

Karakterisasi Partial Discharge pada Pengujian Isolator Keramik dengan Metode HFCT

Mhd Fahmi Syawali Rizki^{*1}, Muhammad Fadlan Siregar², Ahmad Arif³, Sri Indah Rezkika⁴
Arif Milando⁵, Ahmad Faisal⁶, Jhoni Hidayat⁷

^{1,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Al-Azhar Medan

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area

⁶Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi

⁷Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Tjut Nyak Dhien

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 01 Oktober 2025

Revised: 10 Oktober 2025

Accepted: 28 November 2025

Keywords:

Partial Discharge,

Amplitudo,

Tegangan Tinggi,

Published by

Impression : Jurnal Teknologi dan Informasi

Copyright © 2025 by the Author(s) | This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

Karakteristik Partial Discharge (PD) pada isolator piring keramik berbahan porselen di bawah berbagai tingkat tegangan uji, yaitu 5 kV, 10 kV, 15 kV, dan 20 kV. Data yang dikumpulkan meliputi amplitudo PD tertinggi dan terendah dalam desibel (dB) serta fase PD dalam derajat, yang divisualisasikan dalam bentuk grafik garis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami pola distribusi fase PD sehubungan dengan amplitudo dan tegangan yang diterapkan, yang dapat memberikan indikasi mengenai kondisi isolasi material. Analisis menunjukkan adanya pola fase PD yang berulang (90° , 180° , 270° , 360°) pada sebagian besar kondisi tegangan dan amplitudo. Pola ini konsisten pada tegangan yang lebih rendah dan menengah, namun pada tegangan uji tertinggi (20 kV), piring keramik berbahan porselen yang diuji pada variasi tegangan 5 kV, 10 kV, 15 kV, dan 20 kV, pola fase PD yang konsisten berulang pada 90° , 180° , 270° , dan 360° di seluruh rentang tegangan yang diuji. Meskipun amplitudo PD bervariasi antara nilai tertinggi dan terendah pada setiap titik tegangan, pola fase cenderung mempertahankan bentuk dasarnya. Fluktuasi fase ini mencerminkan dinamika pelepasan parsial dalam satu siklus gelombang tegangan, dan perilaku cacat isolasi internal atau permukaan pada material porselin.

Partial Discharge (PD) characteristics of porcelain ceramic plate insulators under various test voltage levels, namely 5 kV, 10 kV, 15 kV, and 20 kV. The collected data include the highest and lowest PD amplitudes in decibels (dB) as well as the PD phase in degrees, which are visualized in the form of a line graph. The purpose of this study is to understand the PD phase distribution pattern with respect to the applied amplitude and voltage, which can provide an indication of the insulating condition of the material. The analysis shows the presence of a repeating PD phase pattern (90° , 180° , 270° , 360°) at most voltage and amplitude conditions. This pattern is consistent at lower and intermediate voltages, but at the highest test voltage (20 kV), porcelain ceramic plates tested at varying voltages of 5 kV, 10 kV, 15 kV, and 20 kV, a consistent PD phase pattern repeats at 90° , 180° , 270° , and 360° across the entire tested voltage range. Although the PD amplitude varies between the highest and lowest values at each voltage point, the phase pattern tends to maintain its basic shape. This phase fluctuation reflects the dynamics of partial discharges within a single cycle of the voltage wave, and the behavior of internal or surface insulation defects in the porcelain material.

Corresponding Author:

Mhd Fahmi Syawali Rizki

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Al-Azhar Medan

Jl. Pintu Air IV No. 214, Kwala Bekala, Padang Bulan-Medan. Telp/Fax : (+62)(61)-8366679.

Email: mfahmi@gmail.com,

PENDAHULUAN

Keandalan sistem tenaga listrik sangat ditentukan oleh kualitas sistem isolasi, terutama pada peralatan dan komponen yang beroperasi pada tegangan tinggi seperti isolator saluran transmisi dan distribusi. Isolator berfungsi tidak hanya sebagai penyangga mekanis konduktor, tetapi juga sebagai penghalang listrik antara bagian bertegangan dan struktur yang ditanahkan. Kegagalan isolasi pada isolator dapat mengakibatkan gangguan operasional, pemadaman listrik, hingga kerusakan peralatan yang berdampak pada aspek keselamatan dan kontinuitas penyaluran energi listrik.

Isolator keramik berbahan porselen merupakan salah satu jenis isolator yang paling banyak digunakan dalam sistem tenaga listrik karena memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi, ketahanan terhadap kondisi lingkungan, serta stabilitas termal yang baik. Namun demikian, dalam kondisi operasi jangka panjang, isolator porselen tetap berpotensi mengalami degradasi akibat faktor listrik, termal, mekanis, dan lingkungan. Degradasi ini dapat memicu munculnya cacat internal maupun permukaan yang sulit dideteksi secara visual, tetapi dapat berkembang menjadi kegagalan isolasi apabila tidak teridentifikasi sejak dini.

Salah satu fenomena awal yang menjadi indikator adanya degradasi atau cacat pada sistem isolasi adalah Partial Discharge (PD). Partial discharge merupakan pelepasan muatan listrik terlokalisasi yang terjadi pada sebagian kecil area isolasi akibat ketidaksempurnaan material, seperti rongga udara, retakan mikro, kontaminasi permukaan, atau ketidakseragaman struktur dielektrik. Meskipun PD tidak secara langsung menyebabkan tembus listrik (breakdown), aktivitas PD yang berulang dan berkelanjutan dapat mempercepat penuaan isolasi, menurunkan kekuatan dielektrik, serta meningkatkan risiko kegagalan isolator.

Oleh karena itu, pengujian dan karakterisasi partial discharge menjadi sangat penting sebagai metode diagnostik untuk menilai kondisi isolasi isolator tegangan tinggi. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam deteksi PD adalah metode High Frequency Current Transformer (HFCT), yang mampu mendeteksi sinyal arus berfrekuensi tinggi yang dihasilkan oleh aktivitas PD dengan sensitivitas yang baik serta gangguan yang relatif rendah. Metode HFCT memungkinkan analisis karakteristik PD berdasarkan parameter amplitudo dan fase dalam satu siklus tegangan AC, sehingga dapat memberikan informasi mengenai pola pelepasan dan indikasi jenis cacat isolasi yang terjadi.

Dalam konteks sistem distribusi dan transmisi tegangan menengah hingga tinggi, pengujian PD pada rentang tegangan hingga 20 kV menjadi relevan untuk merepresentasikan kondisi operasi nyata. Analisis pola fase dan amplitudo PD pada berbagai tingkat tegangan uji dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai perilaku pelepasan parsial pada isolator porselen, terutama dalam kaitannya dengan dinamika pelepasan muatan dalam satu siklus gelombang tegangan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi partial discharge pada isolator piring keramik berbahan porselen menggunakan metode HFCT dengan variasi tegangan uji 5 kV, 10 kV, 15 kV, dan 20 kV. Fokus penelitian diarahkan pada analisis amplitudo dan distribusi fase PD untuk mengidentifikasi pola pelepasan yang terjadi serta mengevaluasi kondisi isolasi material. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode diagnostik kondisi isolator, serta menjadi referensi dalam upaya pemeliharaan preventif dan peningkatan keandalan sistem tenaga listrik.

URAIAN TEORI

Pada sistem penyaluran energi listrik dari transmisi dan distribusi tenaga listrik tegangan tinggi, isolator suspensi bagian dari peranan krusial dalam menyangga konduktor bertegangan dan untuk memastikan isolasi listrik yang baik dan andal terhadap bagian dari struktur penyangga. Isolator tersebut pada umumnya terbuat dari material dielektrik seperti porselen atau kaca, dan material tersebut akan dirangkai secara seri untuk menahan tekanan listrik yang tinggi. Namun, dalam operasionalnya, isolator suspensi rentan terhadap berbagai tekanan listrik, mekanis, dan lingkungan yang dapat memicu timbulnya cacat atau kelemahan pada material isolasi.

Salah satu fenomena penting yang mengindikasikan adanya degradasi atau cacat pada sistem isolasi adalah Partial Discharge (PD) atau pelepasan parsial. PD merupakan pelepasan muatan listrik

terlokalisasi yang tidak menjembatani seluruh jarak antar elektroda, melainkan terjadi pada sebagian kecil area isolasi yang mengalami tekanan medan listrik berlebih akibat adanya ketidaksempurnaan seperti rongga udara, kontaminasi permukaan, retakan mikro, atau inklusi material. Meskipun tidak menyebabkan kegagalan isolasi secara langsung, aktivitas PD yang berkelanjutan dapat secara progresif merusak material isolasi, mengurangi kekuatan dielektriknya, dan pada akhirnya memicu kegagalan total (breakdown) peralatan listrik.

Isolator suspensi adalah komponen krusial dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik, terutama untuk saluran udara bertegangan tinggi dan menengah. Desainnya yang modular, terdiri dari beberapa unit piringan yang dirangkai secara seri, memungkinkan fleksibilitas dalam menyesuaikan jumlah unit dengan tingkat tegangan yang berbeda. Rantai isolator ini tidak hanya berfungsi sebagai penyangga mekanis bagi konduktor, tetapi juga sebagai isolasi elektrik yang andal antara kawat bertegangan dan struktur penyangga yang ditanahkan.

Keunggulan utama isolator suspensi terletak pada kemampuannya untuk mengatasi berbagai tantangan operasional. Fleksibilitas rantai mengurangi tekanan mekanis akibat angin dan beban konduktor, sementara desain piringan yang memaksimalkan jarak rambat permukaan efektif mencegah kebocoran arus, terutama dalam kondisi lingkungan yang lembab atau tercemar. Selain itu, kemudahan penggantian unit isolator yang rusak secara individual memberikan efisiensi dalam pemeliharaan dan mengurangi biaya penggantian keseluruhan rangkaian.

Dengan karakteristik-karakteristik tersebut, isolator suspensi menjadi pilihan utama dalam berbagai aplikasi sistem tenaga listrik. Mulai dari saluran transmisi tegangan tinggi yang membentang antar wilayah, hingga saluran distribusi tegangan menengah yang menjangkau area perkotaan dan pedesaan, serta dalam instalasi gardu induk untuk menyangga peralatan bertegangan. Keandalan dan kemampuan adaptasinya terhadap berbagai kondisi menjadikannya komponen vital dalam menyalurkan energi listrik secara aman dan efisien.

Pengujian Partial Discharge pada isolator suspensi, terutama pada tingkat tegangan yang relevan dengan sistem distribusi menengah seperti 20 kV, menjadi sangat penting untuk mengevaluasi kualitas dielektrik isolator sebelum instalasi maupun selama periode pemeliharaan. Tegangan 20 kV merupakan level tegangan yang signifikan di mana cacat kecil dalam isolasi dapat dengan mudah memicu aktivitas PD yang terukur. Karakterisasi PD yang dihasilkan selama pengujian, melalui analisis parameter seperti Partial Discharge Inception Voltage (PDIV), magnitudo muatan, frekuensi repetisi, dan pola fasa (PRPD), memberikan informasi diagnostik yang berharga mengenai jenis, lokasi, dan tingkat keparahan cacat dalam isolator suspensi.

Penelitian dan analisis mendalam mengenai karakteristik PD pada isolator suspensi yang diuji pada tegangan 40 kV memiliki implikasi signifikan terhadap keandalan dan keamanan sistem tenaga listrik. Pemahaman yang komprehensif tentang bagaimana berbagai faktor seperti jenis material isolator (porselen atau kaca), kondisi permukaan, usia, dan tekanan lingkungan mempengaruhi aktivitas PD memungkinkan pengembangan prosedur pengujian yang lebih efektif, interpretasi data yang lebih akurat, dan implementasi strategi pemeliharaan prediktif yang tepat untuk mencegah kegagalan isolator yang tidak terduga dan memastikan kontinuitas pasokan listrik. Makalah ini akan mengkaji secara mendalam fenomena Partial Discharge pada pengujian isolator suspensi dengan tegangan tinggi 40 kV, meliputi metode deteksi, parameter analisis, interpretasi hasil, dan implikasinya terhadap evaluasi kondisi isolator.

kondisi terjadinya PD dalam rongga udara dapat diestimasi menggunakan hukum Paschen, yang menghubungkan tegangan breakdown gas dengan tekanan dan jarak antar elektroda dalam gas tersebut. Analisis pada cacat isolator yang sebenarnya sangat kompleks karena geometri dan sifat cacat yang tidak diketahui dapat dianalisis sebagai berikut :

$$\text{Muatan Partial Discharge; } q = Cc \cdot \Delta V \quad (1)$$

Dimana;

q adalah Muatan picocoulombs

Cc adalah kapasitansi cacat

ΔV adalah Perubahan Tegangan

$$\text{Energi Partial Discharge ; } W \approx 21q \cdot V_{\text{cacat}} \quad (2)$$

Dimana;

V_{cacat} adalah tegangan jatuh pada kapasitansi cacat selama PD.

$$\text{Daya Partial Discharge } P \approx \sum (q_i \cdot V_{\text{aplikasi}} \cdot f) \quad (3)$$

Di mana;

q_i adalah muatan setiap pulsa PD

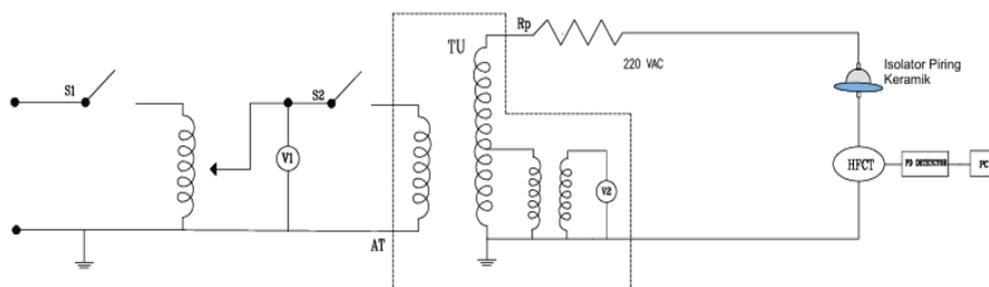
V_{aplikasi} adalah tegangan yang diterapkan

f adalah frekuensi repetisi PD

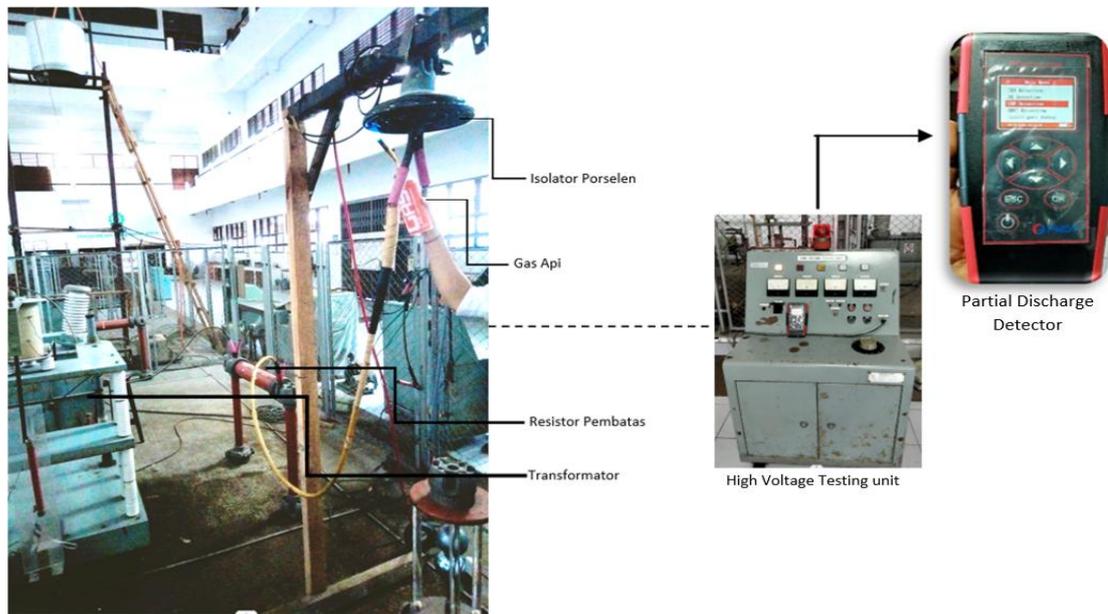
Sifat isolasi porselen sangat dipengaruhi oleh struktur mikro dan kemurniannya. Porselen berkualitas tinggi memiliki struktur kristal yang seragam dan bebas dari rongga atau inklusi yang dapat menjadi titik awal terjadinya Partial Discharge (PD) atau kerusakan dielektrik. Kemampuan porselen untuk menahan berbagai kondisi lingkungan ekstrem, seperti kelembaban tinggi, polusi udara, dan fluktuasi suhu yang drastis, juga menjadi faktor kunci dalam penggunaannya di luar ruangan. Permukaan isolator porselen biasanya dilapisi dengan glasir untuk meningkatkan sifat hidrofobiknya dan mencegah penumpukan kotoran yang dapat mengurangi kinerja isolasinya. Meskipun porselen memiliki banyak keunggulan, ada beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan. Salah satunya adalah sifatnya yang getas (brittle), sehingga rentan terhadap kerusakan mekanis akibat benturan atau vandalisme. Selain itu, berat porselen yang relatif tinggi dibandingkan dengan material isolator modern seperti komposit polimer dapat menjadi tantangan dalam desain dan pemasangan struktur transmisi yang lebih ringan. Proses produksi porselen juga memerlukan suhu tinggi dan waktu yang lama, yang bisa berdampak pada biaya dan efisiensi produksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pelepasan muatan listrik terlokalisasi yang hanya menjembatani sebagian kecil dari isolasi antara dua konduktor. Dengan kata lain, PD tidak menyebabkan kegagalan total isolasi secara langsung, tetapi merupakan indikasi adanya cacat atau kelemahan di dalam atau pada permukaan material isolasi dengan tegangan tinggi dan alat ukur PMDT PDetector Kit 2 Partial Discharge Detector dan sampel isolator porselen tegangan tinggi akan dipasang dan dihubungkan ke sumber tegangan tinggi melalui elektroda. Tegangan AC akan dinaikkan secara bertahap, dan pada tingkat tegangan tertentu, sumber gas api akan diarahkan ke permukaan isolator untuk mensimulasikan kondisi flashover akibat kontaminasi atau faktor lingkungan ekstrem, parameter akan diamati dan diukur.



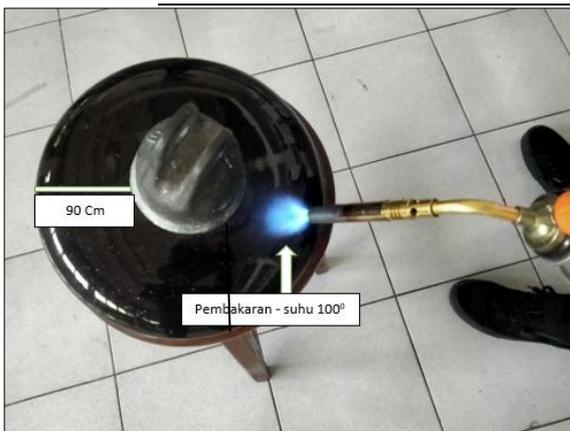
Gambar 1. Rangkaian percobaan



Gambar 2. Pengujian Isolator

Type material Isolator Porselen:

Spesifikasi	Ket/ Nilai
Jenis Isolator	Isolator Suspensi
Material	Porselen
Kekuatan Mekanik & elektrik	15000 LBS
Kekuatan uji tahun	7500 LBS 2024



Gambar 3. (a). Pembakaran Isolator



(b). Ukuran tebal isolator



(c). Kondisi suhu > 100 derajat dan Suhu >30 derajat

HASIL PENELITIAN

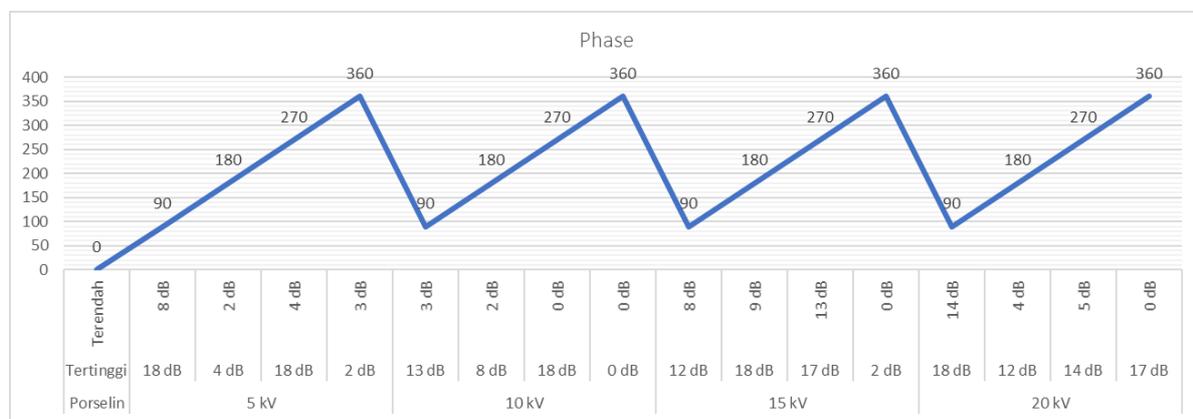
Data pengujian Partial Discharge (PD) pada isolator jenis piring keramik dengan material porselin. Pengujian dilakukan dengan variasi tegangan uji (5 kV, 10 kV, 15 kV, dan 20 kV) pada kondisi pengujian kering dan bersih dengan suhu di atas 30 derajat Celsius, serta frekuensi 50 Hz, mengikuti standar IEC 60270. Data meliputi amplitudo PD dalam satuan desibel (dB), yang dibagi menjadi nilai tertinggi dan terendah, serta fase PD dalam derajat. Dari data amplitudo PD, terlihat bahwa pada setiap tegangan uji, terdapat rentang nilai dB yang cukup bervariasi antara nilai tertinggi dan terendah, menunjukkan dinamika aktivitas PD. Misalnya, pada 5 kV, amplitudo tertinggi mencapai 18 dB sementara terendah 0 dB, kemudian pada 20 kV, amplitudo tertinggi juga 18 dB namun terendah 0 dB. Data fase PD menunjukkan distribusi yang beragam pada setiap tegangan uji, dengan nilai-nilai seperti 90°, 180°, 270°, dan 360°, yang mengindikasikan karakteristik pola PD pada berbagai titik siklus tegangan. Seperti pada tabel 1

Tabel 1. Suhu Pengujian > 30°

Parameter	Unit	Satuan		Phase (°)
Jenis Isolator	Piring Keramik	Amplitudo PD		
Material	Porselin	Tertinggi	Terendah	
Tegangan Uji	5 kV	18 dB	3 dB	90°
		16 dB	8 dB	180°
		14 dB	5 dB	270°
		17 dB	0 dB	360°
	10 kV	17 dB	2 dB	90°
		16 dB	10 dB	180°
		2 dB	4 dB	270°
		16 dB	3 dB	360°
	15 kV	14 dB	12 dB	90°
		18 dB	8 dB	180°
		12 dB	6 dB	270°
		18 dB	2 dB	360°
	20 kV	8 dB	3 dB	90°
		18 dB	3 dB	180°
		17 dB	14 dB	270°
		4 dB	0 dB	360°
Kondisi Pengujian	Kering dan bersih			

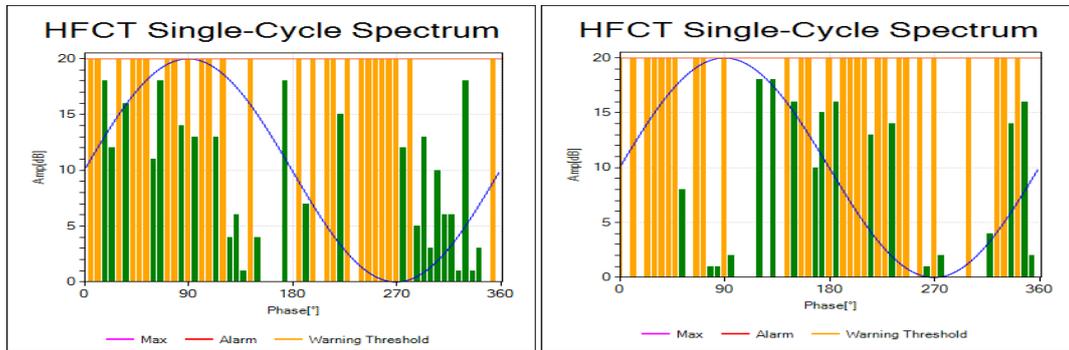
Suhu Pengujian	>30 ^o
Frekuensi	50 Hz

Grafik garis yang menggambarkan hubungan antara amplitudo PD (dalam dB) dan fasenya (dalam derajat) untuk pengujian isolator porselin pada berbagai tegangan uji (5 kV, 10 kV, 15 kV, dan 20 kV). Sumbu X menunjukkan nilai amplitudo PD, baik yang tertinggi maupun terendah, sementara sumbu Y menunjukkan nilai fase PD yang sesuai. Setiap segmen grafik merepresentasikan data dari suatu tegangan uji tertentu, dengan transisi yang jelas antar tegangan uji. Secara spesifik, grafik menunjukkan pola fluktuasi fase PD yang signifikan seiring dengan perubahan amplitudo PD pada setiap tegangan uji. Terlihat bahwa pada amplitudo tertentu, fase PD cenderung berulang atau menunjukkan pola tertentu, misalnya fase 90^o, 180^o, 270^o, dan 360^o seringkali muncul pada berbagai kombinasi amplitudo tertinggi dan terendah. Pola ini dapat memberikan wawasan tentang karakteristik pelepasan parsial dan jenis cacat isolasi yang mungkin terjadi pada material porselin di bawah tekanan tegangan yang berbeda seperti pada gambar 4.

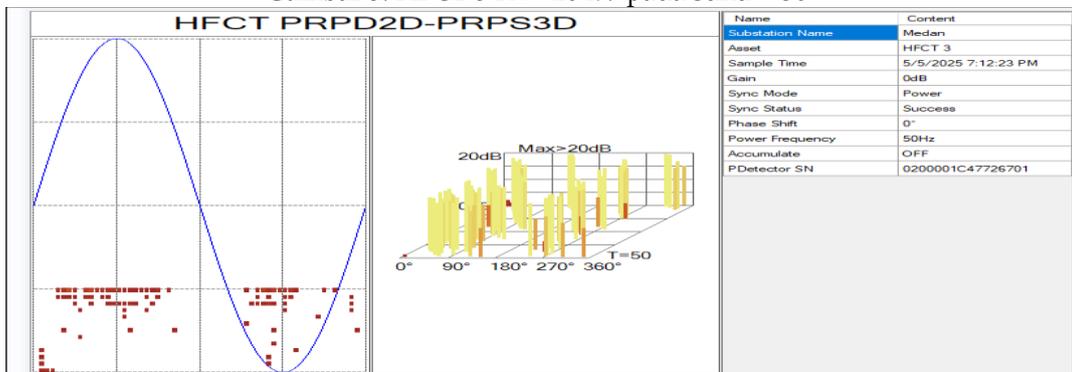


Gambar 4 Grafik hubungan Amplitudo

HFCT Single-Cycle Spectrum yang merupakan representasi visual dari aktivitas Partial Discharge (PD) yang terdeteksi menggunakan metode High Frequency Current Transformer (HFCT) dalam satu siklus gelombang tegangan. Sumbu horizontal (X) menunjukkan fase dalam derajat (dari 0^o hingga 360^o), mewakili posisi PD dalam satu siklus tegangan AC. Sumbu vertikal (Y) menunjukkan amplitudo PD dalam satuan desibel (dB), yang mengindikasikan intensitas atau keparahan pelepasan parsial yang terdeteksi. Pada grafik ini, aktivitas PD ditunjukkan oleh batang-batang vertikal (berwarna hijau dan oranye) yang tersebar di sepanjang fase. Warna oranye menandakan aktivitas PD yang melampaui "Warning Threshold" (garis oranye horizontal tipis), menunjukkan bahwa tingkat PD telah mencapai batas yang memerlukan perhatian. Garis biru yang menyerupai gelombang sinus kemungkinan besar merepresentasikan bentuk gelombang tegangan acuan, membantu dalam mengaitkan aktivitas PD dengan fase tegangan. Adanya garis merah horizontal bertuliskan "Alarm" menunjukkan ambang batas yang lebih tinggi, di mana jika aktivitas PD mencapai level ini, kondisi tersebut dianggap kritis dan memerlukan tindakan segera. terlihat seperti gambar 5 dan 6.



Gambar 5. HFCT 5 Kv - 20 kV pada suhu > 30⁰



Gambar 5. HFCT 2D 5 Kv - 20 kV pada suhu > 30⁰

Tabel 2. Suhu Pengujian >100⁰

Parameter	Unit	Satuan	Phase (°)	
Jenis Isolator	Piring Keramik	Magnitudo PD		
Material	Porselin	Tertinggi	Terendah	
TeganganUji	5 kV	18 dB	8 dB	90 ⁰
		4 dB	2 dB	180 ⁰
		18 dB	4 dB	270 ⁰
		2 dB	3 dB	360 ⁰
	10 kV	13 dB	3 dB	90 ⁰
		8 dB	2 dB	180 ⁰
		18 dB	0 dB	270 ⁰
		0 dB	0 dB	360 ⁰
	15 kV	12 dB	8 dB	90 ⁰
		18 dB	9 dB	180 ⁰
		17 dB	13 dB	270 ⁰
		2 dB	0 dB	360 ⁰
20 kV	18 dB	14 dB	90 ⁰	
	12 dB	4 dB	180 ⁰	
	14 dB	5 dB	270 ⁰	
	17 dB	0 dB	360 ⁰	
Kondisi Pengujian	Kering dan bersih			
Suhu Pengujian	>100 ⁰			
Frekuensi	50 Hz			

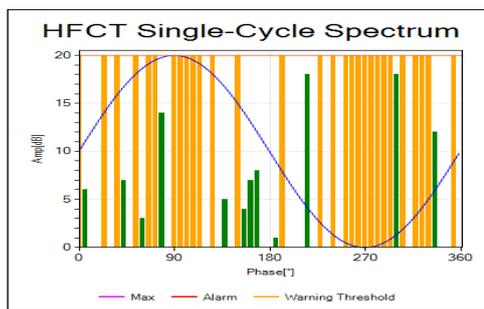
Adanya pola berulang dalam nilai fase (90⁰, 180⁰, 270⁰, 360⁰) yang muncul pada berbagai kombinasi amplitudo dan tegangan uji. Fluktuasi fase ini mencerminkan karakteristik pelepasan parsial dalam satu

siklus gelombang tegangan. Sebagai contoh, pada 5 kV, fase meningkat dari 90° ke 360° seiring dengan perubahan amplitudo. Pola serupa juga diamati pada 10 kV dan 15 kV, menunjukkan konsistensi dalam respons fase terhadap pelepasan. Namun, pada 20 kV, meskipun beberapa pola fase berulang, terdapat perubahan yang lebih drastis, seperti penurunan fase dari 360° kembali ke 90°. Seperti gambar 7.

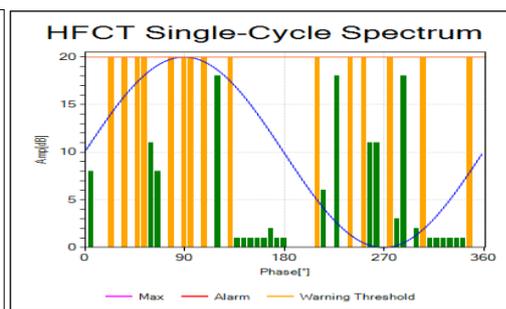


Gambar 6. Grafik hubungan Amplitudo

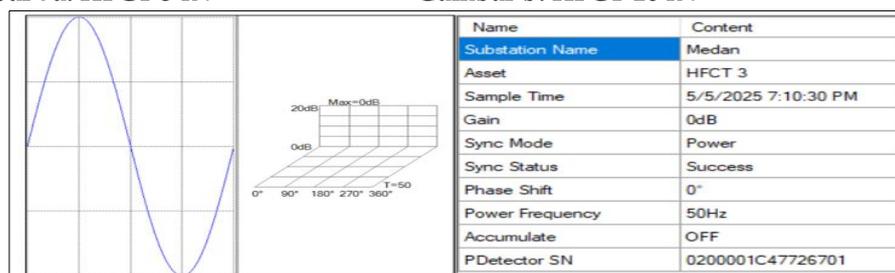
HFCT Single-Cycle Spectrum sebuah visualisasi aktivitas Partial Discharge (PD) yang terdeteksi dalam satu siklus gelombang tegangan menggunakan metode High Frequency Current Transformer (HFCT). Sumbu horizontal (X) menunjukkan fase dalam derajat (dari 0° hingga 360°), yang menggambarkan posisi kemunculan PD relatif terhadap siklus tegangan AC. Sumbu vertikal (Y) merepresentasikan amplitudo PD dalam satuan desibel (dB), menunjukkan intensitas dari setiap peristiwa pelepasan. Grafik ini memberikan gambaran komprehensif tentang distribusi PD sepanjang satu siklus tegangan, yang sangat penting untuk analisis diagnostik. Pada grafik, aktivitas PD ditandai oleh batang-batang vertikal yang tersebar di berbagai fase. Batang-batang berwarna hijau menunjukkan aktivitas PD, sementara batang berwarna oranye menunjukkan PD yang telah melampaui ambang batas peringatan, yang digambarkan oleh garis oranye horizontal. Kehadiran banyak batang oranye, terutama di puncak positif dan negatif dari gelombang tegangan sinus (garis biru), mengindikasikan aktivitas PD yang signifikan dan berpotensi bermasalah. identifikasi kapan PD terjadi relatif terhadap puncak dan lembah tegangan seperti gambar 8.



Gambar 7a. HFCT 5 kV



Gambar b. HFCT 10 kV



Gambar 8. HFCT 2D 5 Kv - 20 kV pada suhu > 100°

PEMBAHASAN

Penelitian ini secara komprehensif mengkaji karakteristik Partial Discharge (PD) pada isolator piring keramik berbahan porselen di bawah variasi tegangan uji (5 kV, 10 kV, 15 kV, dan 20 kV), dengan fokus pada amplitudo dan fase PD. Analisis data mengungkapkan adanya pola fase PD yang konsisten dan berulang pada 90°, 180°, 270°, dan 360° di sebagian besar kondisi tegangan dan amplitudo yang diuji. Pola ini menunjukkan dinamika aktivitas pelepasan parsial dalam satu siklus gelombang tegangan, yang mencerminkan perilaku cacat isolasi internal atau permukaan pada material porselen. Meskipun amplitudo PD menunjukkan fluktuasi antara nilai tertinggi dan terendah pada setiap tingkat tegangan, konsistensi pola fase PD menunjukkan bahwa sifat dasar pelepasan parsial tetap dipertahankan. Temuan ini memberikan wawasan penting tentang kondisi isolasi material porselen di bawah tekanan listrik yang berbeda, dan dapat menjadi dasar untuk pengembangan metode diagnostik yang lebih baik dalam memprediksi kegagalan isolasi pada sistem tenaga listrik.

PENUTUP

Penelitian ini telah berhasil melakukan karakterisasi partial discharge (PD) pada pengujian isolator keramik menggunakan metode High-Frequency Current Transformer (HFCT). Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa HFCT efektif untuk mendeteksi dan menganalisis fenomena partial discharge yang terjadi pada isolator keramik. Teknik ini memberikan informasi yang berguna mengenai kondisi isolasi, sehingga dapat meningkatkan pemahaman dalam proses pemeliharaan dan pengujian isolator.

Adapun hasil analisis menunjukkan bahwa variasi kondisi pengujian, seperti tegangan dan frekuensi, memiliki pengaruh signifikan terhadap munculnya partial discharge pada isolator keramik. Dalam pengujian ini, parameter-parameter yang diperoleh memberikan indikasi penting tentang usia dan kinerja isolator, serta potensi kegagalan pada sistem kelistrikan.

Dengan demikian, penggunaan metode HFCT dalam karakterisasi PD pada isolator keramik memberikan kontribusi yang penting dalam pengembangan teknologi diagnostik untuk sistem kelistrikan. Penelitian lebih lanjut diharapkan dapat mengeksplorasi lebih dalam tentang hubungan antara berbagai faktor eksternal dan perilaku partial discharge, serta penerapannya dalam pemeliharaan preventif dan peningkatan kualitas isolator keramik di industri kelistrikan.

REFERENSI

- [1] Md Rashid Hussain, Shady S. Refaat; Haitham Abu-Rub, " Overview and Partial Discharge Analysis of Power Transformers: A Literature Review " DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3075288 .
- [2] M. A. Taher, Mohamad ariff Othman, Hazlee Azil Illias, Tarik Abdul Latef, Tengku Faiz Tengku Mohmed Noor Izam, S. M. Kayser Azam, "Conformal and Flexible Antennas in Ultra-High Frequencies: Prospects and Challenges for Partial Discharge Diagnostics" DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3529128
- [3] Ahmed S. Haiba & A. Eliwa Gad "Artificial neural network analysis for classification of defected high voltage ceramic insulators" Scientific Reports, 2024
- [4] Hussain, M. R., Refaat, S. S. & Abu-Rub, H. Overview and partial discharge analysis of power transformers: a literature review. IEEE Access 9, 64587–64605 (2021)
- [5] Mantach, S. et al. Deep learning in high voltage engineering: a literature review. Energies 15. <https://doi.org/10.3390/en15145005> (2022).
- [6] Ilkhechi, H. D. & Samimi, M. H. Applications of the Acoustic Method in Partial Discharge Measurement: A Review. IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. 28, (2021).
- [7] Sampedro, C., Rodriguez-Vazquez, J., Rodriguez-Ramos, A., Carrio, A. & Campoy, P. Deep learning-based system for automatic recognition and diagnosis of electrical insulator strings. IEEE Access 7, (2019).
- [8] Farshad, M. Detection and classification of internal faults in bipolar HVDC transmission lines

- based on K-means data description method. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 104, 615–625 (2019).
- [9] Mahdjoubi, A., Zegnini, B., Belkheiri, M. & Seghier, T. Fixed least squares support vector machines for flashover modelling of outdoor insulators. *Electr. Power Syst. Res.* 173, 29–37 (2019).
- [10] Sinaga, H. H., Phung, B. T. & Blackburn, T. R. Recognition of single and multiple partial discharge sources in transformers based on ultra-high frequency signals. *IET Gener. Transm. Distrib.* 8, (2014)..
- [11] Anjum, S., Jayaram, S., El-Hag, A. & Jahromi, A. N. Detection and classification of defects in ceramic insulators using RF antenna. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 24, (2017).
- [12] Ma, H., Chan, J., Saha, T. K. & Ekanayake, C. Pattern recognition techniques and their applications for automatic classification of artificial partial discharge sources. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 20, (2013).