



# JIPTEK: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik dan Kejuruan

Jurnal Homepage: <https://jurnal.uns.ac.id/jptk>

## Pendeteksian dan Identifikasi Jenis *Partial Discharge* dengan Metode Analisa Pola *Phase Resolved Partial Discharge* (PRPD)

Ricky Supriadi Sipahutar<sup>1</sup>, Herman Halomoan Sinaga<sup>2</sup>, Nining Purwasih<sup>3</sup>, Diah Permata<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Indonesia

Email: [rickysipahutar12@gmail.com](mailto:rickysipahutar12@gmail.com)

### ABSTRAK

Energi listrik merupakan energi yang paling utama digunakan oleh masyarakat. Permasalahan yang timbul dalam proses penyaluran energi listrik harus dihindari salah satunya adalah kegagalan isolasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya *partial discharge* di dalam isolator transformator dan menganalisis jenis-jenis *partial discharge* dengan metode analisis pola *Phase Resolved Partial Discharge* (PRPD). *Partial discharge* dideteksi dengan menggunakan sensor *fractal Hilbert* dan output dari sinyal yang direkam ditampilkan oleh *spectrum analyzer*. Hasil penelitian menunjukkan setiap *partial discharge* memiliki karakteristik yang berbeda-beda, yaitu karakteristik sinyal pada pengujian *corona* 3 kV diperoleh lebar fasa peluahan korona adalah 0°. Karakteristik *partial discharge surface* adalah pola ritas positif memiliki lebar *phase* yang lebih besar dari polaritas negatif. Pada penelitian lebar *phase* peluahan rata-rata di polaritas positif adalah 53° dan di polaritas negatif 29°. Karakteristik *partial discharge void* adalah pada polaritas negatif memiliki besar sudut peluahan yang lebih besar dari polaritas positif. Pada polaritas positif lebar fasa peluahan rata-rata adalah sebesar 25° dan polaritas negatif adalah 52°. Metode PRPD dapat digunakan untuk pengenalan sinyal *partial discharge* di dalam isolasi transformator.

**Kata kunci:** PRPD, *fractal Hilbert*, lebar *phase*

### ABSTRACT

*Electrical energy is the main energy used by society. Problems that arise in the process of distributing electrical energy must be avoided, one of which is insulation failure. This study aims to determine the presence of partial discharge in the transformer insulator and to analyze the types of partial discharges using the Phase Resolved Partial Discharge (PRPD) pattern analysis method. Partial discharge is detected using a Hilbert fractal sensor and the output of the recorded signal is displayed by a spectrum analyzer. The results show that each partial discharge has different characteristics, namely the signal characteristics in the 3 kV corona test, the phase width of the corona discharge is 0°. The characteristic of the partial discharge surface is that the positive polarity pattern has a larger phase width than the negative polarity. In this study, the average discharge phase width at positive polarity is 53° and at negative polarity 29°. The characteristic of partial discharge voids is that the negative polarity has a larger discharge angle than the positive polarity. A positive polarity the average discharge phase width is 25° and negative polarity is 52°. PRPD method can be used for partial discharge signal recognition in transformer isolation.*

**Keywords:** PRPD, *fractal Hilbert*, phase width

## PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan energi yang paling utama digunakan oleh masyarakat. Energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik memiliki jarak yang jauh dari konsumen, sehingga diperlukan sistem transmisi tegangan tinggi untuk menjangkau seluruh konsumen. Sistem tegangan tinggi memiliki komponen utama yaitu *arrester*, *disconnecting switch*, trafo arus, trafo tegangan, trafo daya dan saluran transmisi. Komponen paling utama dalam transmisi ini adalah transformator daya, dimana fungsi dari transformator ini adalah menaikkan atau menurunkan tegangan listrik. Transformator akan selalu beroperasi selama transmisi listrik berlangsung.

Transformator memiliki komponen utama yaitu, *box* transformator, belitan, isolasi dalam transformator dan *bushing*. Komponen transformator yang sering mengalami kerusakan adalah isolasi transformator yang mengakibatkan kegagalan isolasi pada trafo. Menurut penelitian yang dilakukan oleh M.D.Judd dari University of Strathclyde pada tahun 2005 (*Partial Discharge Monitoring for Power Transformers Using UHF Sensors Part 2: Field Experience*), mengatakan bahwa kegagalan isolasi dapat terjadi karena faktor internal yaitu adanya aktivitas *partial discharge* pada transformator. Aktivitas *partial discharge* yang terjadi secara terus menerus dapat mengakibatkan breakdown pada isolasi transformator. Kerusakan ini dapat berakibat fatal yaitu mengakibatkan kebakaran pada transformator.

Untuk menanggulangi adanya kegagalan isolasi transformator, maka perlu dilakukan pendeteksian aktivitas *partial discharge*. Aktivitas *partial discharge* yang terjadi di dalam

transformator tidak dapat terlihat oleh mata, sehingga dibutuhkan alat untuk mendeteksi adanya aktivitas *partial discharge* di dalam transformator. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Frederick, H. Kreuger dari Delft University Press pada tahun 1991 (Industrial High Voltage), pendeteksian *partial discharge* dapat dilakukan dengan cara pendeteksian konvensional dan non-konvensional. Pendeteksian konvensional adalah pendeteksian dengan menggunakan metode IEC 60270, sementara metode non-konvensional adalah pendeteksian PD tanpa mengikuti metode IEC 60270. Metode non-konvensional terdiri dari 3 metode yaitu elektromagnetik, suara dan cahaya, pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode non-konvensional dengan pendeteksian menggunakan sensor elektromagnetik. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi adanya aktivitas *partial discharge* dan jenis *partial discharge* dengan variabel jarak dan menganalisis pola yang dihasilkan sensor metode analisis pola *phase* peluahan.

### Penelitian terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu sudah dilakukan untuk pendeteksian *partial discharge* dengan menggunakan sensor Hilbert dan pengenalan *partial discharge* adalah sebagai berikut

Penelitian tentang sensor fraktal Hilbert dilakukan oleh K.J. Vinoy pada tahun 2000 dari The Pennsylvania State University dengan judul "*Hilbert Curve Fractal Antenna: A Small Resonant Antenna For VHF / UHF Applications*". Pada penelitian ini menggunakan sensor Hilbert dengan orde 3, dimensi 7 cm x 7 cm dan lebar kawat penghantar adalah 4 mm.

Dari penelitian ini diperoleh pengaruh sifat *self-similarity* dan *plane-filling* dari kurva Hilbert *fractal*. Karakteristik antenna dianalisis secara numerik menggunakan perangkat lunak berbasis metode momen, dan karakteristik *input* yang diprediksi kemudian dibandingkan dengan data eksperimen. Hasil yang diperoleh menunjukkan hubungan antara *self-similarity* dari geometri antenna dan respons frekuensinya. Keuntungan lain yang penting dari menggunakan kurva Hilbert adalah penggabungan karakteristik *plane-filling* untuk membuat antenna resonansi dengan ukuran fisik keseluruhan yang lebih kecil. Geometri kurva Hilbert *fractal* iterasi keempat yang berbentuk bujur sangkar dengan sisi 7 cm, menghasilkan frekuensi resonansi 267 MHz, yang jauh lebih rendah daripada antenna resonansi lainnya dengan ukuran yang sama (K. J. Vinoy, 2000, pp. 215-219).

Penelitian tentang sensor *fractal* Hilbert juga dilakukan oleh Mustafa M.O. Harbaji pada tahun 2016 dengan judul “*Design of Hilbert Fractal Antenna for Partial Discharge Classification in Oil-Paper Insulated System*”. Pada penelitian ini membahas tentang desain sensor Hilbert untuk klasifikasi peluahan sebagian di sistem isolasi *oil-paper*. Pada penelitian ini sensor Hilbert memiliki spesifikasi yaitu menggunakan Order 4, dimensi (L= 100 mm) dan diameter konduktor (b= 2 mm). Dari penelitian ini diperoleh bahwa sensor dapat mendeteksi peluahan pada isolasi *oil-paper* dengan jenis korona, *surface* dan *void*, kemudian pengenalan sinyal peluahan adalah dengan menggunakan ANN dan KNN dengan akurasi yang lebih besar untuk pengenalan peluahan adalah KNN (M.O harbaji, 2016 pp. 1-10).

Penelitian tentang sensor *fractal* Hilbert juga dilakukan oleh Jian li pada tahun 2013 yang berjudul “*Hilbert Fractal Antenna for UHF Detection of Partial Discharges in Transformers*”. Pada penelitian ini menggunakan sensor Hilbert dengan spesifikasi dengan menggunakan orde 4, dimensi (L= 10cm) dan lebar konduktor adalah 1,5 mm. Dari penelitian ini diperoleh bahwa pita frekuensi dari antenna fraktal Hilbert yang dikembangkan adalah sekitar beberapa ratus MHz dan memenuhi persyaratan pemantauan *online* UHF PD. Eksperimen PD sebenarnya dilakukan untuk memverifikasi kinerja antenna untuk dua cacat kertas minyak buatan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa antenna *fractal* Hilbert yang diusulkan dapat diterapkan secara efektif untuk pemantauan transformator UHF PD *online*. Model simulasi deteksi PD UHF dalam tangki transformator dikembangkan dengan menggunakan metode FDTD. Hasil simulasi menunjukkan bahwa gelombang elektromagnetik UHF PD hampir tidak melewati inti transformator dan belitan setelah belitan cukup besar ( J.li, T. Jiang, C. Cheng, 2013, pp. 2017-2025)

Penelitian tentang sensor *fractal* Hilbert juga dilakukan oleh H.H Sinaga pada tahun 2019 yang berjudul “*Fractal Hilbert Sensor to Detect Partial Discharge on Transformer*”. Pada penelitian ini menggunakan sensor Hilbert yang memiliki spesifikasi dimensi 5 cm x 5 cm, orde ke-4 dan memiliki lebar konduktor 3 mm. Pada penelitian ini diperoleh bahwa Sensor *fractal* Hilbert yang dirancang memiliki sensitivitas tinggi dengan redaman sebesar 10 dB. Sensor juga mampu menangkap sinyal PD yang dihasilkan oleh sumber peluahan *void* (H.H

Sinaga, H.B.H Sitorus, D. Permata, N. Soedjarwo, 2019, pp. 95-100).

Penelitian mengenai pengenalan sinyal *partial discharge* dilakukan oleh Luqvi Rizki Syahputra pada tahun 2014 dengan judul “Pendeteksian Beragam Sumber Peluahan Sebagian dengan Menggunakan Metode Elektromagnetik”. Pada penelitian ini, pendeteksian *partial discharge* menggunakan sensor Ultra High Frekuensi (UHF). Sampel yang digunakan adalah korona, PD *surface* dan PD *void*. Setelah dilakukan pengukuran PD, pengenalan dilakukan dengan menganalisis output sinyal pada *software* MATLAB. Analisis bentuk sinyal dilakukan dengan membandingkan sinyal peluahan dengan parameter magnitudo, durasi sinyal dan frekuensi peluahan (Luqvi Rizki Syahputra, H.H Sinaga, Yul Martin, 2014, pp. 152-161).

Metode pengenalan yang digunakan memiliki keuntungan yaitu analisis yang dilakukan lebih mudah, karena hanya menggunakan *software* MATLAB dan bentuk sinyal yang dihasilkan relatif berbeda, sehingga pengenalannya dapat lebih mudah. Sedangkan kekurangan metode ini adalah akurasi yang diperoleh dalam penentuan jenis PD belum maksimal karena masih terdapat *noise* walaupun sudah dilakukan *threshold*, dan perlu dilakukan pemisahan antara *noise* dan sinyal asli dengan menggunakan *artificial intelligence*.

Penelitian terkait dengan pengenalan *partial discharge* dilakukan oleh Wang Yongqiang pada tahun 2016 dengan judul “*UHF Moore fractal antennae for on-line GIS PD detection*”. Pada penelitian ini pendeteksian PD dilakukan dengan menggunakan pendeteksian

medan elektromagnetik dengan sensor *Moore fractal* dengan pembanding yang digunakan adalah sensor *fractal* Hilbert. Pada penelitian ini pengenalan *partial discharge* yang digunakan adalah membandingkan hasil simulasi dengan *software* simulasi ANSYS HFSS 15.0 ( W. Yongqiang, W. Zhuang, Li Jianfang, 2016, pp. 1-4)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Bachtiar Antonov pada tahun 2018 dengan judul “*Partial Discharge Analysis on Isolator of Transformer*”. Pada penelitian ini membandingkan metode pendeteksian PD dengan menggunakan DGA dan sensor akustik. Pengenalan *partial discharge* yang digunakan pada metode pendeteksian DGA adalah menggunakan DGA *tools*. Pengenalan *partial discharge* dengan sensor akustik menggunakan *software* PowerPD TP500A. Output masing-masing sensor akan masuk ke laptop untuk dapat dilakukan pengenalan menggunakan *software* (B. Antonov, Thomas, 2018, pp. 1-4). Kelebihan dari metode ini adalah penggunaannya yang relatif mudah, yaitu data yang diperoleh langsung dianalisis oleh *software*, sedangkan kekurangannya metode ini adalah pengambilan data yang digunakan harus menggunakan alat DGA dan laptop yang memadai untuk mengunduh *software* DGA *tools* dan PowerPD TP500A.

Penelitian terkait mengenai pengenalan *partial discharge* juga dilakukan oleh Andi Junaidi pada tahun 2021 dengan judul “Analisis RC Detector Sebagai Sensor *Partial Discharge*”. Pada penelitian ini pendeteksian PD yang digunakan adalah RC detektor sebanyak 2 buah dan membandingkan hasil pengujian dengan sensor HFCT (*High Frekuensi Current*

*Transformer*). Pengenalan *partial discharge* yang digunakan adalah dengan menggunakan pengenalan pola *phase* peluahan ( Andi Junaidi, 2021, pp. 202-207).

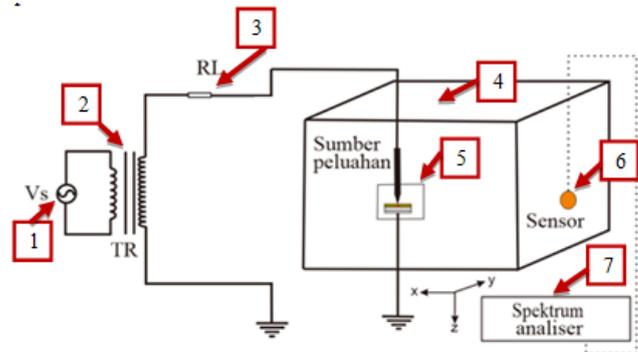
## METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengidentifikasi adanya sinyal *partial discharge* dengan menggunakan sensor Hilbert. *Partial discharge* dibangkitkan oleh PD *source*, dengan sampel *partial discharge* yang digunakan adalah jenis *partial discharge* yaitu *corona*, *surface* dan *void*. Perbedaan sampel ini digunakan untuk melihat perubahan pola yang direkam sensor untuk setiap sampelnya. Pada penelitian ini juga menggunakan variabel jarak untuk melihat pengaruh jarak antara sensor dengan sumber peluahan terhadap pola dan amplitudo yang dihasilkan oleh sensor.

Prosedur penelitian ini dimulai dari studi literatur, pemodelan dan pembuatan PD *source*, merangkai peralatan pembangkitan tegangan tinggi dan *partial discharge*, pengumpulan data dan menganalisis data. Langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur, yang bertujuan untuk mencari penelitian terdahulu tentang pendeteksian *partial discharge* dengan sensor elektromagnetik dan metode analisis Pola *Phase Resolved Partial Discharge* (PRPD).

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah membuat model pengujian dan pembuatan komponen pengujian. Model pengujian ini merupakan rangkaian pengujian yang bertujuan untuk membangkitkan *partial discharge* dan pendeteksian *partial discharge* oleh sensor. *Partial discharge* dibangkitkan dengan menggunakan tegangan tinggi, sehingga

transformator tegangan tinggi dan komponen pendukung lainnya menjadi komponen utama dalam pembangkitan sinyal peluahan ini. Model pengujian pada penelitian ini dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model pengujian

Keterangan:

1. Power supply AC 220V/5 A
2. Transformator 20 kV
3. Resistor 100 kOhm
4. Model tangki transformator
5. Sumber PD
6. Sensor *Fractal* Hilbert
7. Spektrum *analiser*

Komponen-komponen ini memiliki fungsi yang berbeda-beda, dimana *power supply* AC 220V/5A merupakan sumber tegangan untuk membangkitkan tegangan tinggi. *Power supply* ini bersumber dari listrik PLN.

Komponen berikutnya adalah transformator 20kV yang bermanfaat untuk membangkitkan tegangan tinggi, tegangan ini mengubah tegangan 220V menjadi 20kV. Transformator yang digunakan adalah transformator tegangan sehingga arus yang dibangkitkan transformator kecil. *Voltage* regulator digunakan untuk mengatur tegangan input transformator, hal ini berguna untuk membangkitkan tegangan yang berbeda-beda dengan mengatur tegangan *output* trafo.

Komponen berikutnya adalah resistor 100 kOhm yang digunakan untuk mengurangi arus, sehingga arus yang masuk ke sumber *partial discharge* lebih kecil.

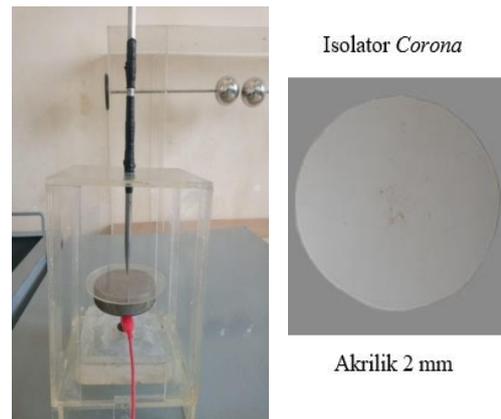
Model tangki transformator dibuat untuk memodelkan tangki transformator dengan dimensi yang lebih kecil yaitu dengan ukuran panjang = 1 m, lebar = 0,8 m dan tinggi = 1 m. Tangki transformator juga bertujuan untuk meredam *noise* yang terjadi selama pengujian karena PD *source* dan sensor Hilbert dimasukkan ke dalam tangki transformator. Berikut merupakan gambar model tangki transformator:



Gambar 2. Model Tangki Transformator

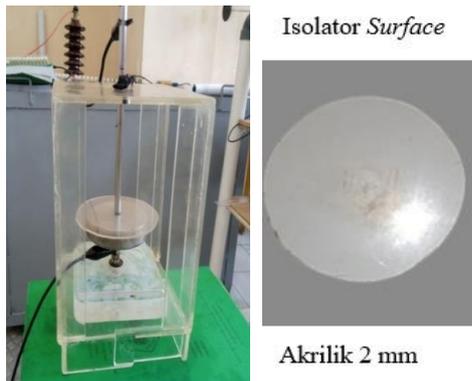
Komponen berikutnya adalah sumber PD yang merupakan komponen utama untuk pengujian ini, dimana sampel *partial discharge* yang dibangkitkan merupakan sinyal yang akan dideteksi sensor Hilbert. Sinyal *partial discharge* dibangkitkan dengan menggunakan tegangan tinggi yang dibangkitkan oleh transformator. Sumber *partial discharge* terdiri dari 3 jenis yaitu, PD source *corona*, *surface* dan *void*. PD source *corona* terjadi pada permukaan runcing di transformator, seperti belitan atau logam runcing lainnya yang dialiri tegangan tinggi. Sehingga pemodelan sumber *partial discharge* dibangkitkan dengan membuat elektroda batang

dengan permukaan runcing dan elektroda plat dengan dibatasi isolator udara dengan jarak 5 mm dan isolator korona. Pada elektroda batang terhubung ke sumber tegangan tinggi dan elektroda plat terhubung ke *ground*. Pada penelitian sebelumnya, *corona* mulai muncul pada tegangan 3 kV. Berikut merupakan gambar PD *source* dan isolator *corona*:



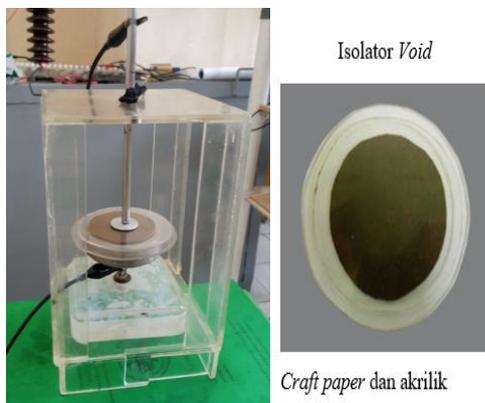
Gambar 3. PD *Source* dan Isolator *Corona*

*Partial discharge surface* merupakan peluahan yang terjadi pada permukaan isolator tagangan tinggi, sehingga pemodelan PD *source surface* dibuat agar PD dapat terjadi pada permukaan isolator. PD *source* yang digunakan memiliki komponen yang sama, namun yang membedakan adalah posisi dari elektroda batang dan isolator peluahan. Pada elektroda batang PD *source corona* bagian runcing menghadap ke bawah dan menjadi sumber terjadinya *corona*, sementara PD *surface* bagian elektroda yang menjadi sumber peluahan adalah permukaan yang datar. Berikut merupakan gambar PD *source surface* dan isolator peluahan;



Gambar 4. PD *source* dan isolator *surface*.

*Partial discharge void* adalah peluahan yang muncul pada rongga udara isolator, terutama pada isolasi minyak. Untuk memodelkan rongga trafo maka dibuat isolator berlapis dengan material akrilik dan *craft paper*. Isolator ini terdiri dari 3 lapis yaitu bagian atas dan bagian bawah terdiri dari akrilik dan bagian tengah terbuat dari *craft paper* berongga dengan diameter 2 mm. Berikut merupakan gambar PD *source void* ;



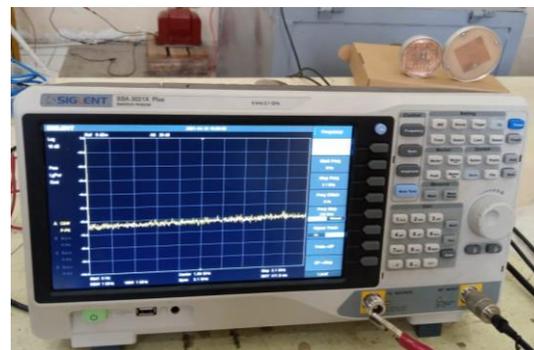
Gambar 5. PD *Source Void* Dan Isolator Pembatas

Sensor Hilbert berfungsi untuk mendeteksi sinyal *partial discharge*. Sensor ini merupakan antena *micro-strip* dengan konduktor berbentuk *fractal* orde ke-4 dengan dimensi 5 cm x 5 cm dan diameter sensor adalah 10 cm. Berikut merupakan gambar sensor Hilbert.



Gambar 6. Sensor Hilbert

Komponen selanjutnya adalah spektrum *analiser* yang berfungsi untuk menampilkan sinyal yang direkam oleh sensor Hilbert. Spektrum *analiser* ini membantu untuk mengidentifikasi karakteristik sinyal peluahan yang direkam oleh sensor. Spektrum *analiser* menampilkan sinyal mulai dari 9 kHz – 2,1 GHz. Berikut merupakan gambar spektrum *analiser*:

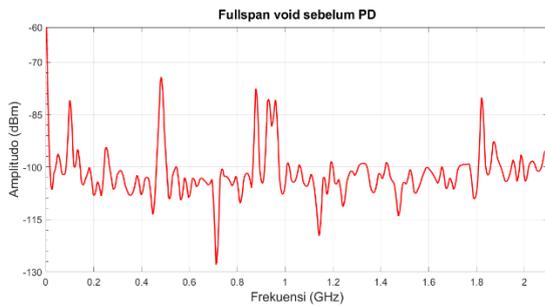


Gambar 7. Spektrum *Analiser*

### Pengujian alat

Semua peralatan disusun sesuai dengan model pengujian pada Gambar 1 untuk melakukan pengujian dan pengambilan data. setelah dilakukan pengambilan data. Pengambilan data dilakukan dengan mendeteksi adanya *partial discharge* sebelum dan sesudah *partial discharge*. Sensor akan merekam semua sinyal sebelum terjadi peluahan atau sebelum PD *source* aktif, kemudian membandingkannya dengan hasil sinyal yang direkam sensor ketika

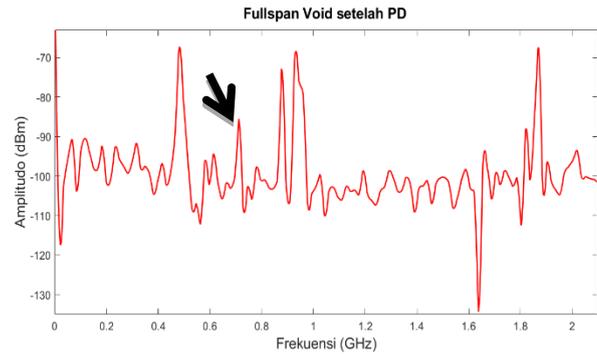
adanya *partial discharge*. Saat pengambilan data ini spektrum *analiser* dibuat dalam mode fullspan, artinya spektrum *analiser* menunjukkan semua sinyal yang direkam sensor mulai dari 0 Hz-2,1 GHz. Berikut merupakan contoh sinyal *fullspan* sebelum adanya *partial discharge*.



Gambar 8. Fullspan Sebelum PD Source Aktif

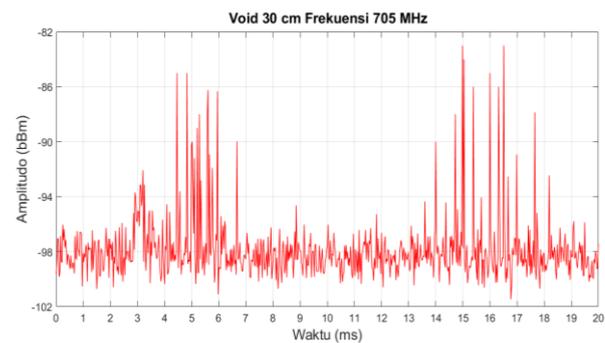
Berdasarkan gambar diatas, sumbu x adalah Frekuensi peluahan (GHz) dan sumbu y adalah Amplitudo peluahan (dBm). Garis merah pada gambar diatas menunjukkan sinyal-sinyal yang direkam sensor di semua frekuensi dengan amplitudo yang berbeda-beda. Walaupun PD *source* belum diaktifkan, namun sensor dapat merekam semua medan elektromagnetik di sekitar pengujian, contohnya sinyal yang berasal dari laptop, *smartphone* dan juga *noise*.

Langkah selanjutnya yang dilakukan dalam pengambilan data ini adalah mengaktifkan PD *source* dengan menaikkan tegangan secara perlahan sampai PD muncul. Sinyal PD yang muncul ditandai dengan perubahan bentuk sinyal fullspan pada spektrum *analiser*. Berikut merupakan gambar perubahan sinyal *fullspan*:



Gambar 9. Fullspan Setelah PD

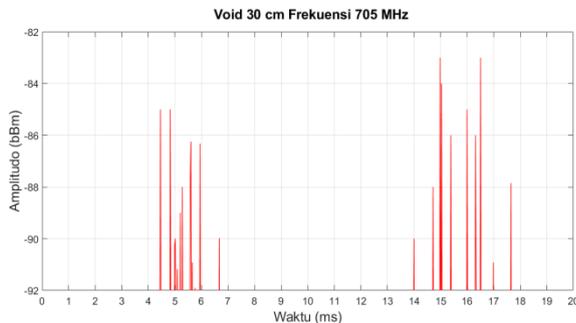
Berdasarkan gambar diatas, tanda panah pada gambar diatas menunjukkan adanya perubahan bentuk sinyal *fullspan* setelah adanya PD. Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah mencari besar frekuensi peluahan dengan menekan tombol *marker* pada spektrum. Selanjutnya sinyal dibuat dalam bentuk zerospan atau *Phase Resolved Partial Discharge (PRPD)*, artinya sinyal yang ditunjukkan pada spektrum hanya pada frekuensi yang telah di dapat sebetulnya. Pada contoh diatas frekuensi yang didapat adalah sebesar 765 MHz. Berikut merupakan sinyal *zerospan* pada frekuensi 765 MHz.



Gambar 10. Zero-Span Sinyal PD Void

Sinyal peluahan ini kemudian diidentifikasi agar karakteristik sinyal dapat diketahui, namun hal yang pertama dilakukan adalah membuang *noise* yang direkam sinyal. *Noise* adalah yaitu sinyal yang direkam oleh sensor selama peluahan tetapi bukan sinyal

peluahan. Sinyal *noise* ini di buang atau di *threshold* dengan menggunakan *software* MATLAB. Berikut merupakan sinyal peluahan setelah *dithreshold*;



Gambar 11. Zero-Span Setelah *Threshold*.

Sinyal yang diperoleh ini kemudian diidentifikasi untuk mengetahui parameter dan karakteristik sinyal. Pada sumbu x menunjukkan waktu peluahan yang dapat dikonversikan ke dalam satuan sudut dan sumbu y adalah amplitudo peluahan. Parameter sinyal yang perlu diketahui adalah sudut *phase*, lebar fasa dan amplitudo peluahan. Besar sudut peluahan dalam satuan waktu (ms) dikonversi dalam satuan derajat menggunakan persamaan 1 berikut;

$$\text{sudut peluahan} = \frac{360}{20} \times \text{sudut peluahan} \dots (1)$$

Lebar *phase* peluahan dapat diketahui dengan persamaan 2 berikut;

$$\text{Lebar fasa} = \text{sudut peluahan akhir} - \text{sudut peluahan awal} \dots (2)$$

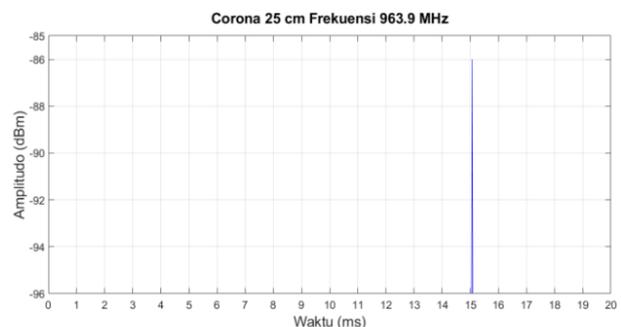
Untuk mengetahui besar amplitudo peluahan dalam satuan Watt maka nilai amplitudo satuan dBm dikonversi terlebih dahulu kedalam satuan watt, dengan persamaan 3 berikut;

$$P = 10^{\left(\frac{dBm-30}{10}\right)} \dots (3)$$

Berdasarkan persamaan (1), (2), dan (3) maka diperoleh bahwa peluahan terjadi pada polaritas positif dan polaritas negatif, pada polaritas positif lebar *phase* peluahan adalah 39,6° dan pada polaritas negatif sebesar 64,8°.

## HASIL PENELITIAN

Tahapan selanjutnya adalah pengenalan sinyal berdasarkan karakteristik yang diperoleh dari pengujian. Berdasarkan penelitian, diperoleh sinyal peluahan korona dihasilkan pada tegangan 3 kV dengan bentuk sinyal *zero-span corona* adalah sebagai berikut;



Gambar 12. *Corona* 3 Kv Denga Jarak 25 Cm, Frekuensi 963.9 Mhz

Gambar 12 merupakan salah satu contoh sinyal peluahan korona, dengan peluahan hanya terjadi satu kali saja. Dengan menggunakan persamaan 1, 2 dan 3 maka gambar diatas dapat diketahui peluahan terjadi pada waktu ke-15 ms atau 270°. Lebar *phase* peluahan adalah 0°. Besar amplitudo peluahan adalah 2,259 pW. Berikut merupakan data hasil pengujian sampel korona 3 kV dengan jarak 25 cm dan 30 cm. Berikut merupakan data hasil pengujian korona.

Tabel 1. Data hasil pengujian korona 3 kV

Jarak (cm)	Besar frekuensi (MHz)	Waktu peluahan (ms)	Amplitudo (pW)
25	281,5	(-)14,7	42,2
	359,1	(-) 15,7	6,9
	454	(-15)	5,91
	598,3	(-) 14	2,19
	643	(-) 15,5	1,11
	753,9	(-) 15,5	0,44
	882	(-) 14,3	2,31
	963,9	(-) 15,1	2,25
30	280	(-) 14,8	3,43
	475	(-) 15,4	7,59
	680,4	(-) 15,1	0,6
	762,3	(-) 15	2,11
	963,9	(-) 15,25	1,01
	10475,	(-) 14,4	15,41
	1180,2	(-) 15,4	49,71
	1484,7	(-) 15,2	1,87
1652,7	(-) 15,4	39,41	
1963,5	(-) 16,5	5,3	

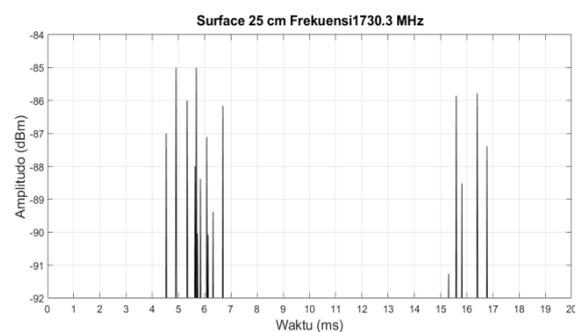
Berdasarkan pengujian yang dilakukan, frekuensi peluahan pada jarak yang berbeda memiliki nilai yang berbeda juga. Pada jarak 25 cm, frekuensi peluahan yang terjadi adalah pada frekuensi 281.5 MHz, 359.1 MHz, 454 MHz, 598.3 MHz, 643 MHz, 753,9 MHz, 882 MHz dan 963,9 MHz. Pada jarak 30 cm, frekuensi peluahan terjadi pada 280 MHz, 475 MHz, 680.4 MHz, 762.3 MHz, 963.9 MHz, 10475 MHz, 1180.2 MHz, 1484.7 MHz, 1652.7 MHz, 1963.5 MHz. Perbedaan nilai frekuensi peluahan ini diakibatkan pada saat menentukan nilai frekuensi peluahan, sumber PD harus nonaktif yang mengakibatkan nilai *full span* berbeda dari nilai *full span* sebelumnya walaupun kondisi PD *off*. Hal mengakibatkan, saat nilai frekuensi peluahan *ditrace* akan mengalami perbedaan.

Waktu peluahan yang diperoleh dikonversi kedalam satuan sudut maka

diperoleh bahwa peluahan terjadi pada polaritas negatif. Hal ini sesuai dengan teori yang telah ada sebelumnya. Amplitudo peluahan yang terjadi tidak linear terhadap jarak antara sensor dengan sumber peluahan. Pada frekuensi tertentu, nilai amplitudo besar dan di frekuensi yang berbeda mengalami nilai yang jauh lebih kecil. Hal ini dipengaruhi oleh sensitivitas sensor dalam merekam sinyal dan juga adanya *noise* yang terjadi selama pengujian.

Berdasarkan pengujian dan analisis yang dilakukan, korona memiliki karakteristik yaitu peluahan terjadi pada polaritas negatif saja. Lebar phasa peluahan korona adalah 0°, karena hanya terjadi satu kali peluahan saja sehingga selisih sudut peluahan awal dan sudut peluahan akhir adalah 0°.

Pada pengujian PD source *surface*, sinyal peluahan muncul pada tegangan 4 kV, berikut merupakan sampel sinyal peluahan *surface* setelah di threshold;



Gambar 13. *Surface* 4 kV dengan jarak 25 cm, frekuensi 1730,3 MHz

Gambar diatas merupakan salah satu contoh sinyal peluahan *surface*, lebar phasa pada polaritas positif adalah sebesar 39,6° pada polaritas negatif sebesar 25,2°. Besar amplitudo

peluahan adalah sebesar 2,53 pW. Berikut merupakan data hasil peluahan surface.

Tabel 2. Data hasil pengujian *surface* 4 kV

Jarak (cm)	Besar frekuensi (MHz)	Waktu peluahan (ms)	Amplitudo (pW)
25	288	(+) 5,4- 8,5 (-) 14,1- 15,6	142,56
	426	(+) 2,5-8,2 (-) 12,2-17	56,781
	962	(+) 5-7,3 (-)15,5-17,3	1,68
	1026,8	(+) 5-7,6 (-) 16,1- 17,2	9,69
	1276,7	(+) 2-4,5 (-) 12-12,2	3,51
	1730,3	(+) 4,5-6,7 (-) 15,3-16,8	2,47
30	280	(+) 2,5- 7,5 (-) 11,6- 17,4	629,65
	490	(+) 2,5- 8,1 (-) 13,6- 16,6	19,32
	588,6	(+) 3-6,2 (-) 12-13,2	3,59
	647	(+) 4,6-8,4 (-) 14,4- 16	2,71
	737	(+) 4,2-7,8 (-) 17,2-18,5	4,7
	863	(+) 3-7,8 (-) 14-16	2,19
	1455,3	(+) 2,6-4,9 (-) 13,8-14	7,4

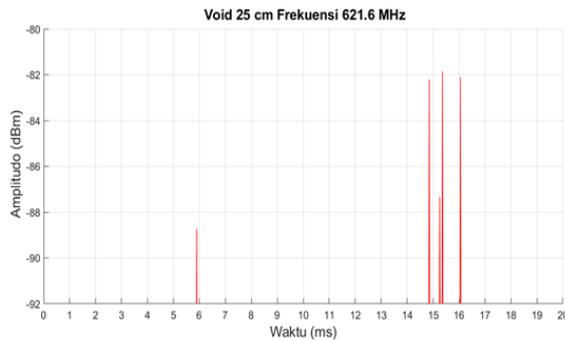
Berdasarkan data hasil yang diperoleh pada Tabel 2, diperoleh frekuensi peluahan pada jarak yang berbeda memiliki nilai yang berbeda juga. Pada jarak 25 cm, frekuensi peluahan yang terjadi adalah pada frekuensi 288 MHz, 426 MHz, 962 MHz, 1026.8 MHz, 1276.7 MHz dan 1730.3 MHz. Sedangkan pada jarak 30 cm, frekuensi peluahan terjadi pada 280 MHz, 490 MHz, 588.6 MHz, 647 MHz, 737 MHz, 863 MHz dan 1455.3 MHz. Perbedaan nilai frekuensi peluahan ini sama seperti pada *corona*, yaitu diakibatkan saat menentukan nilai frekuensi

peluahan, sumber PD harus di non-aktifkan, yang mengakibatkan nilai *full span* berbeda dari nilai *full span* sebelumnya walaupun kondisi *PD off*. Hal mengakibatkan, saat nilai frekuensi peluahan *ditrace* akan mengalami perbedaan.

Waktu peluahan yang diperoleh dikonversi kedalam satuan sudut maka diperoleh bahwa peluahan terjadi pada polaritas positif dan polaritas negatif. Lebar *phase* sinyal peluahan pada semua frekuensi memiliki pola yang hampir sama, yaitu sinyal peluahan selalu lebih lebar pada polaritas positif. Lebar fasa peluahan rata-rata PD *surface* adalah pada polaritas positif sebesar 59,44° dan pada polaritas negatif sebesar 28,3°. Berdasarkan analisa dan perhitungan pada pengujian *surface* maka diperoleh bahwa karakteristik peluahan *surface* terjadi dipolaritas positif dan polaritas negatif, dengan lebar fasa yang lebih besar terdapat pada polaritas positif.

Berdasarkan tabel 2 maka diperoleh amplitudo yang terjadi pada setiap peluahan selalu memiliki nilai yang berbeda-beda. Amplitudo peluahan yang terjadi tidak linear terhadap jarak antara sensor dengan sumber peluahan. Pada frekuensi tertentu, nilai amplitudo besar dan di frekuensi yang berbeda mengalami nilai yang jauh lebih kecil. Hal ini dipengaruhi oleh sensitivitas sensor dalam merekam sinyal dan juga adanya *noise* yang terjadi selama pengujian.

Pada pengujian PD *source void*, sinyal peluahan ada pada tegangan 3 kV, berikut merupakan sinyal peluahan setelah di *threshold*;



Gambar 14. Void 3 kV Jarak 25 cm, frekuensi 621,6 MHz

Gambar diatas merupakan salah satu contoh sinyal peluahan void yang telah *dithreshold*. Pada Gambar 12, diperoleh lebar fasa pada polaritas positif adalah peluahan 0° dan pada polaritas negatif adalah 19,8°. Besar amplitudo peluahan adalah sebesar 5,67 pW. Berikut merupakan data hasil peluahan void.

Tabel 3. Data hasil pengujian Void 3 kV

Jarak (cm)	Besar frekuensi (MHz)	Waktu peluahan (ms)	Amplitudo (pW)
25	286	(+) 4,1-6,2 (-) 13,6-17,2	1,2
	386,4	(+) 4,5-5,5 (-) 13-17	49,79
	434,7	(+) 4,5-5,5 (-) 12,5- 18	78,77
	621,6	(+) 5,9 (-) 14,9-16	5,99
	1071	(+) 5,7 (-) 13,7-16,8	2,1
30	284	(+) 4,1-7 (-) 13,2-17	23,6
	368	(+) 2,6-6,4 (-) 13,2-17,3	38,8
	666,4	(+) 4-6,1 (-) 14-17,5	3,67
	705	(+) 3-6,7 (-) 14-18,2	4,38
	833	(+) 5,5-6,5 (-) 13,4-17	9,69

Berdasarkan data hasil yang diperoleh pada Tabel 3, diperoleh frekuensi peluahan pada

jarak yang berbeda memiliki nilai yang berbeda juga. Pada jarak 25 cm, frekuensi peluahan yang terjadi adalah pada frekuensi 286 MHz, 386.4 MHz, 434.7, 621.6 MHz dan 1071 MHz. Sedangkan pada jarak 30 cm, frekuensi peluahan terdapat pada 284 MHz, 368 MHz, 666.4 MHz, 705 MHz dan 833 MHz. Perbedaan nilai frekuensi peluahan ini sama seperti pada *corona* dan *surface*, yaitu diakibatkan saat menentukan nilai frekuensi peluahan, sumber PD harus di non-aktifkan, yang mengakibatkan nilai *full span* berbeda dari nilai *full span* sebelumnya walaupun kondisi PD *off*. Hal mengakibatkan, saat nilai frekuensi peluahan *ditrace* akan mengalami perbedaan.

Waktu peluahan yang diperoleh dikonversi kedalam satuan sudut maka diperoleh bahwa peluahan terjadi pada polaritas positif dan polaritas negatif. Lebar *phase* sinyal peluahan pada semua frekuensi memiliki pola yang hampir sama, yaitu sinyal peluahan selalu lebih lebar pada polaritas negatif. Lebar *phase* peluahan rata-rata PD void adalah pada polaritas positif sebesar 32,79° dan pada polaritas negatif sebesar 64,41°. Berdasarkan analisa dan perhitungan pada pengujian *void* maka diperoleh bahwa karakteristik peluahan *surface* terjadi dipolaritas positif dan polaritas negatif, dengan lebar fasa yang lebih besar terdapat pada polaritas negatif.

Berdasarkan tabel 3 maka diperoleh amplitudo yang terjadi pada setiap peluahan selalu memiliki nilai yang berbeda-beda. Amplitudo peluahan yang terjadi tidak linear terhadap jarak antara sensor dengan sumber peluahan. Pada frekuensi tertentu, nilai amplitudo besar dan di frekuensi yang berbeda mengalami nilai yang jauh lebih kecil. Hal ini

dipengaruhi oleh sensitivitas sensor dalam merekam sinyal dan juga adanya *noise* yang terjadi selama pengujian.

Karakteristik corona, *surface* dan juga *void* yang telah diperoleh ini dapat membantu dalam menentukan jenis PD yang terjadi dalam transformator. Apabila sensor digunakan untuk melihat kualitas isolator transformator, dengan metode analisa pola *Phase Resolved Partial discharge* (PRPD) maka karakteristik sampel yang telah diperoleh ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan jenis peluahan yang ada. Informasi ini berguna untuk menentukan kapan transformator akan dilakukan pemeliharaan dan mempermudah mengetahui kualitas isolator transformator.

## SIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu pendeteksian dan identifikasi jenis *partial discharge* dengan metode pengenalan pola PRPD mampu mengetahui karakteristik setiap sampel. Karakteristik peluahan *corona* adalah peluahan hanya terjadi pada polaritas negatif saja. Karakteristik PD *surface* adalah peluahan terjadi pada polaritas positif dan polaritas negatif, dimana lebar fasa peluahan di polaritas positif lebih besar daripada polaritas negatif. Karakteristik PD *void* adalah lebar sudut terjadi pada polaritas positif dan polaritas negatif, dimana lebar *phase* peluahan di polaritas negatif lebih besar daripada polaritas positif. Karakteristik sinyal ini digunakan untuk menentukan jenis peluahan yang dideteksi oleh sensor.

## DAFTAR PUSTAKA

Deshpande, A. S., Cheeran, A., &

- Mangalvedekar, H. A. (2015). Partial discharge source identification using phase window analysis of PRPD data. In *Proceedings of the 19th International Symposium on High Voltage Engineering* (pp. 1–6). Pilsen, Czech Republic. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/328600540\\_Partial\\_Discharge\\_Source\\_Identification\\_Using\\_Phase\\_Window\\_Analysis\\_of\\_PRPD\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/328600540_Partial_Discharge_Source_Identification_Using_Phase_Window_Analysis_of_PRPD_Data)
- Panjaitan, J. S., Sinaga, H. H., & Purwasih, N. (2014). Analisis peluahan sebagian di udara menggunakan metode elektromagnetik. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 8(3), 162–177. Retrieved from <https://electrician.unila.ac.id/index.php/ojs/article/view/149>
- Judd, M. D., Yang, L., & Hunter, I. B. B. (2005). Partial discharge monitoring for power transformers using UHF sensors. Part 2: Field experience. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 21(2), 5–14. <https://doi.org/10.1109/MEI.2005.1412214>
- Kreuger, F. H. (1991). *Industrial high voltage*. Delft University Press.
- Sitorus, H. B. H., Permata, D., & Jatmiko, T. (2014). Analisis peluahan sebagian (partial discharge) pada transformator step-up tegangan rendah dengan proses pengisolasian yang bervariasi. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 8(3), 178–187. Retrieved from <https://electrician.unila.ac.id/index.php/ojs/article/view/ele-200905-03-02-07>
- Muhr, M., Strehl, T., Gulski, E., Feser, K., Gockenbach, E., & Hauschild, W. (2006). Sensors and sensing used for non-conventional PD detection. *Cigré D1*, 102. Retrieved from [https://pure.tugraz.at/ws/portalfiles/portal/3719952/D1\\_102.PDF](https://pure.tugraz.at/ws/portalfiles/portal/3719952/D1_102.PDF)
- Derry, F., Nainggolan, J. M., & Despa, D. (2016). Karakteristik peluahan sebagian (partial discharge) pada isolasi epoksi resin dengan metode emisi akustik. *Jurnal Teknik Elektro*, 12(2), 112–120.
- Farouq, R., Ardita, I. M. Y., & Raharjo, A. (2011). Monitoring partial discharge pada bushing transformator. *Universitas Indonesia*.
- Syahputra, L. R., Sinaga, H., & Martin, Y. (2014). Pendeteksian beragam sumber peluahan sebagian dengan menggunakan

- metode elektromagnetik. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 8(3), 188–200. Retrieved from <https://electrician.unila.ac.id/index.php/ojs/article/view/148>
- Li, J., Jiang, T., Cheng, C., & Wang, C. (2013). Hilbert fractal antenna for UHF detection of partial discharges in transformers. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 20(6), 2017–2025. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2013.6678775>
- Vinoy, K. J., Jose, K. A., Varadan, V. K., & Varadan, V. V. (2000). Hilbert curve fractal antenna: A small resonant antenna for VHF/UHF applications. *The Pennsylvania State University*. <https://doi.org/10.1117/12.436602>
- Mustafa, M. O. H., Zahed, A. H., Habboub, S. A., AlMajid, M. A., Assaf, M. J., El-Hag, A. H., & Qaddoumi, N. N. (2016). Design of Hilbert fractal antenna for partial discharge classification in oil-paper insulated systems. *IEEE Sensors Journal*, 16(12), 1–8. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2638804>
- Sinaga, H. H., Sitorus, H. B. H., Permata, D., & Soedjarwanto, N. (2019). Fractal Hilbert sensor to detect partial discharge on transformer. *Journal of Engineering and Scientific Research*, 1(1), 94–100. <https://doi.org/10.23960/jesr.v1i2.31>
- Wang, Y., Wang, Z., & Li, J. (2016). UHF Moore fractal antennae for on-line GIS PD detection. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 15, 1–4. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2016.2609916>
- Bachtiar, A., & Thomas, T. (2018). Partial discharge analysis on isolator of transformer. *MATEC Web of Conferences*, 215, 01019. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821501019>
- Junaidi, A., Mowaviq, M. I., & Okvasari, R. (2021). Analisis RC detector sebagai sensor partial discharge. *Institut Teknologi PLN*. <https://doi.org/10.33322/kilat.v10i2.986>
- Rodrigo, M. A., Castro, H. L. C., Harmsen, D. A., & Muñoz, F. A. (2018). A new design of a test platform for testing multiple partial discharge sources. *Electrical Power and Energy Systems*, 94, 374–384. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.07.004>
- Li, J., Jiang, T., Cheng, C., & Wang, C. (2013). Hilbert fractal antenna for UHF detection of partial discharges in transformers. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 20(6), 2017–2025. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2013.6678775>
- Stone, G. C., Stranges, M. K. W., & Dunn, D. G. (2016). Common questions on partial discharge testing: A review of recent developments in IEEE and IEC standards for offline and online testing of motor and generator stator windings. *IEEE Industry Applications Magazine*, 22(1), 14–19. <https://doi.org/10.1109/MIAS.2016.2614378>
- Gargari, S. M., Wouters, A. A. F., van der Wielen, C. J. M., & Steennis, E. F. (2011). Partial discharge parameters to evaluate the insulation condition of on-line located defects in medium voltage cable networks. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 18(3), 868–877. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2011.5931042>
- Rodrigo, M. A., Castro, H. L. C., & Muñoz, F. (2017). Estimation of charge, energy, and polarity of noisy partial discharge pulses. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 24(4). <https://doi.org/10.1109/TDEI.2017.8012431>
- Chatterjee, B., Dey, D., & Chakravorti, S. (2011). A modular approach for teaching partial discharge phenomenon through experiment. *IEEE Transactions on Education*, 54(3), 410–415. <https://doi.org/10.1109/TE.2010.2072930>
- Karmakar, S. (2017). Virtual-instrument-based online monitoring system for hands-on laboratory experiment of partial discharges. *IEEE Transactions on Education*, 60(1), 29–37. <https://doi.org/10.1109/TE.2016.2598565>
- Zuberi, M. U. (2013). Masood inception voltages due to voids in solid sheet insulation. In *2013 IEEE Electrical Insulation Conference*, Ottawa, ON (pp. 124–128). <https://doi.org/10.1109/EIC.2013.6554206>
- Piccin, R., Rodrigo, M. A., Morshuis, P., Girodet, A., & Smith, J. J. (2018). Partial discharge analysis of gas insulated systems at high voltage AC and DC. *IEEE*

*Transactions on Dielectrics and Electrical  
Insulation*, 22(1), 218–228.  
<https://doi.org/10.1109/TDEI.2015.7076750>

Wang, J., Liao, R., Wang, K., Yuan, L., & Yang, L. (2014). Experimental investigations on surface discharge characteristics over oil/pressboard interface based on a rod-to-plane electrode. In *2014 International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*.  
<https://doi.org/10.1109/ICHVE.2014.7035442>