Komposit

Proses pembuatan komposit diawali dengan menyiapkan serat kelapa yang telah dipisahkan dari buah kelapa dan dibersihkan dari kotoran atau debu. Kemudian serat kelapa direndam dengan larutan NaOH 5% selama 2 jam, lalu serat kelapa yang sudah direndam kemudian dibersihkan dengan aquades secukupnya hingga bersih. Selanjutnya, serat kelapa dikeringkan selama 6 jam menggunakan oven dengan suhu 70°C. Kemudian, serat kelapa yang telah dikeringkan dipotong-potong dengan ukuran 10 mm. Selanjutnya, untuk proses preparasi serat kelapa dengan anilin dengan memasukkan serat kelapa sebanyak 6-gram ke dalam gelas beaker ukuran 1000 mL, lalu ditambahkan 336 mL larutan HCl (0,1 mol/L) dan diaduk menggunakan *stirer* selama 10 menit. Selanjutnya, menambahkan 336

mL larutan anilin (0,2 mol/L) ke dalam gelas bekkor diaduk selama 10 menit. Selanjutnya, menambahkan 336 mL larutan *Ammonium Persulfate* (0,1 mol/L) ke dalam gelas bekkor dan diaduk selama 6 jam pada suhu ruangan atau 25°C. Setelah itu, serat kelapa dicuci dengan larutan HCl dan dikeringkan dengan oven selama 6 jam dengan suhu 45°C [11].

Untuk pembuatan komposit serat kelapa menggunakan cetakan kaca ukuran 30 cm × 30 cm yang dilumasi dengan cairan *Polyvinyl Alcohol* untuk mencegah material komposit menempel pada cetakan. Selanjutnya, menaburi cetakan dengan serat kelapa menggunakan teknik *hand lay up*. Resin epoksi diberi serbuk MWCNTs sebanyak 0.5% dari berat resin dengan menggunakan pengaduk mekanik selama 10 menit. Kemudian, resin epoksi dioleskan diatas serat kelapa secara merata. Lalu, cetakan ditutup menggunakan kaca dan didiamkan selama beberapa jam agar cetakan mengeras. Tiga jenis komposit serat kelapa yang dibuat dalam penelitian ini dengan memvariasikan komposisi berat serat kelapa terhadap berat resin epoksi. Ada dua sampel komposit yang dibuat menggunakan serat kelapa yang dipolimerisasi dengan PANI dan resin epoksi yang dicampur dengan MWCNTs dengan berat masing-masing 5% dan 10% yaitu CF-PANI 5%/CNT and CF-PANI 10%/CNT. Sebagai pembanding, ada satu sampel yang dibuat menggunakan serat kelapa tanpa polimerisasi PANI sesar 5% dari berat resin epoksi yang tidak diberi MWCNTs yaitu CF 5%. Komposit serat kelapa yang telah dikeringkan kemudian dibuat menjadi tiga kotak uji ukuran 30 cm × 30 cm × 30 cm seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

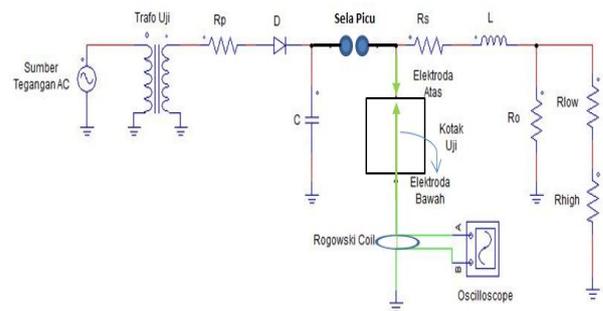
Tabel 1. Kotak Uji Komposit Serat Kelapa

Material		
Sampel 1 (CF 5%)	Sampel 2 (CF-PANI 5%/CNT)	Sampel 3 (CF-PANI 10%/CNT)
		

### 2.2.2. Pengujian Tegangan Tembus

Pembangkit tegangan impuls di laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung merupakan pembangkit yang dirakit sendiri sehingga gelombang tegangan impuls petir yang dihasilkan tidak sesuai dengan standar IEC 60060-1 yaitu gelombang tegangan impuls dengan waktu muka ( $T_f$ ) dan waktu ekor ( $T_r$ ) sebesar  $1,2 \pm 30\% \times 50 \pm 20\% \mu s$ . Pengukuran tegangan tembus menggunakan 2 buah elektroda batang yang diletakkan di atas dan di dalam kotak uji seperti dapat dilihat pada gambar di Tabel 1. Elektroda bawah disejajarkan dengan elektroda atas dan celah antar

elektroda dengan kotak komposit adalah 2 mm. Elektroda atas dihubungkan ke pembangkit tegangan tinggi, sedangkan elektroda bawah dihubungkan ke pentanahan. Gambar 1 menunjukkan rangkaian pengukuran tegangan tembus pada kotak komposit dan Gambar 2 menunjukkan set rangkaian pengukuran di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.



Gambar 1. Rangkaian Pengukuran Tegangan Tembus pada kotak uji.

Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa kumparan Rogowski ditempatkan pada kabel pentanahan yang terhubung dengan elektroda bawah. Ketika terjadi tegangan tembus, maka arus akan mengalir melalui kabel pentanahan. Arus ini diukur dengan kumparan Rogowski dan ditampilkan dalam bentuk gelombang tegangan melalui osiloskop. Pengujian tegangan tembus dilakukan pada ketiga kotak uji dengan besar tegangan impuls yang diset pada tegangan suplai AC 6 kV. Untuk menganalisis pengaruh muka gelombang maka induktor pada rangkaian pembangkit impuls divariasikan dengan nilai 50  $\mu H$ , 70  $\mu H$ , dan 110  $\mu H$ .



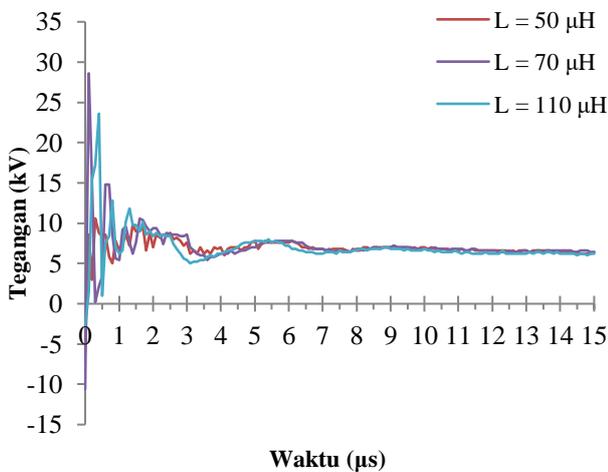
Gambar 2. Set Rangkaian Pengukuran di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung

Pada gambar 2 terlihat susunan rangkaian pengujian dengan kotak uji yang sudah diletakkan pada rak uji dan kumparan Rogowski dipasang pada kabel pentanahan.

### 3. Hasil dan Analisis

#### 3.1. Hasil Pengukuran Gelombang Impuls

Gelombang impuls yang dihasilkan oleh pembangkit tegangan tinggi diukur terlebih dahulu sebelum dilakukan untuk pengujian kotak uji. Pengukuran ini bertujuan untuk menganalisis waktu muka dan waktu ekor gelombang impuls yang dihasilkan dari variasi 3 nilai induktor yaitu: 50  $\mu\text{H}$ , 70  $\mu\text{H}$ , dan 110  $\mu\text{H}$ . Pengukuran gelombang impuls dilakukan dengan mengatur tegangan input AC 6 kV. Gambar 3 adalah gelombang tegangan impuls yang dihasilkan dengan variasi 3 induktor. Data hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 3. Grafik Tegangan Impuls dengan Variasi Nilai Induktor

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Gelombang Impuls

L ( $\mu\text{H}$ )	$V_{\text{max}}$ (kV)	$T_r$ ( $\mu\text{s}$ )	$T_f$ ( $\mu\text{s}$ )
50	10,6	0,14	0,61
70	28,6	0,075	0,185
110	23,6	0,37	0,42

Berdasarkan Tabel 2, hasil pengukuran menunjukkan bahwa kenaikan nilai induktor menghasilkan bentuk muka gelombang dan tegangan puncak yang semakin besar, namun waktu ekor yang semakin kecil.

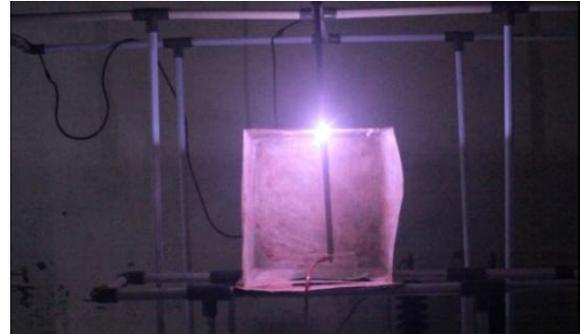
#### 3.2. Hasil Pengujian Tegangan Tembus

Tegangan impuls yang seperti yang ditampilkan pada Tabel 2 akan disuplai ke elektroda atas dan tegangan ini menyebabkan timbulnya tembus antara elektroda atas dan elektroda bawah menembus kotak uji.

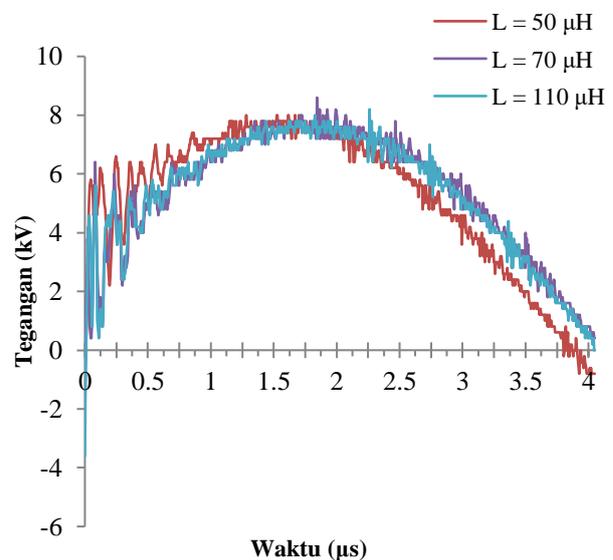
##### 3.2.1. Pengukuran Tegangan Impuls untuk Kotak Uji CF 5%

Gambar 4 menunjukkan visualisasi saat terjadi tegangan tembus pada kotak uji CF 5%. Sedangkan grafik bentuk

gelombang tegangan tembus yang diukur dari 3 jenis induktor yaitu: 50  $\mu\text{H}$ , 70  $\mu\text{H}$ , dan 110  $\mu\text{H}$  pada kotak uji CF 5% ditampilkan pada gambar 5.



Gambar 4. Tegangan Tembus pada Kotak Uji CF 5%



Gambar 5. Grafik Tegangan Tembus dengan Variasi Nilai Induktor pada Kotak Uji CF 5%

Data hasil pengukuran tegangan tembus pada kotak uji CF 5% ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Tegangan Tembus Pada Kotak Uji CF 5%

L ( $\mu\text{H}$ )	Tegangan Tembus (kV)
50	8
70	8,6
110	8,2

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa kenaikan nilai induktor menghasilkan nilai tegangan tembus yang semakin besar.

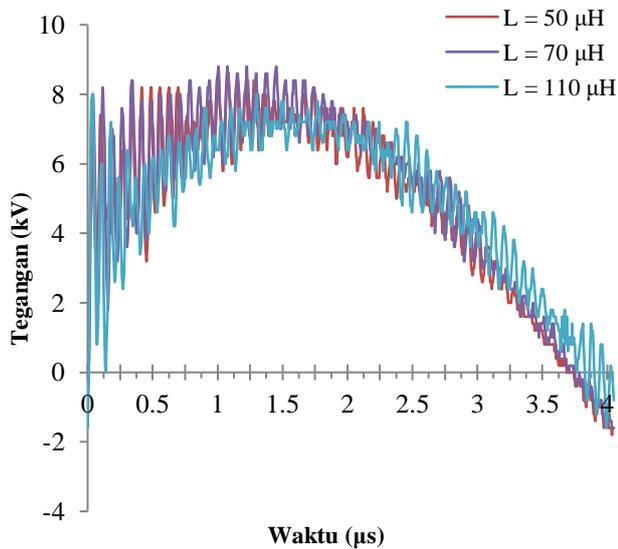
##### 3.2.2. Pengukuran Tegangan Impuls untuk Kotak Uji CF-PANI 5%/CNT

Gambar 6 menunjukkan saat terjadi tegangan tembus pada kotak uji CF-PANI 5%/CNT. Grafik bentuk gelombang

tegangan tembus yang diukur dengan kumparan Rogowski dari 3 jenis induktor yaitu: 50  $\mu\text{H}$ , 70  $\mu\text{H}$ , dan 110  $\mu\text{H}$  pada kotak uji CF-PANI 5%/CNT ditampilkan pada gambar 7.



Gambar 6. Tegangan Tembus pada kotak uji CF-PANI 5%/CNT



Gambar 7. Grafik Tegangan Tembus dengan Variasi Nilai Induktor pada Kotak Uji CF-PANI 5%/CNT

Data hasil pengukuran tegangan tembus pada kotak uji CF-PANI 5%/CNT ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Tegangan Tembus Pada Kotak Uji CF-PANI 5%/CNT

L ( $\mu\text{H}$ )	Tegangan Tembus (kV)
50	8,6
70	8,8
110	8

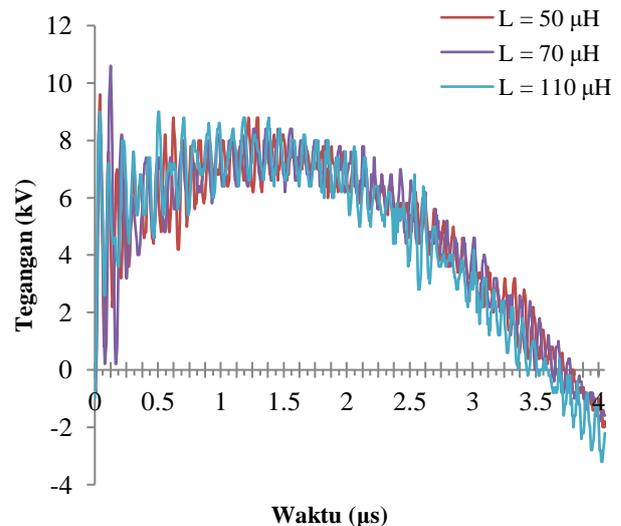
Berdasarkan Tabel 4, terlihat bahwa kenaikan nilai induktor menghasilkan nilai tegangan tembus yang semakin kecil.

### 3.2.3. Pengukuran Tegangan Impuls untuk Kotak Uji CF-PANI 10%/CNT

Tegangan tembus pada kotak uji CF-PANI 10%/CNT ditunjukkan pada gambar 8. Grafik bentuk gelombang tegangan tembus yang diukur dengan kumparan Rogowski dari 3 jenis induktor yaitu: 50  $\mu\text{H}$ , 70  $\mu\text{H}$ , dan 110  $\mu\text{H}$  pada kotak uji CF-PANI 10%/CNT ditampilkan pada gambar 9.



Gambar 8. Tegangan Tembus pada kotak uji CF-PANI 10%/CNT



Gambar 9. Grafik Tegangan Tembus dengan Variasi Nilai Induktor pada Kotak Uji CF-PANI 10%/CNT

Data hasil pengukuran tegangan tembus pada kotak uji CF-PANI 10%/CNT ditunjukkan pada Tabel 5.

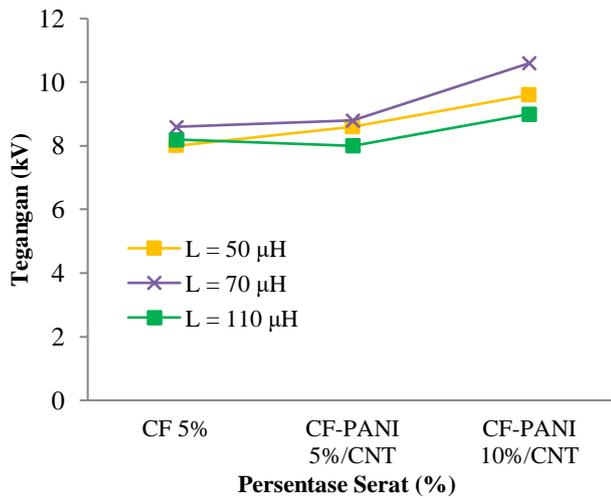
Tabel 5. Data Tegangan Tembus Pada Kotak Uji CF-PANI 10%/CNT

L ( $\mu\text{H}$ )	Tegangan Tembus (kV)
50	9,6
70	10,6
110	9

Berdasarkan Tabel 5, terlihat bahwa kenaikan nilai induktor menghasilkan nilai tegangan tembus yang semakin kecil.

### 3.3. Analisis Hasil Pengujian Tegangan Tembus

Gambar 10 menunjukkan grafik hubungan nilai tegangan tembus pada tiga kotak uji yaitu CF 5%, CF-PANI 5%/CNT, dan CF-PANI 10%/CNT.



Gambar 10. Grafik Nilai Tegangan Tembus dengan Variasi Nilai Induktor Pada 3 Jenis Kotak Uji

Penelitian sebelumnya [14] menunjukkan bahwa konduktivitas semakin bertambah dengan semakin banyaknya persentase serat yang dipolimerisasi. Sehingga semakin konduktif kotak uji yang dibuat menghasilkan tegangan tembus menjadi semakin besar. Hal ini disebabkan oleh ionisasi yang terjadi antara elektroda atas dan bawah semakin besar sehingga arus yang mengalir ke pentanahan semakin besar. Oleh karena itu kotak uji CF-PANI 10%/CNT menghasilkan tegangan tembus paling tinggi. Sedangkan komposit CF 5% yang tanpa dipolimerisasi mempunyai konduktivitas yang lebih rendah dari kotak uji yang dipolimerisasi sehingga menghasilkan tegangan tembus yang paling rendah.

Komposit serat CF-PANI 5%/CNT mempunyai tegangan tembus 8 kV – 8,8 kV, sedangkan tegangan tembus CF-PANI 10%/CNT adalah 9 kV – 10,6 kV. Tegangan tembus komposit serat kelapa terjadi pada tegangan yang relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa komposit serat kelapa cukup potensial untuk dikembangkan sebagai material proteksi petir dengan penambahan proses fisika dan kimia untuk lebih meningkatkan konduktivitasnya.

## 4. Kesimpulan

Nilai induktor meningkatkan waktu muka dan waktu ekor gelombang impuls. Penambahan jumlah serat kelapa yang

dipolimerisasi dengan PANI meningkatkan konduktivitas sehingga meningkatkan tegangan tembus. Tegangan tembus paling tinggi dihasilkan oleh kotak uji CF-PANI 10%/CNT yaitu 10,6 kV. Variasi nilai induktor pada penelitian ini belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai tegangan tembus.

## Referensi

- [1]. R. L. Holle, "Lightning-caused deaths and injuries in the vicinity of trees," *2012 31st Int. Conf. Light. Prot. ICLP 2012*, no. May, 2012, doi: 10.1109/ICLP.2012.6344219.
- [2]. K. Yamamoto, Y. Naito, S. Yanagawa, N. Takahashi, and M. Matsui, "Accident of automobile due to lightning," *2014 Int. Conf. Light. Prot. ICLP 2014*, no. 3, pp. 840–844, 2014, doi: 10.1109/ICLP.2014.6973240.
- [3]. S. Yanagawa, K. Yamamoto, Y. Naito, N. Takahashi, and M. Matsui, "Investigations of lightning accidents on automobiles," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 139, pp. 2–9, 2016, doi: 10.1016/j.epr.2015.11.023.
- [4]. S. A. Alkhteb, S. Oho, Y. Nagashima, H. Shimizu, S. Nishimura, and H. Makishima, "Artificial Lightning Tests on Metal and CFRP Automotive Bodies: A Comparative Study," *SAE Int. J. Transp. Saf.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2019, doi: 10.4271/09-07-01-0001.
- [5]. S. Hastuti, H. S. Budiono, D. I. Ivadiyanto, and M. N. Nahar, "Peningkatan Sifat Mekanik Komposit Serat Alam Limbah Sabut Kelapa (Cocofiber) yang Biodegradable," *Reka Buana J. Ilm. Tek. Sipil dan Tek. Kim.*, vol. 6, no. 1, pp. 30–37, 2021, doi: 10.33366/rekabuana.v6i1.2257.
- [6]. H. Carvalho, H. Salman, and M. Leite, "Natural Fibre Composites and Their Applications: A Review," pp. 1–20, 2018, doi: 10.3390/jcs2040066.
- [7]. D. Krajewski *et al.*, "Methods for Enhancing the Electrical Properties of Epoxy Matrix Composites," *Energies*, vol. 15, no. 13, pp. 1–18, 2022, doi: 10.3390/en15134562.
- [8]. C. W. Lin, Z. Y. Lin, C. W. Lou, T. L. Kuo, and J. H. Lin, "Wood plastic composites: Using carbon fiber to create electromagnetic shielding effectiveness," *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, vol. 28, no. 7, pp. 1047–1057, 2015, doi: 10.1177/0892705713496109.
- [9]. S. Nugroho and R. Ismail, "Peningkatan Kekuatan Sifat Mekanis Komposit Serat Alam menggunakan Serat Enceng Gondok ( Tinjauan Pustaka )," vol. 41, no. 1, pp. 27–39, 2020, doi: 10.14710/teknik.v41n1.23473.
- [10]. P. Khamwongsa, P. Wongjom, H. Cheng, C. C. Lin, and S. Ummartyotin, "Significant enhancement of electrical conductivity of conductive cellulose derived from bamboo and polypyrrole," *Compos. Part C Open Access*, vol. 9, no. September, p. 100314, 2022, doi: 10.1016/j.jcomc.2022.100314.
- [11]. C. Merlini *et al.*, "Polyaniline-coated coconut fibers: Structure, properties and their use as conductive additives in matrix of polyurethane derived from castor oil," *Polym. Test.*, vol. 38, pp. 18–25, 2014, doi: 10.1016/j.polymertesting.2014.06.005.
- [12]. R. Sridhar, R. Karthikeyan, S. Solaiachari, and R. Suresh, "Appraising the microstructure and electrical conductivity characteristics of polyaniline-coated natural fiber composites," *Biomass Convers. Biorefinery*, no. August, 2024, doi: 10.1007/s13399-024-05519-z.

- [13]. A. A. Kareem and H. K. H. Rasheed, "Electrical and thermal characteristics of MWCNTs modified carbon fiber/epoxy composite films," *Mater. Sci. Pol.*, vol. 37, no. 4, pp. 622–627, 2019, doi: 10.2478/msp-2019-0081.
- [14]. D. Permata, W. Widyawati, H. H. Sinaga, N. Purwasih, and S. Widiarto, "Study of electrical volume-conductivity, tensile strength, and electromagnetic shielding effectiveness of coconut fiber composite," *Int. J. Appl. Electromagn. Mech.*, vol. 73, no. 2, pp. 73–80, 2023, doi: 10.3233/JAE-220295.
- [15]. M. Krifa, "Electrically Conductive Textile Materials—Application in Flexible Sensors and Antennas," *Textiles*, vol. 1, no. 2, pp. 239–257, 2021, doi: 10.3390/textiles1020012.