

Analisa Terjadinya *Electrical Treeing* Pada Isolator Komposit dengan Bahan Pengisi Serat Pelepah Nipah

Saepul Rahmat^{1*}, Riyani Prima Dewi², Erna Alimudin³

¹Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Cilacap

²Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap

E-mail: saepulrahmat@pnc.ac.id¹, ryanipd@pnc.ac.id², ernaalimudin@pnc.ac.id³

Info Naskah:

Naskah Masuk: 5 Oktober 2023

Direvisi: 28 November 2023

Diterima: 12 Desember 2023

Abstrak

Perkembangan teknologi di bidang material semakin berkembang, salah satu bentuk pengembangannya adalah jenis isolasi komposit. Salah satu komposit serat alami yang tersedia saat ini adalah komposit dari serat nipah yang memberikan peningkatan kekuatan dielektrik. Peluahan parsial akibat *void* di komposit mengakibatkan adanya struktur seperti *electrical treeing* karena perubahan sifat dan morfologi komposit dan menyebabkan meningkatnya kegagalan isolasi dan mengganggu distribusi daya. Penelitian ini menguji kekuatan isolasi komposit Epoksi dan bahan pengisi abu pelepah nipah. Dengan adanya kombinasi kedua bahan tersebut maka akan terbentuk bahan isolasi komposit yang saling melengkapi untuk mencegah terjadinya *electrical treeing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material isolasi komposit dengan bahan pengisi serat pelepah nipah memiliki nilai tegangan tembus rata-rata 40 kV dan berada di atas nilai standar tegangan tembus isolator tegangan menengah 30 kV. Penambahan bahan pengisi abu pelepah nipah yang semakin banyak akan menghasilkan *void* sehingga mempercepat terjadinya *electrical treeing* dan penurunan tegangan tembus isolasi

Keywords:

composite;
nipah;
insulator;
electrical treeing.

Abstract

Technological developments in materials are increasingly evolving, one form of development is the type of composite insulation. One of the natural fiber composites currently available is a composite from palm fiber which provides increased dielectric strength. Partial discharge due to voids in the composite results in structures such as electrical treeing due to changes in the properties and morphology of the composite causing increased insulation failure and disrupting power distribution. This research tested the strength of Epoxy composite insulation and palm leaf ash filler. By combining these two materials, a complementary composite insulating material will be formed to prevent electrical treeing. The results of the research show that the composite insulating material with nipa palm fiber as filler has an average breakdown voltage value of 40 kV and is above the standard breakdown voltage value for medium voltage insulators of 30 kV. The addition of more and more palm leaf ash filling material will produce voids, thereby accelerating the occurrence of electrical treeing and decreasing the breakdown voltage of the insulation.

*Penulis korespondensi:

Saepul Rahmat

E-mail: saepulrahmat@pnc.ac.id

1. Pendahuluan

Komposit merupakan material dengan sifat terbaik karena setiap lapisannya terbuat dari bahan dasar dan banyak digunakan sebagai insulasi peralatan listrik tegangan tinggi. Selain tegangan tembus yang tinggi, bahan polimer ini juga memiliki keunggulan seperti kekuatan dielektrik yang tinggi, bobot yang ringan, dan proses pembuatan yang sederhana [1].

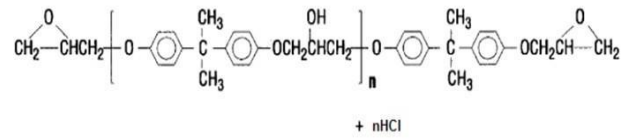
Nipah (*Nypa fruticans*) adalah palem yang tumbuh di sepanjang tepian sungai pasang surut dan merupakan bagian dari ekosistem mangrove. Cilacap memiliki sumber buah Nipah yang melimpah sehingga perlu diberdayakan karena pemanfaatan nipah oleh masyarakat di kawasan pesisir saat ini diaplikasikan untuk berbagai kepentingan dan memiliki kandungan selulosa sekitar 42,22% [2]. Selama satu dekade terakhir, material komposit dengan serat alami seperti bambu, rami dan serat pisang telah diadopsi oleh produsen mobil sebagai penguat seperti panel pintu, jok belakang, *dashboard* dan komponen lainnya seperti peralatan interior. Penelitian ini menggunakan serat dari pelepah nipah sebagai bahan pengisi pada material komposit sebagai isolator padat tegangan menengah.

Penggunaan isolator komposit merupakan salah satu alternatif untuk mengatasi penggunaan isolator keramik dan kaca. Penggunaan isolator komposit mulai diaplikasikan dalam sistem isolasi jaringan transmisi dan distribusi selama beberapa tahun terakhir di Indonesia karena berbagai potensi yang ditawarkan terhadap jenis isolator konvensional lainnya [3], [4]. Isolator polimer atau komposit dikenal memiliki kerapatan rendah, pembuangan panas tinggi, dan juga biaya produksi lebih murah [5], [6]. Penelitian penelitian terkait isolator komposit dengan bahan pengisian menggunakan serat alami juga dijelaskan oleh studi yang dilakukan oleh [7]–[9] yang menjelaskan bahwa kekuatan tarik dan ketahanan isolasi pada material komposit serat *jute* dipengaruhi oleh susunan serat *jute* yang disusun secara kontinyu dibanding dengan susunan acak.

Perbedaan nilai tegangan tembus dengan berbagai bahan pengisi komposit merupakan faktor penting pengembangan isolasi komposit seperti yang dilakukan oleh peneliti [10]–[12] dengan membandingkan nilai perhitungan *inception voltage* dan *inception time* terhadap jenis isolator polimer dengan pengisian cangkang kelapa sawit dan tanpa menggunakan cangkang kelapa sawit penghalang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel yang ditambahkan bahan pengisi cangkang sawit memiliki efek meningkatkan kekuatan dielektrik, mencegah tekanan medan listrik yang tinggi, dan juga berfungsi sebagai penghalang awal elektrifikasi, sehingga waktu elektrifikasi tidak terlalu cepat. Penelitian [13], [14] memiliki tujuan untuk membuat material komposit dengan pengisian abu pelepah tongkol jagung dan menguji campuran kedua bahan komposit tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kekuatan isolasi komposit epoksi dan bahan pengisi abu pelepah nipah. Dengan adanya kombinasi kedua bahan tersebut maka akan terbentuk bahan isolasi komposit yang saling melengkapi untuk mencegah terjadinya *electrical treeing* [15]. Resin epoksi merupakan polimer termoset yang komposisi kimianya terdiri dari ikatan oksigen dan karbon yang

dihasilkan oleh reaksi epiklorohidrin dan bisfenol A [16]. Struktur lengkap resin epoksi dengan ikatan molekul resin epoksi ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah.:



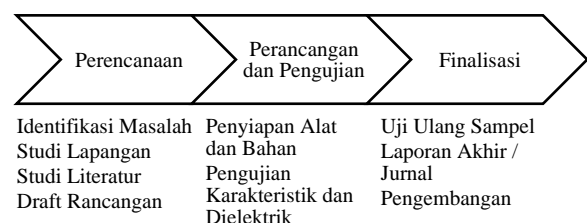
Gambar 1. Struktur Kimia resin epoksi [17]

Bahan epoksi akan mengeras bila dicampur dengan pengeras dan pengisi. Kegunaannya sangat luas, seperti untuk insulasi, peralatan rumah tangga, suku cadang mesin, material badan pesawat, bahan dasar insulasi luar pada bidang ketenagalistrikan, dan lain-lain. Penelitian ini memiliki kebaruan dari parameter pengujian yang diambil. Pengujian isolasi biasanya menggunakan referensi nilai tegangan tembus dan juga nilai tahanan dalam isolator tersebut sebagai parameter utama, tetapi belum menjelaskan fenomena awal terbentuknya tembus tegangan. *Electrical treeing* merupakan tanda tanda awal akan terjadinya *breakdown*, khususnya pada isolasi bersifat padat. *Electrical treeing* akan muncul pada saat isolasi diberikan tegangan sesuai *inception voltage* yang ditentukan selama selang waktu tertentu.

Berdasarkan kajian pustaka sebelumnya belum pernah dilakukan pengujian tegangan pada isolasi komposit serat nipah sampai isolasi tersebut mengalami *electrical treeing*. Penggunaan material alam lainnya lebih banyak menggunakan bahan pengisi seperti cangkang kelapa sawit, pelepah nipah, serat *jute*, dan lain sebagainya. Penelitian ini memakai serat dari pelepah nipah sebagai *bahan pengisi* pada material komposit yang akan dibuat.

2. Metode

Penelitian ini bersifat eksperimental, dan tahapan eksperimennya adalah sebagai berikut: (1) Tahap perencanaan, meliputi identifikasi masalah, penelitian lapangan, penelitian literatur, penyusunan rancangan dan rencana desain; (2) Tahap desain sampel dan pengujian; (3) Uji analisis data hasil (4) Tahap finalisasi untuk menyempurnakan hasil analisis pengujian dan menyiapkan laporan/jurnal. Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

Parameter yang diuji sifat dielektriknya meliputi pengukuran tegangan tembus, sedangkan sifat kimia meliputi uji kuat tarik dan uji SEM. Data yang diperoleh

kemudian dianalisis untuk mengetahui apakah memenuhi standar pengujian yang digunakan yaitu IEC.

Sampel penelitian menggunakan campuran resin epoksi bening dan pengeras epoksi bening, serta bahan pengisi arang daun palem, yang ditempatkan ke dalam wadah cetakan yang berfungsi sebagai insulasi padat. Cetakan berukuran 5 cm x 5cm dan tebal 1cm. Kemudian sampel diberikan bahan pengisi serat pelepah nipah dan dibagi menjadi 5 sampel yaitu resin epoksi murni dan resin epoksi campuran.

Sampel isolasi resin epoksi padat dikeringkan dalam ruangan tertutup pada suhu 28°C selama 12 jam [15]. Setelah proses pengeringan selesai, bahan insulasi (campuran resin epoksi dan bahan pengisi arang pelepah nipah) dipindahkan ke dalam wadah cetakan bahan uji sebagai persiapan pengujian tegangan tembus AC. Uji tegangan tembus menggunakan *breakdown voltage tester Huazheng* pada Gambar 3 akan menunjukkan proses penyaluran listrik pada saat isolasi padat diberi tegangan yang diinjeksikan. *Breakdown voltage tester* memiliki kenaikan laju tegangan sebesar 1,5 kV/s hingga tercapainya tegangan tembus pada material isolasi yang diuji.



Gambar 3. Alat uji tegangan tembus

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pengamatan secara langsung pada sampel pertama, sampel dengan bahan campuran epoksi resin dan 0,5g *filler* pelepah memiliki kurang lebih 150 *bubble* atau beberapa gelembung. Sampel kedua sebesar 1 gram mempunyai gelembung udara atau *bubble* pada ± 169 titik rongga, dan sampel ketiga (campuran bahan resin epoksi dan 1,5 g pengisi arang nipah) mempunyai gelembung udara atau gelembung udara pada ± 216 titik rongga. Hal ini membuat tegangan tembus menjadi lebih cepat pada material campuran resin epoksi dan bahan pengisi arang yang memiliki persentase pelepah nipah lebih banyak [16]

Pengukuran tegangan tembus dilakukan menggunakan *breakdown voltage tester* Huazheng dengan kenaikan laju tegangan sebesar 1,5 kV/s di Lab Mesin Listrik Politeknik Negeri Cilacap. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai tegangan tembus akibat adanya *void*.

Selanjutnya sampel dengan bahan epoksi murni akan dibandingkan dengan sampel bahan campuran epoksi yang memiliki campuran *filler* arang pelepah nipah dengan proporsi arang nipah yang berbeda beda. Hasil pengujian tegangan tembus kemudian dianalisis korelasinya terhadap adanya *electrical treeing* pada isolasi padat tersebut.

Tabel 1. Hasil Pengujian *breakdown voltage* Isolasi Material Resin Epoksi Murni

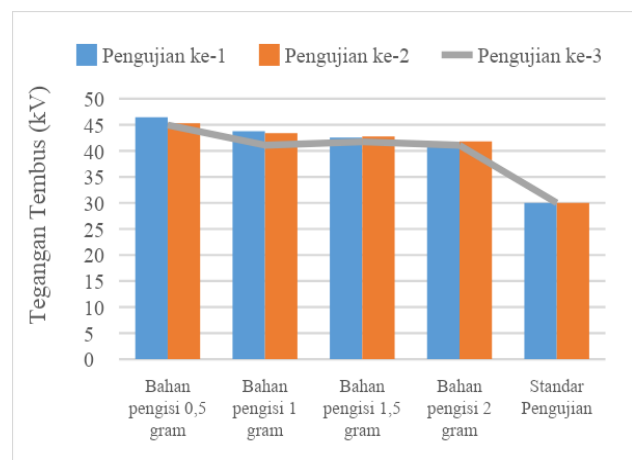
No	Pengujian	Tegangan Tembus (kV)
1	Pengujian 1	21,85
2	Pengujian 2	21,51
3	Pengujian 3	21,39

Uji tegangan tembus bahan insulasi resin epoksi murni dilakukan sebanyak tiga kali terhadap bahan uji. Hal ini dilakukan agar diperoleh nilai tegangan tembus bahan isolasi yang akurat atau mendekati sebenarnya. Hasil uji tegangan tembus bahan isolasi resin epoksi murni dapat dilihat melalui Tabel 1. Berdasarkan nilai tegangan tembus bahan isolasi resin epoksi murni pada Tabel 1, rata-rata nilai tegangan tembus bahan isolasi resin epoksi murni yang diuji adalah isolator 21,58 kV dan dibandingkan dengan nilai tegangan tembus standar tegangan menengah SPLN No.49/1982 sebesar 30 kV, sehingga secara umum nilai tegangan tembus bahan isolasi resin epoksi murni ini masih belum memenuhi standar pengujian yang ditentukan [17].

Tabel 2. Hasil Pengujian *breakdown voltage* Isolasi Resin Epoksi dengan Bahan Pengisi Pelepah Nipah

No	Pengujian	Tegangan Tembus (kV)			
		Bahan pengisi 0,5 gram	Bahan pengisi 1 gram	Bahan pengisi 1,5 gram	Bahan pengisi 2 gram
1	Pengujian 1	46,45	43,74	42,54	41,21
2	Pengujian 2	45,29	43,42	42,74	41,82
3	Pengujian 3	44,93	41,09	41,74	41,06

Pengujian tegangan tembus material isolasi campuran resin epoksi dan bahan pengisi abu pelepah nipah dilakukan sebanyak 3 kali pengujian pada setiap spesimen yang telah dibuat. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai yang presisi atau mendekati kebenaran dari nilai tegangan tembus bahan isolasi tersebut. Pengujian tegangan tembus material resin epoksi dan bahan pengisi abu pelepah nipah dapat dilihat pada tabel 2 nilai dari setiap pengujian tegangan tembus pada material isolasi campuran resin epoksi dan bahan pengisi arang pelepah nipah.



Gambar 4. Grafik perbandingan tegangan tembus sampel isolasi campuran epoksi dan filler abu pelepah nipah

Berdasarkan gambar 4, nilai tegangan tembus material isolasi campuran resin epoksi dan bahan pengisi abu pelepah nipah, diperoleh nilai rata-rata tegangan tembus pada percobaan pertama (material isolasi campuran resin epoksi dan bahan pengisi abu pelepah nipah 0,5 gram) sebesar 45,55 kV. Nilai tegangan tembus percobaan kedua (material isolasi campuran resin epoksi dan bahan pengisi abu pelepah nipah 1 gram) sebesar 43,03 kV. Nilai tegangan tembus percobaan ketiga (material isolasi campuran resin epoksi dan bahan pengisi abu pelepah nipah 1,5 gram) diperoleh sebesar 42,34. Nilai tegangan tembus percobaan keempat (material isolasi campuran resin epoksi dan bahan pengisi abu pelepah nipah 2 gram) sebesar 41,36 kV.

Hasil pengujian tegangan tembus material campuran material isolasi campuran resin epoksi dan bahan pengisi abu pelepah nipah 0,5 gram memiliki nilai paling tinggi dibanding seluruh pengujian campuran dengan bahan pengisi abu pelepah nipah. Berdasarkan hasil pengamatan, material isolasi dengan bahan pengisi abu pelepah nipah 0,5 gram memiliki gelembung dengan jumlah paling sedikit yaitu 150 *bubble* dibandingkan dengan sampel lainnya yang memiliki sebanyak 169 dan 216 *bubble*. *Bubble* atau *void* merupakan cikal bakal terjadinya terjadinya *electrical treeing* pada bahan isolasi yang akan menghubungkan antara *void* dengan *void* lainnya sehingga menurunkan kekuatan isolasi dalam menahan laju kenaikan tegangan uji. Semakin banyak *void* yang dimiliki isolasi, maka semakin cepat juga terjadinya *electrical treeing* dan berbanding lurus dengan penurunan kekuatan tegangan tembus isolasi tersebut.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bahan pengisi serat pelepah nipah memiliki nilai tegangan tembus rata-rata 40 kV dan memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan isolasi komposit murni resin epoksi yang berada di kisaran 21 kV. Material isolasi dengan bahan pengisi abu pelepah nipah 0,5 gram memiliki gelembung dengan jumlah paling sedikit yaitu 150 *bubble* dibandingkan dengan sampel lainnya yang memiliki sebanyak 169 dan 216 *bubble* yang mempercepat terjadinya *electrical treeing* dan penurunan tegangan tembus isolasi.

Daftar Pustaka

- [1] Y. Wang, Z. Huang, M. Gao, J. Shang, and Z. Wang, "Effect of Aging Time on the Growth Characteristics of Electrical Treeing in Epoxy Resin-Impregnated Paper," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 29, no. 5, pp. 1923–1930, Oct. 2022, doi: 10.1109/TDEI.2022.3200934.
- [2] S. Chen, Z. Lv, J. Carr, M. Storm, and S. M. Rowland, "Electrical tree growth in microsilica-filled epoxy resin," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 27, no. 3, pp. 820–828, Jun. 2020, doi: 10.1109/TDEI.2020.008671.
- [3] S. Nakamura *et al.*, "Effects of Filler-size on Electrical Treeing in Epoxy/Silica Nanocomposites," *Annual Report - Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, CEIDP*, vol. 2020-October, pp. 184–187, Oct. 2020, doi: 10.1109/CEIDP49254.2020.9437499.
- [4] H. Wang *et al.*, "Effect of Polycyclic Aromatic Compounds Content on Electrical Tree and Partial Discharge of XLPE," *ICD 2022 - IEEE 2022 4th International Conference on Dielectrics, Proceedings*, pp. 1–4, 2022, doi: 10.1109/ICD53806.2022.9863498.
- [5] K. Nishikawa, M. Kurimoto, H. Muto, and T. Kawashimami, "Effect of Titania Nanofiller on Electrical Tree of Silicone Gel," *2022 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference, IPMHVC 2022*, pp. 57–59, 2022, doi: 10.1109/IPMHVC51093.2022.10099410.
- [6] M. E. Ibrahim, A. M. Abd-Elhady, E. S. Elmasry, and M. A. Izzularab, "Evaluation of Electrical Treeing and Dielectric Spectroscopy of Silicone Rubber Nanocomposites under Thermal Ageing," *22nd International Middle East Power Systems Conference, MEPCON 2021 - Proceedings*, pp. 194–201, 2021, doi: 10.1109/MEPCON50283.2021.9686217.
- [7] Y. Zhang, Y. Zhou, X. Zhu, C. Teng, T. Zhang, and D. Hu, "Electrical Tree Evolution of BN Sheet/Epoxy Resin Composites at High Voltage Frequencies," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 29, no. 5, pp. 1991–1999, Oct. 2022, doi: 10.1109/TDEI.2022.3196277.
- [8] R. Zhao *et al.*, "Electrical Treeing Characteristics in Glass Fiber Reinforced Epoxy Resin," *ICD 2022 - IEEE 2022 4th International Conference on Dielectrics, Proceedings*, pp. 643–646, 2022, doi: 10.1109/ICD53806.2022.9863510.
- [9] H. Fu, C. Zhang, J. Xiang, Z. Cheng, S. Wang, and J. Li, "Electrical Tree Characteristics of Epoxy Resin under Bipolar Square Wave Voltage," *Proceedings of the 2020 IEEE 3rd International Conference on Dielectrics, ICD 2020*, pp. 142–145, Jul. 2020, doi: 10.1109/ICD46958.2020.9341976.
- [10] W. Zhang, B. Du, H. Liang, L. Hao, Y. Wang, and D. Yuan, "Competition between Tensile and Compressive Stresses on Electrical Tree Growth in Epoxy Resin," *2023 IEEE 4th International Conference on Electrical Materials and Power Equipment, ICEMPE 2023*, 2023, doi: 10.1109/ICEMPE57831.2023.10139472.
- [11] K. Li, B. Zhang, X. Li, and H. Ke, "Investigation of the Insulation Failure of Power Modules by Observation of Electrical Trees," *IEEE Workshop on Wide Bandgap Power Devices and Applications in Asia, WiPDA Asia 2021*, pp. 363–366, 2021, doi: 10.1109/WIPDAASIA51810.2021.9656032.
- [12] Q. Han, I. Idrissu, L. Chen, and S. Rowland, "Effect of Insulating Gases on Electrical Treeing in Epoxy Resin," *Annual Report - Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, CEIDP*, vol. 2021-December, pp. 482–485, 2021, doi: 10.1109/CEIDP50766.2021.9705327.
- [13] S. Nakamura *et al.*, "Effects of temperature on electrical treeing and partial discharges in epoxy/silica nanocomposites," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 27, no. 4, pp. 1169–1177, Aug. 2020, doi: 10.1109/TDEI.2020.008812.
- [14] H. H. Aung *et al.*, "Moisture Content Affecting Electrical Treeing Process in Epoxy and Glass Fiber Reinforced Epoxy Resin," *2023 IEEE 4th International Conference on Electrical Materials and Power Equipment, ICEMPE 2023*, vol. 2023-January, 2023, doi: 10.1109/ICEMPE57831.2023.10180366.
- [15] L. Zhang, W. Xing, Y. Xu, Z. Cheng, and Y. Zhou, "Electrical Tree Aging Characteristics of Epoxy Resin under High Frequency at Different Temperatures," *2021 Electrical Insulation Conference, EIC 2021*, pp. 531–534, 2021, doi: 10.1109/EIC49891.2021.9612310.
- [16] Z. Zhang, S. Zheng, S. Wu, D. Liu, A. Guan, and A. Zhong, "Analysis of Electrical Tree Growth and Partial Discharge Stagnation in Epoxy Resin," *International Conference on Advanced Electrical Equipment and Reliable Operation, AEERO 2021*, 2021, doi: 10.1109/AEERO52475.2021.9708171.

- [17] M. Fujii, K. Matsushita, M. Fukuma, and S. Mitsumoto, "Study on Characteristics of Electrical Tree in Epoxy Resin Measured by Current Integrated Charge Method," in *2020*

International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM), 2020, pp. 177–180.