

Karakteristik Peluahan Sebagian Permukaan Material PCB di Isolasi Udara dengan Elektroda Pelat-Pelat

Discharge Characteristics of PCB Material Surface Partial Discharge in Air Insulation with Electrode Plates

Neris Peri Ardiansyah^{1*}, Umar Khayam²

¹Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Widyatama

Jl. Cikutra No.204A, Sukapada, Kec. Cibeunying Kidul, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

^{2,3}Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

neris.ardiansyah@widyatama.ac.id^{1*}, umar@itb.ac.id²

Abstrak – Kualitas sistem tenaga listrik dipengaruhi salah satunya oleh kualitas isolasi yang digunakan terhadap peralatan yang digunakan. Permasalahan yang terjadi pada peralatan tegangan tinggi adalah kualitas isolasi yang tidak sesuai dengan peralatan yang digunakan. Salah satu tanda terjadinya kerusakan pada isolasi adalah dengan timbulnya Partial Discharge (PD) yang merupakan gejala awal terjadinya kerusakan pada isolasi peralatan tegangan tinggi. Pendeteksian PD dapat dilakukan dengan mendeteksi radiasi yang dihasilkan oleh peralatan, diantaranya dengan deteksi Transient Earth Voltage (TEV), atau yang lebih konvensional yaitu deteksi gelombang elektromagnetik, akustik dan mekanik. Pada penelitian ini dilakukan percobaan pengukuran Surface Discharge yang terjadi pada permukaan isolator yang terbuat dari PCB. Pengukuran dilakukan menggunakan Standar IEC 60270 dengan deteksi non-elektrik menggunakan sensor Loop Antenna. Pengukuran dilakukan pada media isolasi gas (udara) menggunakan elektroda pelat-pelat berbentuk lingkaran sebagai pembangkit medan listrik yang homogen dan simetris. Hasil dari penelitian karakteristik surface discharge yang terjadi pada permukaan PCB dengan medan homogen yang terjadi pada isolator udara diperoleh data berupa PDIV negatif dan positif pada nilai tegangan 3,35 kV dan 3,37 kV, bentuk Gelombang PD pada tegangan uji 4,5-7 kV dengan waktu kenaikan 144-301 ns, dan waktu penurunan 4966-3094 ns, Sudut Pola Fasa PD pada tegangan 4,5-7 kV di polaritas negative dan positif berada pada 198-253 derajat dan 22-69 derajat, besar muatan PD negatif dan positif (-58)-(-8893) pC dan 116-11933 pC, serta jumlah pola fasa PD negatif dan positif berjumlah 55-301 dan 24-261. Karakteristik Surface Discharge pada Material PCB terdapat di polaritas negatif dan positif yang mengakibatkan terjadinya pelepasan muatan di permukaan isolasi PCB dengan besar muatan pada masing-masing polaritas.

Kata Kunci: Peluahan Sebagian Permukaan, PCB, Loop Antena, isolasi udara, elektroda pelat.

Abstract – The quality of the electric power system is influenced, among other things, by the quality of the insulation used on the equipment used. The problem that occurs in high-voltage equipment is the quality of insulation that is not in accordance with the equipment used. One sign of damage to the insulation is the emergence of Partial Discharge, an early symptom of damage to the insulation of high-voltage equipment. PD detection can be done by detecting radiation produced by equipment, including Transient Earth Voltage (TEV) detection, or more conventionally, electromagnetic, acoustic, and mechanical wave detection. In this research, an experiment was conducted to measure the Surface Discharge that occurred on the surface of

TELKA, Vol.9, No.2, November 2023, pp. 145~155

ISSN (e): 2540-9123

ISSN (p): 2502-1982

an insulator made of PCB. Measurements were carried out using the IEC 60270 Standard with non-electrical detection using a Loop Antenna sensor. Measurements were made on gas (air) insulating media using circular plate electrodes as a generator of a homogeneous and symmetrical electric field. The results of the research on surface discharge characteristics that occur on acrylic surfaces with homogeneous fields that occur on air insulators obtained data in the form of Negative and Positive PDIV at voltage values of 3.35 kV and 3.37 kV, PD Waveforms at test voltages of 4.5-7 kV with a rising time of 144-301 ns and a decreasing time of 4966-3094 ns, the angle of the PD Phase Pattern at a voltage of 4.5-7 kV in negative and positive polarity is at 198-253 degrees and 22-69 degrees, the magnitude of the PD charge is negative and Positive (-58)-(-8893) pC and 116-11933 pC, the number of negative and positive PD phase patterns is 55-301 and 24-261. The Surface Discharge Characteristics of the PCB Material are in negative and positive polarity, resulting in a discharge on the surface of the PCB insulation with a large charge on each polarity.

Keywords: Surface Partial Discharge, PCB, Loop Antenna.

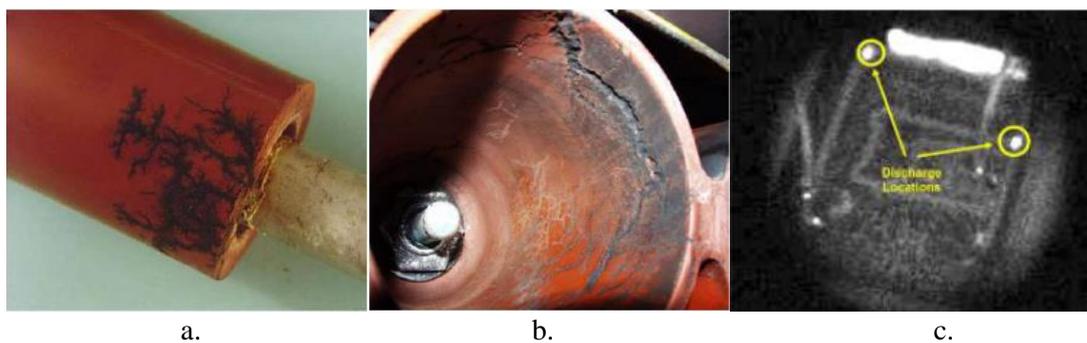
1. Pendahuluan

Kerusakan pada komponen kelistrikan yang diberi medan listrik tinggi pada umumnya terjadi pada isolator dari komponen tersebut. Menurut penelitian, 80% kerusakan peralatan disebabkan gangguan pada isolator peralatan tersebut yang biasanya disebabkan cacat ketika proses produksi, kesalahan saat penyambungan dan pemasangan, serta kerusakan yang disebabkan proses penuaan dan pemakaian dari komponen tersebut [1]–[6]. Dengan mengusahakan strategi perawatan yang sesuai, pengecekan rutin dan berkala serta penggantian pada kelengkapan komponen yang mengalami kerusakan dapat memperpanjang usia pemakaian dari suatu komponen. Maka dari itu, diperlukan deteksi kerusakan dini dari peralatan kelistrikan tersebut .

Salah satu yang dapat digunakan sebagai deteksi kerusakan dini dari peralatan listrik tegangan tinggi adalah dengan menganalisa peluahan sebagian atau *Partial discharge* (PD) yang terjadi. PD itu sendiri menurut IEC 60270:2000, adalah suatu fenomena peluahan listrik secara lokal yang menghubungkan secara parsial atau sebagian dari isolator di antara konduktor dan yang terjadi baik di permukaan konduktor maupun di dalam konduktor (*void*) [7]. Kehadiran PD tidak dapat dihindari dalam penggunaan listrik tegangan tinggi. Meski menjadi suatu yang ditakuti karena merupakan tanda terjadinya kerusakan pada peralatan kelistrikan, tetapi PD yang terjadi juga berguna sebagai deteksi kerusakan dini pada peralatan tersebut sehingga bisa dilakukan tindakan pencegahan yang tepat agar kerusakan yang terjadi tidak menjadi semakin parah dan merusak komponen lainnya hingga mengganggu kinerja sistem itu sendiri.

Deteksi kerusakan dengan PD itu sendiri dilakukan dengan menganalisa energi dan fenomena yang dihasilkan oleh PD berupa gelombang elektromagnetik, sinyal elektrik, sinyal akustik, sinyal optik dan radiasi kalor atau panas. Dengan mendeteksi dan menganalisa fenomena yang dihasilkan PD tersebut kita bisa mengetahui sifat PD yang terjadi, tempat terjadinya PD dan jenis PD, sehingga bisa dilakukan perawatan yang tepat terhadap peralatan tersebut. Pendeteksian sinyal PD yang terjadi dilakukan dengan menggunakan sensor yang mampu mendeteksi fenomena yang dihasilkan PD diantaranya yang paling umum digunakan adalah sensor *detecting impedance* (RC), *sensor High Frequency Current Transformer* (HFCT) dan *loop antenna* [8]–[10].

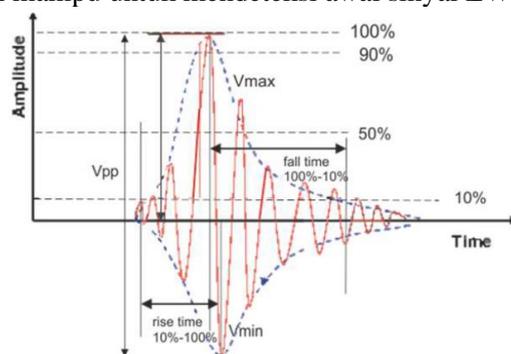
Surface discharge biasa terjadi pada sambungan kabel yang dikupas isolatornya atau pada permukaan *circuit breaker* serta pada lapisan tembaga pada *power module* seperti pada Gambar 1. Jika semakin lama dibiarkan *surface discharge* bisa menyebabkan terjadinya *treeing* dan *tracking* pada permukaan isolator padat yang pada akhirnya akan menyebabkan terjadinya hubung singkat.



Gambar 1. a. *Surface discharge* pada kabel, b. CB dan c. *power module* dengan *treeing* dan *tracking* pada isolasi padat

Pengukuran PDIV (*Partial Discharge Inception Voltage*) dilakukan mulai dari tegangan 0 kV hingga kenaikan tegangan tertentu yang diterapkan pada objek uji. Kemunculan gelombang PDIV yang muncul saat pertama kali pengujian dijadikan sebagai tngan insepasi, tegangan tersebut digunakan sebagai acuan untuk menentukan batasan PD pada objek pengujian bahan dan elektroda yang digunakan [11]. Pada pengujian sampel IGBT Daya Tegangan Tinggi yang dilakukan sebelumnya diketahui adanya peluahan sebagian yang cukup kuat, stabil dan dapat di korelasikan dengan nilai tegangan uji sekitar 5 kV [12].

Pengukuran Bentuk Gelombang PD (PD Waveform) berbentuk impuls seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, bentuk pulsa PD tersebut menggambarkan pergerakan dari elektron dan ion pada isolator diantara dua elektroda. Parameter-parameter gelombang PD yang digunakan dalam penelitian diantaranya *Rise Time*, *Fall Time*, dan Tegangan *peak to peak* (V_{p-p}) [6][13]. Pada peneletian yang dilakukan terkait dengan bentuk gelombang dari sinyal EMW (*Electromagnetic wave*) dengan menggunakan *multiple loop sensors* dengan menggunakan metode *time of flight (TOF)*, untuk menentukan lokasi terjadinya PD pada modul IGBT [14]. Dengan metode TOF pada frekuensi sampling 80 GS/s memungkinkan mendeteksi lokasi PD dengan akurasi 1 mm dan mampu untuk mendeteksi awal sinyal EWM.



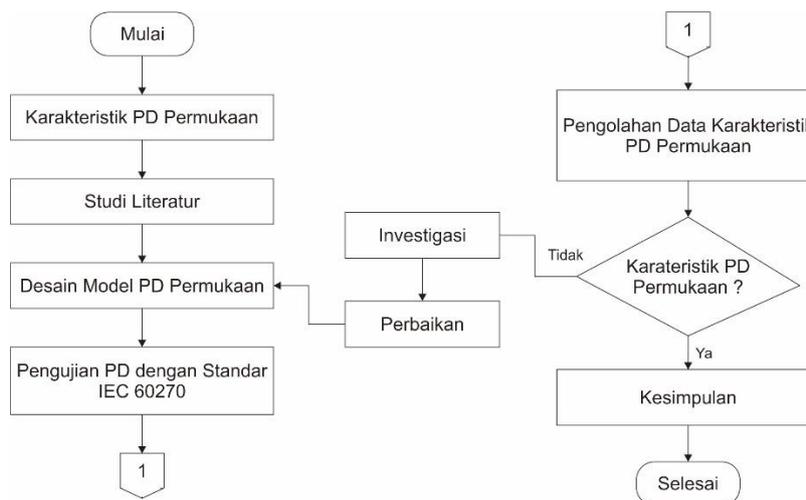
Gambar 2. Parameter Bentuk Gelombang PD

Informasi penting dari data Pola fasa PD yang didapatkan dari pegujian mencakup besar muatan (q), lokasi (sudut Fasa / ϕ) dan jumlah PD (n). Data PD disajikan dalam grafik Pola PD (PD pattern) [15], Pola PD mencakup Grafik pola Fasa – muatan – jumlah ($\phi - q - n$), Grafik pola Fasa – jumlah ($\phi - n$), dan Grafik pola Fasa – muatan ($\phi - q$). Pada pengujian yang dilakukan terkait dengan pengujian bahan sesuai dengan standar uji PD, kemudian hasil perolehan data digunakan untuk menentukan karakteristik permukaan PD pada bentuk elektroda jarum pelat yang berbeda. Dengan penggunaan parameter Amplitudo rata-rata dari nilai muatan semu (Q_{avg}). Amplitudo maksimum dari nilai muatan semu (Q_{max}). Frekuensi PD per detik (N). Kekuatan nilai muatan semu (P) [16].

Mengacu pada kajian diatas maka pada penelitian ini dilakukan pengujian untuk deteksi *Surface Partial discharge* dengan menggunakan model elektroda plat-plat untuk mengetahui terjadinya *surface partial discharge* pada material PCB, dimana material PCB banyak digunakan pada *Power Module* sebagai komponen peralatan kendaraan listrik dan inverter pada sistem pembangkitan *renewable energi*.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan secara terencana dan mengikuti langkah-langkah tertentu agar pelaksanaannya teratur dan bisa mendapatkan hasil yang diharapkan. Langkah-langkah penelitian ini digambarkan secara garis besar dalam suatu diagram alur pada Gambar 3.

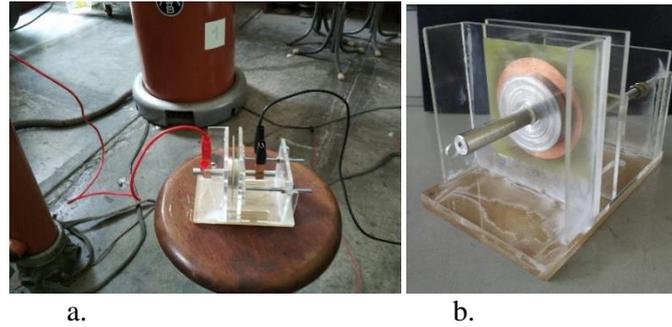


Gambar 3. Diagram alur penelitian

Peneliti dimulai dengan menentukan parameter karakteristik peluahan sebagian di permukaan yang terjadi pada bahan dielektrik. Selanjutnya peneliti mempelajari literatur untuk mengetahui fenomena yang terjadi peluahan sebagian yang terjadi pada peluahan di permukaan. Selanjutnya pada tahap desain dimuatkan model peluahan permukaan sebagian dengan menggunakan bahan PCB epoksi dengan ukuran tebal 1,6 mm dan panjang x lebar 100 mm x 100 mm. Model Elektroda Plat-plat yang digunakan terbuat dari Aluminium dengan diameter 65 mm dan tebal 5 mm. Eksperimen pengujian dilakukan pada isolasi udara. Pada tahap pengujian dan pengumpulan data yang dilakukan mengacu standar IEC 60270 [7], selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk memverifikasi pengujian yang telah dilakukan terkait dengan karakteristik PD. Pengolahan data dengan menggunakan software Ms Excel dan OriginPro 2018. Jika hasil analisis data dinyatakan valid maka dilakukan tahap analisis data untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada pengujian material PCB, dan jika data hasil tidak valid maka proses penelitian kembali dilakukan perbaikan pada Desain Model PD. Dari hasil analisis tersebut ditarik kesimpulan untuk mengetahui sejauh mana hasil penelitian yang dilakukan untuk mengetahui terjadinya fenomena pada pengujian material PCB dengan menggunakan model pengujian elektroda plat-plat.

2.1. Elektroda dan Objek Uji

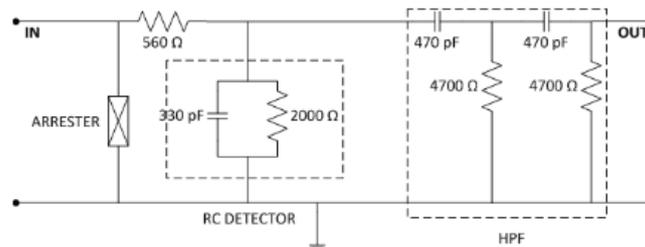
Insulasi yang akan diuji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4a sedangkan desain elektroda yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4b. PCB yang digunakan kemudian dijepit dengan dua elektroda sehingga tidak ada udara di antara keduanya.



Gambar 4. Model objek uji PD a. Pemasangan PCB dan Elektroda Probe HV dan ground b. Elektroda dan desain dudukan

2.2. Sensor Deteksi Partial Discharge

RC detector atau detecting impedance merupakan salah satu sensor yang paling sering digunakan sebagai deteksi PD seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Merupakan salah satu sensor yang dianjurkan dalam standar IEC 60270 sebagai sensor konvensional [7][8]. Konsep kerja RC detector ini adalah menangkap sinyal tegangan keluaran pada sisi ground dari objek uji sehingga bisa mendeteksi sinyal tegangan PD yang terjadi secara langsung di dalam sistem. Karena itu sensor RC ini merupakan sensor referensi sebagai pembandingan dengan sensor lain yang digunakan.



Gambar 5. Schematic Diagram RC Detektor

HFCT adalah sensor induktif untuk pengukuran PD dengan metode elektrik. Merupakan salah satu sensor eksternal karena tidak langsung terhubung dengan sistem. Cara kerja HFCT adalah dengan mendeteksi sinyal arus dari PD yang terjadi. Karena itu alat ini dipasang pada kabel ground keluaran dari objek PD untuk mendeteksi bentuk sinyal arus keluaran sistem. Ketika sensor dipasang dengan arah yang benar, sinyal tegangan terdeteksi (V_{out}) memiliki fasa yang sama seperti arus masukan. HFCT merupakan trafo toroid yang berfungsi menangkap gelombang elektromagnet yang dipancarkan oleh arus yang mengalir pada kabel ground PD. Bentuk dari HFCT ini seperti ditunjukkan pada Gambar 6. berbentuk trafo toroid kecil dan kabel harus masuk melalui lubang di dalamnya [10].



Gambar 6. HFCT

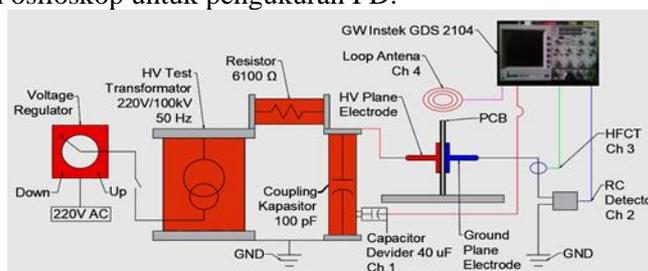
Loop Antena, PD juga dapat dideteksi dengan mendeteksi emisi gelombang elektromagnetik. Metode ini menggunakan Loop Antena, dan terutama didasarkan pada pengenalan bentuk gelombang dan analisis. Metode termudah adalah menghubungkan osiloskop atau spectrum analyzer ke antena dan untuk menganalisis kurva Perangkat yang lebih rumit menggunakan algoritma yang kompleks untuk mengenali PD [14]. Gambar 8 menunjukkan contoh deteksi semacam itu sistem. Diameter loop antena 8 cm dan memiliki 3 buah jumlah lilitan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Loop Antena

2.3. Rangkaian Pengujian

Gambar 8 menunjukkan rangkaian pengukuran surface discharge pada isolasi gas (udara). Sistem pengukuran partial discharge terhubung pada sumber tegangan 220 Volt, regulator tegangan pada rangkaian berfungsi sebagai pengatur kenaikan tegangan pada trafo step-up tegangan tinggi yaitu 220 V/100 kV. Resistor pada rangkaian dengan nilai tahanan 6100 ohm berfungsi sebagai pembatas arus hubung singkat. Kapasitor kopling yang terpasang digunakan untuk melewatkan arus frekuensi tinggi dari sinyal PD. Kapasitor devider digunakan untuk menurunkan sumber tegangan, agar tegangan yang masuk pada alat ukur dapat terbaca dan digunakan juga oleh osiloskop untuk pengukuran PD.



Gambar 8. Rangkaian Pengujian

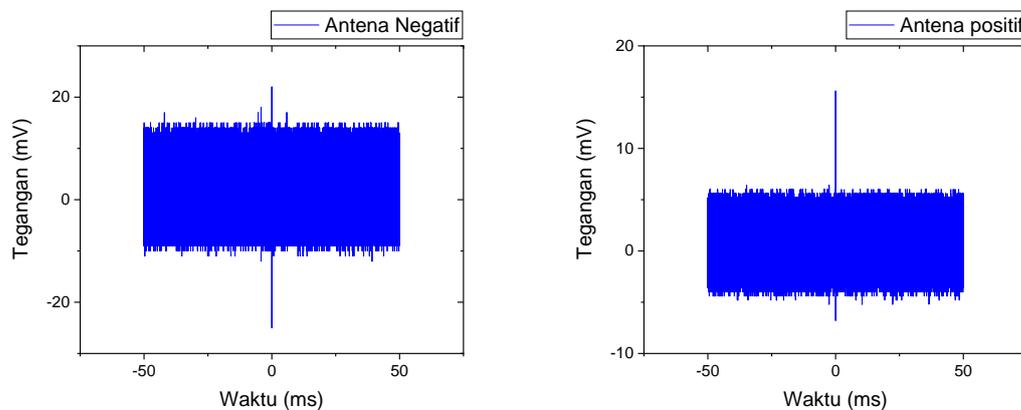
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian yang disajikan terkait dengan pengukuran karakteristik Peluahan Sebagian Permukaan PCB pada media isolasi udara penggunaan sensor eksperimen aktual yang digunakan untuk mengukur karakteristik PD sebenarnya seperti pada Gambar 8. Kami menggunakan tiga jenis sensor, tetapi untuk penyajian dalam karya tulis ini kami hanya akan menggunakan hasil pengukuran dari sensor Loop Antena untuk setiap parameter yang diukur.

3.1. PDIV

PDIV (tegangan awal peluahan sebagian) adalah tegangan di mana aktivitas PD muncul untuk pertama kalinya ketika tegangan sumber meningkat secara bertahap. Ada 2 jenis PDIV yaitu PDIV negatif dan PDIV positif. PDIV negatif adalah gelombang PD bermuatan negatif

sedangkan PDIV positif untuk gelombang PD bermuatan positif seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Tabel 1 menampilkan PDIV dalam isolasi udara yang terjadi pada objek.



Gambar 9. PDIV Negatif dan Positif.

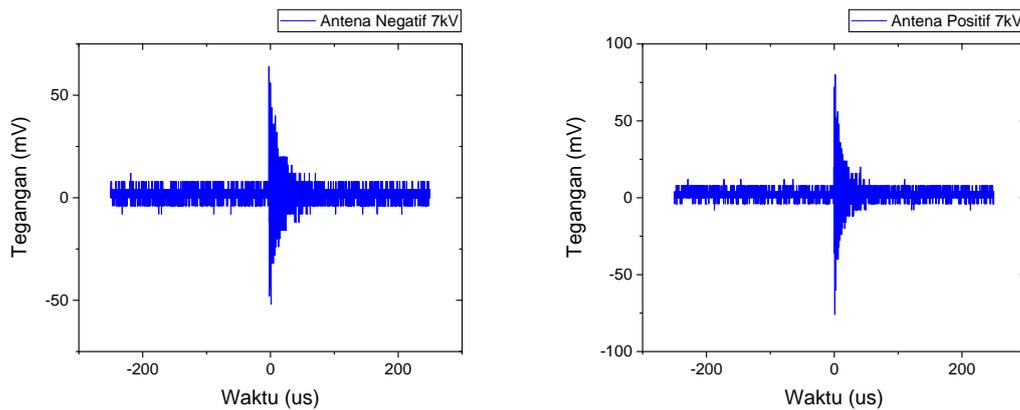
Tabel 1. Hasil PDIV Positif dan Negatif.

Isolasi	PDIV negatif		PDIV positif	
	Tegangan (kV)	Tegangan p-p	Tegangan (kV)	Tegangan p-p
Udara	3,35	48,37	3,37	21,76

Tabel 1 menunjukkan tegangan sumber dan Vpp PDIV isolasi udara dari rata-rata 40 kali pengumpulan data. Hasil pengukuran nilai PDIV menggunakan Loop Antena dalam isolasi udara menunjukkan PDIV negatif yang lebih besar daripada PDIV positif yang menunjukkan terjadinya PD positif pertama keluar dari PD negatif. Ini menunjukkan bahwa PD muncul pertama kali ketika elektroda dipolarisasi positif sehingga elektron yang memprakarsai PD berasal dari udara. Kondisi ini menunjukkan bahwa energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan elektron awal dari udara lebih kecil daripada energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan elektron awal dari plat elektroda yang digunakan. Kondisi tersebut memperlihatkan dimana PD dapat terjadi pada bahan uji PCB yang menggunakan elektroda plat-plat sebagai alat pengujian. PD yang terjadi terpengaruh dari adanya sudut tajam pada PCB yang menyebabkan terjadinya pemusatan muatan listrik pada titik tertentu, kondisi ini mengakibatkan adanya sifat kapasitasi pada dielektrik yang menyebabkan munculnya peluahan sebagian di permukaan pada bahan epoxy PCB setelah dilakukan pengujian pada nilai tegangan 3,35 kV di polaritas negatif dan 3,37 di polaritas positif.

3.2. Bentuk Gelombang Partial Discharge

Karakteristik Bentuk gelombang Partial Discharge memiliki dua bentuk gelombang yang merupakan PD negatif yang memiliki muatan negatif dan PD positif yang memiliki muatan positif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Hasil pengukuran gelombang PD meliputi hasil waktu naik, waktu jatuh dan Vpp diambil pada 4,5kV, 5kV, 6kV dan 7kV dalam isolasi udara diukur menggunakan sensor Loop Antena. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 2 yang menunjukkan waktu naik, waktu jatuh dan Vpp dari gelombang PD negatif dan positif.



Gambar 10. Bentuk Gelombang PD Negatif dan Positif.

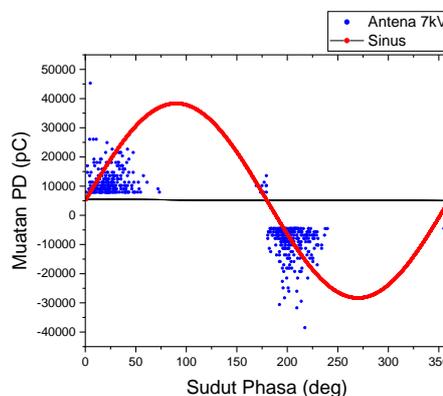
Tabel 2. Hasil Bentuk Gelombang Negatif dan Positif.

Tegangan (kV)	PDIV Negatif			PDIV Positif		
	Rise Time (ns)	Fall Time (ns)	Vp-p (mV)	Rise Time (ns)	Fall Time (ns)	Vp-p (mV)
4,5	144	4966	36	190	5163	43
5	123	4922	45	197	4484	47
6	194	4699	40	191	4921	51
7	301	3094	180	221	1947	176

Dari Tabel 2 menunjukkan bahwa gelombang waktu naik PD adalah negatif dan gelombang PD positif lebih kecil dari waktu jatuh gelombang PD negatif dan gelombang PD positif. Ini karena bentuk gelombang PD dalam bentuk impuls terdiri oleh dua pembawa muatan yaitu pembawa muatan negatif (elektron) dan pembawa muatan positif (ion). Karena massa elektron lebih ringan, mobilitas elektron jauh lebih besar daripada ion yang menyebabkan arus karena aliran elektron besar tetapi segera habis dan berkontribusi pada area kenaikan waktu. Ion karena ion mengalir dalam periode yang lebih lama, lebih kecil dan berkontribusi pada wilayah waktu jatuh [9]. Gelombang PD negatif Vpp dan gelombang PD positif juga meningkat ketika tegangan dinaikkan. Jadi besarnya Vpp akan dipengaruhi oleh besarnya tegangan yang diterapkan.

3.3. Pola Fasa Partial Discharge

Pola Fasa PD data disajikan dalam grafik kurva $\phi - q - n$ (Fasa-muatan-jumlah). Grafik $\phi - q - n$ menunjukkan sudut Fasa - muatan - jumlah PD 100 siklus dalam 1 siklus sinus, Pola Fasa PD ditunjukkan pada Gambar 11. Karakteristik dari pola phase PD dibandingkan dengan Fasa PD, berapa banyak nilai beban PD dan jumlah PD yang muncul pada gelombang positif dan negatif yang diambil pada 4,5kV, 5kV, 6kV dan 7kV dalam isolasi udara diukur menggunakan Loop Antena.



Gambar 11. Pola Fasa Partial Discharge

Tabel 3. Sudut Pola Fasa PD Negatif dan Positif.

Tegangan	Sudut Fasa PD Negatif (deg)	Sudut Fasa PD Positif (deg)
4,5	253	69
5	251	29
6	198	22
7	207	26

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa Fasa PD positif dan negatif isolasi udara. Semuanya terjadi dalam fasa acak bahkan dalam fasa yang bertentangan dengan polaritas gelombang PD. Nilai signifikan adalah dari pola pergeseran di mana pergeseran fasa isolator udara terjadi secara teratur dan bergerak lebih dalam ke fasa persimpangan.

Tabel 4. Besar Muatan Pola Fasa PD Negatif dan Positif.

Tegangan	Muatan PD Negatif (pC)	Muatan PD Positif (pC)
4,5	-58	116
5	-131	213
6	-765	1051
7	-8893	11933

Pada Tabel 4, pengukuran muatan PD pada insulasi udara dan insulasi cair menunjukkan bahwa semakin besar tegangan uji, muatan PD negatif dan muatan PD positif lebih besar. Ini juga didukung karena muatan PD yang muncul berbanding lurus dengan perbedaan tegangan uji dengan tegangan awal. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar perbedaan antara tegangan awal dan tegangan uji, semakin besar muatan PD yang terjadi.

Dalam hal cairan PD terisolasi, muatan buangan yang terjadi adalah salah satunya disebabkan oleh gelembung udara / rongga. Diameter rongga ini sebanding dengan kapasitansi. Besarnya kapasitansi rongga menentukan besarnya muatan yang muncul dari proses PD. Ketika tegangan uji yang diterapkan cukup tinggi untuk melebihi tekanan awal dan jika elektron awal muncul, PD akan terjadi. Kejadian PD ini melepaskan energi yang besarnya dipengaruhi oleh tegangan uji. Semakin besar tegangan tes, semakin besar peluang untuk muncul dengan energi yang lebih besar.

Tabel 5. Jumlah Pola Fasa PD Positif dan Negatif.

Tegangan	Jumlah PD Negatif (n)	Jumlah PD Positif (n)
4,5	55	24
5	77	54
6	271	252
7	301	261

Tabel 5 memperlihatkan perbandingan jumlah PD positif dan negatif yang terjadi di isolasi udara cenderung sama yang memiliki jumlah kejadian PD positif dan negatif yang hampir linier dengan peningkatan tegangan terapan. Hal ini terjadi karena elektroda yang digunakan adalah pelat elektroda yang menghasilkan medan listrik yang homogen dan hampir paralel. Sedikit perbedaan dalam jumlah yang tidak terlalu besar dan tidak signifikan disebabkan oleh cacat pada elektroda ketika membuat sehingga menyebabkan ketidaksempurnaan yang menyebabkan perbedaan medan listrik yang terjadi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengaruh pelepasan muatan pada permukaan mengakibatkan adanya adanya treeing dan tracking yang terjadi pada permukaan material PCB, jika waktu dan besarnya nilai tegangan yang diberikan secara terus menerus dapat mengakibatkan terjadinya hubung singkat.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian karakteristik *surface discharge* yang terjadi pada permukaan PCB dengan elektroda pelat-pelat yang terjadi pada isolator udara diperoleh dimana PDIV Negatif dan Positif berada pada nilai sumber tegangan 3,35 kV dan 3,37 kV dimana kemunculan PDIV Negatif lebih

awal dibandingkan dengan yang positif. Adapun bentuk Gelombang PD diperoleh pada nilai tegangan 4,5-7 kV dengan waktu kenaikan 144-301 ns dan waktu penurunan 4966-3094 ns kondisi ini menunjukkan dimana waktu kenikan lebih singkat dibandingkan waktu penurunan yang relative lebih lambat dalam sensor *loop antenna*.

Pada hasil pengujian diperoleh Sudut Pola Fasa PD pada tegangan 4,5-7 kV di polaritas negatif dan positif berada pada 198-253 derajat dan 22-69 derajat, Besar Muatan PD Negatif dan Positif (-58)-(-8893) pC dan 116-11933 pC, Jumlah Pola Fasa PD Negatif dan Positif berjumlah 55-301 dan 24-261. Kondisi ini menunjukkan dimana setiap PD yang terjadi di isolasi udara memiliki kecenderungan besarnya tegangan yang diberikan meningkatkan besaran dan jumlah PD yang terjadi pada isolasi material PCB.

Dalam penelitian lanjutan diperlukan adanya perbandingan terkait dengan media isolasi yang digunakan untuk pengujian material PCB, dengan harapan bahwa penggunaan material PCB dalam peralatan Elektronika Daya dapat memiliki nilai keandalan dan kualitas terutama dalam hal isolasi tegangan tinggi.

Referensi

- [1] Suwarno, *Diagnosis of High Voltage Equipments*. Bandung: ITB, 2014.
- [2] N. P. Ardiansyah, U. Khayam, and R. Nurdiansyah, "Measurement of Partial Discharge on PCB using RC Detector, HFCT, and Loop Antenna," in *2020 FORTEI-International Conference on Electrical Engineering (FORTEI-ICEE)*, 2020, pp. 64–68.
- [3] N. P. Ardiansyah and R. Pramudita, "Karakteristik Surface Partial Discharge di Sekitar Antarmuka PCB pada Pelat-Pelat Elektroda pada Isolasi Udara dan Minyak," *J. Ilm. Teknol. Inf. Terap.*, vol. 6, no. 2, pp. 65–73, 2020.
- [4] N. P. Ardiansyah and U. Khayam, "Surface Discharge Characteristics on the PCB Surface around the Edge of circle Plane-plane Electrode in Air Insulation," in *2019 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, 2019, pp. 216–221.
- [5] N. P. Ardiansyah and U. Khayam, "Characteristics of Surface Discharge around the edges of a circle the PCB on model Plane-plane electrodes in Oil insulation," in *2019 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, 2019, pp. 1–6.
- [6] N. P. Ardiansyah and U. Khayam, "Discharge Characteristics of Acrylic Surface Around the Needle Tip of Needle-Plane Electrodes," in *2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*, 2018, no. 50, pp. 79–84.
- [7] IEC 60270:2000, *High-voltage test techniques - Partial discharge measurements*. 2001.
- [8] U. Khayam and I. Alhanif, "Design of RC circuit as partial discharge detector," in *Proceedings of the Joint International Conference on Electric Vehicular Technology and Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering (ICEVT & IMECE)*, 2015, pp. 323–328.
- [9] U. Khayam, H. Agustina, and A. Zaeni, "Design of UHF Sensors Best Placement in 70 KV GIS," in *2018 Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE)*, 2018, pp. 1–6.
- [10] F. Álvarez, F. Garnacho, J. Ortego, and M. Sánchez-Urán, "Application of HFCT and UHF Sensors in On-Line Partial Discharge Measurements for Insulation Diagnosis of High Voltage Equipment," *Sensors*, vol. 15, no. 4, pp. 7360–7387, Mar. 2015.
- [11] Suwarno, "Diagnosis Peralatan Tegangan Tinggi dan Smart Grid," Bandung, 2011.
- [12] S. Arumugam, S. Gorchakov, and T. Schoenemann, "Dielectric and partial discharge investigations on high power insulated gate bipolar transistor modules," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 22, no. 4, pp. 1997–2007, 2015.
- [13] N. C. Sahoo, M. M. A. Salama, and R. Bartnikas, "Trends in partial discharge pattern classification: a survey," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 12, no. 2, pp. 248–264, Apr. 2005.
- [14] H. Mitsudome *et al.*, "High accuracy partial discharge location in power module using

- multiple loop sensors,” in *2017 IEEE International Workshop on Integrated Power Packaging, IWIPP 2017*, 2017, pp. 3–7.
- [15] Suwarno, “Phase resolved measurement and simulation of partial discharges in solid and liquid insulating materials,” in *Proceedings of 2014 International Symposium on Electrical Insulating Materials*, 2014, pp. 46–49.
- [16] B. Gao, R. Yu, G. Hu, C. Liu, X. Zhuang, and P. Zhou, “Development processes of surface trucking and partial discharge of pressboards immersed in mineral oil: Effect of tip curvatures,” *Energies*, vol. 12, no. 3, pp. 1–14, 2019.