



TUGAS AKHIR - EE 184801

ANALISIS DETEKSI *MULTI SOURCE PARTIAL DISCHARGE* MENGGUNAKAN ANTENA PADA ISOLASI UDARA

T. M. Raza Alfieri
NRP 0711164000029

Dosen Pembimbing
Danar Fahmi, ST., MT
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - EE 184801

ANALISIS DETEKSI *MULTI SOURCE PARTIAL DISCHARGE* MENGGUNAKAN ANTENA PADA ISOLASI UDARA

T. M. Raza Alfieri
NRP 07111640000029

Dosen Pembimbing
Danar Fahmi, ST., MT
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - EE 184801

***MULTI SOURCE PARTIAL DISCHARGE DETECTION
ANALYSIS USING ANTENNA ON AIR INSULATION***

T. M. Raza Alfieri
NRP 0711164000029

Supervisor(s)
Danar Fahmi, ST., MT
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisis Deteksi *Multi Source Partial Discharge* Menggunakan Antena Pada Isolasi Udara**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2020



T. M. Raza Alfieri

NRP. 0711 16 4000 0029

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISIS DETEKSI *MULTI SOURCE PARTIAL DISCHARGE* MENGGUNAKAN ANTENA PADA ISOLASI UDARA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Damar Fahmi, ST., MT.
NIP. 19890925 201404 1002

**SURABAYA
JULI, 2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISIS DETEKSI *MULTI SOURCE PARTIAL DISCHARGE* MENGGUNAKAN ANTENA PADA ISOLASI UDARA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing II



Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
NIP. 19700712 199802 1001

**SURABAYA
JULI, 2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISIS DETEKSI *MULTI SOURCE PARTIAL DISCHARGE* MENGGUNAKAN ANTENA PADA ISOLASI UDARA

Nama : T. M. Raza Alfieri
Pembimbing I : Daniar Fahmi, ST., MT
Pembimbing II : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc

ABSTRAK

Pengembangan sistem *grid*, membuat peralatan tegangan tinggi menerima medan yang besar, sehingga sinyal harmonik yang dihasilkan akan merusak sistem isolasi. Gangguan frekuensi tinggi ini menyebar ke seluruh kabel dan menyebabkan *over voltage*, sehingga memunculkan *partial discharge*(PD). PD dapat menghasilkan gelombang elektromagnetik sehingga dapat dideteksi. Studi ini merupakan pengembangan studi sebelumnya, yaitu mendeteksi *single source partial discharge* menggunakan beberapa macam antena. Studi ini dilakukan dengan mendeteksi *multi source partial discharge*(MSPD) pada isolasi udara menggunakan antena *loop*. Elektroda yang digunakan adalah elektroda *sharp-plane* dan *flat-plane* dengan variasi jarak 0,7 cm dan 1,4 cm. Pemilihan kedua pasang elektroda tersebut karena ketidakhomogen yang tinggi sehingga memudahkan untuk mendeteksi MSPD. Pengujian juga dilakukan dengan memvariasikan jarak antena terhadap elektroda uji sebesar 10 cm, 20 cm, dan 30 cm untuk mengetahui jarak performansi antena. Proses pengambilan data hanya pada kondisi *pre-breakdown* dengan menggunakan pembangkitan tegangan tinggi AC. Data yang dideteksi antena *loop* akan dibandingkan dengan HFCT dan diolah dengan menggunakan metode *Phase Resolved Partial Discharge*(PRPD). Hasil pengujian menunjukkan bahwa antena *loop* dapat digunakan untuk mendeteksi MSPD pada isolasi udara, hal ini dibuktikan sinyal MSPD yang dideteksi oleh HFCT dan antena *loop* terjadi pada fasa yang sama. Hasil pengolahan PRPD menunjukkan bahwa variasi jarak antar elektroda mempengaruhi jumlah titik PRPD, semakin jauh jarak antar elektroda maka jumlah titik PRPD akan semakin banyak. Antena *loop* bekerja optimal dalam mendeteksi MSPD ketika berjarak dekat dengan 2 sumber PD, yaitu pada jarak antena 10 cm.

Kata Kunci : *Multi Source Partial Discharge, Isolasi Udara, Antena Loop, HFCT, Phase Resolved Partial Discharge.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

MULTI SOURCE PARTIAL DISCHARGE DETECTION ANALYSIS USING ANTENNA ON AIR INSULATION

Name : T. M. Raza Alfieri
Supervisor I : Daniar Fahmi, ST., MT
Supervisor II : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc

ABSTRACT

The development of a grid system, making high voltage equipment receive a large field so that the resulting harmonic signals will damage the isolation system. This high-frequency disturbance spreads throughout the cable and causes over-voltage, giving rise to partial discharge (PD). PD can produce electromagnetic waves so they can be detected. This study is a development of previous studies, namely detecting a single source partial charged using several types of antennas. This study was conducted by detecting a multi-source partial charge (MSPD) in air isolation using a loop antenna. The electrodes used are electrodes sharp -plane and flat-plane with a distance variation of 0.7 cm and 1.4 cm. The selection of the two electrode pairs was due to high homogeneity making it easier to detect MSPD. Tests are also carried out by varying the antenna distance to the test electrodes of 10 cm, 20 cm, and 30 cm to determine the antenna performance distance. The process of data retrieval is only in the pre-breakdown condition by using an AC high voltage generator. Data detected by the loop antenna will be compared with HFCT and processed using the Phase Resolved Partial Discharge (PRPD) method. The test results show that the loop antenna can be used to detect MSPD in air isolation, this is evidenced by the MSPD signal detected by HFCT and the loop antenna occurring at the same phase. The results of PRPD processing show that the variations in the distance between the electrodes affect the number of PRPD points, the farther the distance between the electrodes the more number of PRPD points. Loop antenna works optimally in detecting MSPD when it is close to 2 PD sources, namely at an antenna distance of 10 cm.

Keywords: *Multi-Source Partial Discharge, Air Insulation, Loop Antenna, HFCT, Phase Resolved Partial Discharge.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat-Nya, penelitian dan penulisan studi dengan judul **“ANALISIS DETEKSI MULTI SOURCE PARTIAL DISCHARGE MENGGUNAKAN ANTENA PADA ISOLASI UDARA”** ini dapat diselesaikan dengan baik. Selama melaksanakan studi ini baik saat melakukan pengujian dalam mendeteksi *multi source partial discharge*, pengolahan data maupun penyusunan buku studi ini banyak kendala, hambatan, dan rintangan yang penulis alami. Akan tetapi banyak pihak yang telah membantu penulis untuk menghadapi semua rintang tersebut. Tanpa dukungan mereka, sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikan studi ini. Dan kesempatan kali ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih, diantaranya:

1. Kepada Allah SWT yang selalu memberikan kesehatan, rahmat dan petunjukNya.
2. Kepada kedua Orang tua tercinta T. Zulfikar dan Zahniar yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan do'a kepada penulis.
3. Bapak Daniar Fahmi, ST., MT., dan Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc selaku dosen I dan II yang telah memberikan banyak ilmu, arahan, serta motivasi dalam pengerjaan penelitian ini.
4. Seluruh dosen-dosen Departemen Teknik Elektro, terkhusus untuk Bapak IGN Satriyadi Hernanda, ST., MT. dan Bapak Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala dan Dosen di Laboratorium Tegangan Tinggi yang telah memberikan ilmu dan bantuan kepada penulis.
5. Rabiatul Adawiyah, yang selalu ada untuk memberi *support* dan motivasi dalam pengerjaan penelitian ini.
6. Teman-teman yang selalu membantu penulis dalam mengolah data dan menyusun laporan penelitian yaitu Addien Wicaksono, Juan Christian Soebagio, dan Syifaul Qolby Asshakina.
7. Keluarga besar asisten Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro ITS yang senantiasa memberikan dukungan dan perhatian luar biasa. Terimakasih kepada rekan-rekan asisten laboratorium tegangan tinggi yang sudah menaungi saya sehingga saya merasa punya keluarga baru di Surabaya.

8. Teman-teman Elektro Aceh 2016, yang telah menjadi teman seperjuangan selama berkuliah di Teknik Elektro ITS yaitu Qaedi Afar Saifuddin Bantasyam, Teuku Rizki Firdausi, dan Mar`Ie Muhammad.
9. Badan Amil Zakat Nasional yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa BAZNAS tahun 2018-2020.
10. Keluarga besar PMKTR yang telah menemani penulis dari awal perkuliahan di ITS.
11. Teman-teman e-56 yang telah memberi dukungan dan menemani penulis dari awal perkuliahan di ITS.

Penulis sadar bahwa penelitian ini masih belum sempurna dan masih banyak hal yang harus diperbaiki. Saran, kritik dan masukan baik dari seluruh pihak sangatlah membantu penulis terutama untuk berbagai kemungkinan pengembangan lebih lanjut, terima kasih.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	7
2.3 Media Isolasi.....	8
2.3.1 Media Isolasi Udara	8
2.4 Kekuatan Dielektrik	9
2.5 Kegagalan Dielektrik Udara.....	9
2.6 <i>Partial Discharge</i>	11
2.7 Antena <i>Loop</i>	12
BAB III ALAT PENGUJIAN DAN METODE	
PENGAMBILAN DATA	15
3.1 Peralatan Pengujian	15
3.1.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	16

3.1.2	Elektroda Uji.....	17
3.1.3	<i>High Frequency Current Transformer</i>	18
3.1.4	Antena <i>Loop</i>	19
3.1.5	<i>National Instrument Voltage 9775</i>	20
3.1.6	VeriVolt Entube DE-HB.....	21
3.2	Pelaksanaan Pengujian.....	22
3.3	Pengolahan dan Akusisi Data.....	23
BAB IV	HASIL DAN ANALISIS DATA.....	25
4.1	Analisa <i>Multi Source Partial discharge</i> pada Isolasi Udara... 25	25
4.1.1	Analisa <i>Multi Source Partial discharge</i> oleh Antena pada Isolasi Udara dengan Jarak Elektroda 0,7 cm	25
4.1.2	Analisa <i>Multi Source Partial discharge</i> oleh Antena pada Isolasi Udara dengan Jarak Elektroda 1,4 cm	27
4.1.3	Analisa <i>Multi Source Partial discharge</i> oleh Antena pada Isolasi Udara dengan 2 Jarak Elektroda Berbeda	29
4.1.4	Analisa <i>Multi Source Partial discharge</i> oleh HFCT pada Isolasi Udara dengan 2 Jarak Elektroda Berbeda	31
4.2	Perbandingan Sinyal <i>Multi Source Partial discharge</i> yang Dideteksi oleh Antena <i>Loop</i> dan HFCT	33
4.2.1	Perbandingan Sinyal <i>Multi Source Partial discharge</i> yang Dideteksi oleh Antena <i>Loop</i> dan HFCT dengan 3 Jarak Antena <i>Loop</i> Berbeda	33
4.2.2	Perbandingan Sinyal <i>Multi Source Partial discharge</i> yang Dideteksi oleh Antena <i>Loop</i> dan HFCT dengan 2 Jarak Elektroda Berbeda	35
4.3	Analisa <i>Phase Resolved Partial Discharge</i>	37
4.3.1	Analisa PRPD pada Penggabungan <i>Single Source Partial Discharge</i>	37
4.3.2	Analisa PRPD pada <i>Multi Source Partial Discharge</i> dengan Jarak Elektroda Uji 0,7 cm.....	39

4.3.3	Analisa PRPD pada <i>Multi Source Partial Discharge</i> dengan Jarak Elektroda Uji 1,4 cm	42
4.3.4	Analisa PRPD pada 2 Jarak Elektroda berbeda	45
4.4	Analisa Amplitudo Tegangan Antena <i>Loop</i> pada Jarak Berbeda.....	46
BAB V	PENUTUP.....	49
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....		51
BIOGRAFI PENULIS		53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Skema Pendeteksian <i>Multi Source Partial Discharge</i>	3
Gambar 2.1	Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	8
Gambar 2.2	Orde Kegagalan Material Isolasi	9
Gambar 2.3	Ionisasi Benturan Langsung, (a) Elektron Membentur Molekul (b) Molekul Membentur Molekul	10
Gambar 2.4	Kurva <i>Paschen</i>	11
Gambar 2.5	Elektroda <i>Needle-Plane</i> [5].....	12
Gambar 2.6	Antena <i>Loop</i> [4]	14
Gambar 3.1	Skema Deteksi <i>Multi Source Partial Discharge</i>	15
Gambar 3.2	Rangkaian Deteksi <i>Multi Source Partial Discharge</i>	16
Gambar 3.3	Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi AC	16
Gambar 3.4	(a) Elektroda <i>Flat-Plane</i> (b) Elektroda <i>Sharp-Plane</i>	17
Gambar 3.5	<i>High Frequency Current Transformer</i>	18
Gambar 3.6	Antena <i>Loop</i>	19
Gambar 3.7	NI Tegangan 9775	21
Gambar 3.8	VeriVolt Entube DE-HB.....	22
Gambar 3.9	<i>Flowchart</i> Pengolahan Data.....	24
Gambar 4.1	<i>Multi Source Partial Discharge</i> dengan Jarak Antena <i>Loop</i> 30 cm	26
Gambar 4.2	<i>Multi Source Partial Discharge</i> dengan Jarak Antena <i>Loop</i> 20 cm	26
Gambar 4.3	<i>Multi Source Partial Discharge</i> dengan Jarak Antena <i>Loop</i> 10 cm	27
Gambar 4.4	<i>Multi Source Partial Discharge</i> dengan Jarak Antena <i>Loop</i> 30 cm	28
Gambar 4.5	<i>Multi Source Partial Discharge</i> dengan Jarak Antena <i>Loop</i> 20 cm	28
Gambar 4.6	<i>Multi Source Partial Discharge</i> dengan Jarak Antena <i>Loop</i> 10 cm	29
Gambar 4.7	Deteksi <i>Multi Source Partial Discharge</i> oleh Antena dengan Jarak Elektroda 0,7 cm	30
Gambar 4.8	Deteksi <i>Multi Source Partial Discharge</i> oleh Antena dengan Jarak Elektroda 1,4 cm	30
Gambar 4.9	Deteksi <i>Multi Source Partial Discharge</i> oleh HFCT dengan Jarak Elektroda 0,7 cm	32
Gambar 4.10	Deteksi <i>Multi Source Partial Discharge</i> oleh HFCT dengan Jarak Elektroda 1,4 cm	32

Gambar 4.11	Sinyal Sumber Tegangan, Antena <i>Loop</i> , dan HFCT dengan Jarak Antena <i>Loop</i> 30 cm.....	34
Gambar 4.12	Sinyal Sumber Tegangan, Antena <i>Loop</i> , dan HFCT dengan Jarak Antena <i>Loop</i> 20 cm.....	35
Gambar 4.13	Sinyal Sumber Tegangan, Antena <i>Loop</i> , dan HFCT dengan Jarak Antena <i>Loop</i> 10 cm.....	35
Gambar 4.14	Sinyal Sumber Tegangan, Antena <i>Loop</i> , dan HFCT dengan Jarak Elektroda Uji 0,7 cm	36
Gambar 4.15	Sinyal Sumber Tegangan, Antena <i>Loop</i> , dan HFCT dengan Jarak Elektroda Uji 1,4 cm	37
Gambar 4.16	Pola PRPD <i>Single Source Partial Discharge</i> dengan Jarak Elektroda 0,7 cm pada Tegangan 5,5 kV	38
Gambar 4.17	Pola PRPD <i>Single Source Partial Discharge</i> dengan Jarak Elektroda 1,4 cm pada Tegangan 10 kV	39
Gambar 4.18	Pola PRPD pada Jarak Antena <i>Loop</i> 30 cm pada Tegangan 5,5 kV	40
Gambar 4.19	Pola PRPD pada Jarak Antena <i>Loop</i> 20 cm pada Tegangan 5,5 kV	41
Gambar 4.20	Pola PRPD pada Jarak Antena <i>Loop</i> 10 cm pada Tegangan 5,5 kV	41
Gambar 4.21	Pola PRPD pada Jarak Antena <i>Loop</i> 30 cm pada Tegangan 10 kV	43
Gambar 4.22	Pola PRPD pada Jarak Antena <i>Loop</i> 20 cm pada Tegangan 10 kV	43
Gambar 4.23	Pola PRPD pada Jarak Antena <i>Loop</i> 10 cm pada Tegangan 10 kV	44
Gambar 4.24	Pola PRPD pada Jarak Elektroda 0,7 cm pada Tegangan 5,5 kV	45
Gambar 4.25	Pola PRPD pada Jarak Elektroda 1,4 cm pada Tegangan 10 kV	46
Gambar 4.26	Grafik Kenaikan Nilai Amplitudo Tegangan Antena <i>Loop</i>	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Pembangkit Tegangan Tinggi AC.....	17
Tabel 3.2 Spesifikasi HFCT	18
Tabel 3.3 Spesifikasi Rentang Frekuensi Untuk Radar Berdasarkan ITU	20
Tabel 3.4 Spesifikasi NI Tegangan 9775.....	21
Tabel 3.5 Spesifikasi VeriVolt Entube DE-HB	22
Tabel 4.1 Jumlah Titik PRPD pada <i>Single Source Partial</i> <i>Discharge</i> dengan 1500 Siklus	39
Tabel 4.2 Jumlah Titik PRPD pada Jarak Elektroda 0,7 cm dengan 1500 Siklus.....	42
Tabel 4.3 Jumlah Titik PRPD pada Jarak Elektroda 1,4 cm dengan 1500 Siklus.....	44
Tabel 4.4 Nilai Amplitudo pada Antena <i>Loop</i>	47

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peralatan listrik memiliki peran cukup besar dalam sistem tenaga listrik, terutama pada pembangkitan, transmisi dan distribusi. Agar listrik yang mengalir dapat bekerja dengan optimal maka setiap peralatan harus memiliki isolasi yang baik. Isolasi merupakan salah satu peralatan tegangan tinggi yang memiliki peran penting dalam sistem kelistrikan. Isolasi memiliki batas tertentu dari bahan material yang digunakan dan kondisi lingkungan untuk menahan tegangan yang tinggi. Daerah pantai dan industri kondisi lingkungan memiliki pengaruh yang besar dalam menentukan kinerja material isolasi. Hal ini dikarenakan adanya kontaminan garam dan bahan kimia di udara dapat menempel pada permukaan isolasi dan dapat menyebabkan timbulnya *partial discharge*(PD). Peningkatan *partial discharge* akan merusak sistem isolasi dan peralatan listrik lainnya. Oleh karena itu, pengurukan *partial discharge* dibutuhkan untuk mengetahui tingkat kerusakan isolasi sehingga dapat dilakukan pemeliharaan. Pada isolasi gas, bahan isolator yang sering digunakan adalah udara, hidrogen, dan gas SF_6 . Kinerja peralatan sangat ditentukan oleh isolasinya, hal ini dikarenakan kekuatan dielektrik bahan isolasi yang semakin lama semakin turun[1].

Pre-breakdown voltage adalah suatu fenomena yang terjadi ketika suatu isolasi tidak mampu menahan tegangan tinggi, hal ini disebut dengan kegagalan pada suatu bahan isolasi. Salah satu contoh dari *pre-breakdown voltage* adalah *partial discharge*. *Partial discharge* atau peluahan sebagian merupakan suatu fenomena pelepasan loncatan api listrik yang terjadi akibat tegangan tinggi dalam isolasi tersebut.

Ada beberapa cara dalam menganalisa bagian isolasi, salah satunya mendeteksi gelombang *partial discharge* pada bagian tersebut. Peristiwa dari *partial discharge* salah satunya adalah memancarkan gelombang elektromagnetik yang berfrekuensi tinggi. Dengan adanya aktifitas gelombang elektromagnetik ini, antena mampu mendeteksi *partial discharge*[2]. Antena dapat dirancang untuk mendeteksi gelombang elektromagnetik yang menginduksi *partial discharge* dalam rentang frekuensi tertentu dengan *bandwidth* yang lebih lebar. Sudah ada penelitian terkait pendeteksian *partial discharge* menggunakan antena[3], mendesain antena *loop* untuk mendeteksi *partial discharge*[4]. Selama ini

penelitian yang digunakan menggunakan satu sumber PD, namun belum ada yang membahas mengenai karakteristik gelombang *multi source partial discharge*. Padahal pengembangan sistem *grid*, membuat peralatan tegangan tinggi menerima medan yang lebih besar, sehingga sinyal harmonik yang dihasilkan akan merusak sistem isolasi.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini menjawab perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik sinyal *multi source partial discharge* akibat variasi jarak antar elektroda pada isolasi udara?
2. Bagaimana pengaruh jarak antena dalam mendeteksi sinyal *multi source partial discharge* pada isolasi udara?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui karakteristik sinyal *multi source partial discharge* akibat variasi jarak antar elektroda pada isolasi udara.
2. Mengetahui jarak performansi antena dalam mendeteksi sinyal *multi source partial discharge* pada isolasi udara.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian dilakukan dengan sumber tegangan AC.
2. Karakteristik sinyal *multi source partial discharge* yang diteliti hanya pada media isolasi udara dengan mengabaikan suhu ruangan.
3. Menggunakan antena *loop* untuk mendeteksi sinyal yang dihasilkan oleh aktivitas *multi source partial discharge*.
4. Pengambilan dan pengolahan data hanya 1500 *cycle*.

1.5 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dikerjakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur
Studi literatur ini bertujuan sebagai penguasaan materi dalam penelitian ini. Pada tahap studi literatur, penulis akan mempelajari paper dan buku yang sesuai dengan topik penelitian terkait. Studi literatur yang akan dipelajari adalah fenomena *partial discharge*,

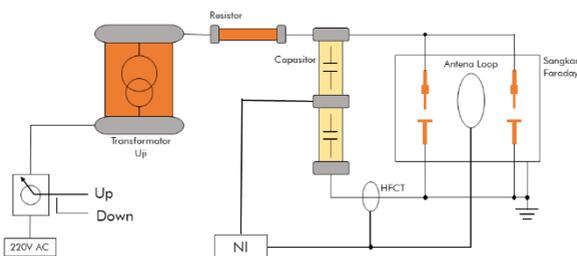
fenomena *partial discharge* pada isolasi udara, dan karakteristiknya.

2. Persiapan Pengujian

Pembuatan *chamber*, serta mempersiapkan peralatan dan rangkaian untuk dilakukan pengujian, seperti modul pembangkitan tegangan tinggi AC, elektroda *needle-plane* dengan jenis yang berbeda, antena *loop*, HFCT, VeriVolt, modul NI, sangkar faraday dan laptop dengan software NI LabVIEW.

3. Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dan pengambilan data dilakukan dengan memanfaatkan modul pembangkitan tegangan tinggi AC dan menggunakan dua pasang elektroda *needle-plane* dengan jenis yang berbeda seperti yang dilampirkan pada gambar 1.1. Pengujian ini dilakukan di laboratorium tegangan tinggi, pengambilan data dilakukan sampai mendapatkan hasil yang sesuai dengan teori yang ada.



Gambar 1.1 Skema Pendeteksian *Multi Source Partial Discharge*

Antena diletakkan diantara dua sumber *partial discharge*, jarak antena terhadap dua sumber *partial discharge* akan divariasikan. Jarak antar elektroda *needle-plane* pun akan divariasikan sebesar 0,7 cm dan 1,4 cm. Sangkar faraday akan diketanahkan untuk mengurangi noise yang dideteksi oleh antena. Sinyal *multi source partial discharge* yang dideteksi oleh antena dan HFCT akan disimpan oleh NI.

4. Pengolahan dan Analisa Data

Data hasil pengujian akan diolah untuk didapatkan *phase resolved partial discharge* (PRPD) dan dianalisa berdasarkan referensi ilmiah tertentu.

5. Penyusunan Laporan Studi

Penyusunan laporan dilakukan setelah data yang diperoleh telah sesuai dengan teori. Berdasarkan data-data yang diperoleh penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan sesuai kondisi yang ada.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dalam bahasan terkait studi ini, maka penelitian studi ini akan dibagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab pertama merupakan pendahuluan yang berisi penjelasan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi pada penelitian ini.

Bab kedua merupakan tinjauan pustaka. Bab ini menjelaskan tentang teori penunjang yang berkaitan dengan topik penelitian. Teori penunjang meliputi pembangkitan tegangan tinggi ac, media isolasi, isolasi udara, kekuatan dielektrik, kegagalan dielektrik, *partial discharge* dan antena *loop*.

Bab ketiga menjelaskan alat pengujian dan metode pengambilan data. Bab ini akan menguraikan tentang peralatan yang digunakan dalam menunjang penelitian serta metode yang digunakan pada penelitian.

Bab keempat merupakan hasil dan analisa data. Bab ini menjelaskan tentang hasil analisis data dari karakteristik sinyal/gelombang *multi source partial discharge* pada isolasi udara yang disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan gambar.

Bab kelima merupakan penutup pada penelitian ini. Bab ini berisikan tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa data yang telah diolah. Kesimpulan ini didapatkan dari analisa pengaruh jarak elektroda dan performansi jarak antena dalam mendeteksi *multi source partial discharge*. Serta saran-saran untuk pengembangan studi selanjutnya.

1.7 Relevansi

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Dapat digunakan sebagai refrensi dalam mendeteksi *multi source partial discharge* untuk industri yang bergerak pada bidang kelistrikan untuk menurunkan biaya pendeteksian *multi source partial discharge*.

2. Dapat digunakan untuk mengembangkan kembali penelitian ini agar metode yang digunakan untuk mendeteksi *multi source partial discharge* lebih sempurna.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Fenomena *partial discharge* merupakan fenomena kegagalan dielektrik yang dapat merusak peralatan. Banyak penelitian yang telah menjelaskan metode mendeteksi *partial discharge*. Metode yang digunakan seperti RC detector, *leakage current* dengan HFCT, *acoustic emission*, *optical spectroscopy*, dan yang terbaru menggunakan metode *ultra high frequency antenna*. Pada tahun 2015, dilakukan penelitian dengan membandingkan metode deteksi *partial discharge* menggunakan RC detector, HFCT, dan antena *loop* dengan judul “*Measurement Of Partial Discharge In Needle-Plane Electrode Using RC Detector, HFCT, and Antenna Sensors*” oleh Umar Khayam[5]. Hasil dari penelitian ini menyebutkan bahwa HFCT memiliki sensitivitas tertinggi dalam mendeteksi PD dan antena memiliki sensitivitas yang rendah. Pada tahun 2016, Umar Khayam telah melakukan penelitian mengenai *denoising* sinyal PD yang dideteksi oleh HFCT[6]. Penelitian ini menyimpulkan, *denoising* dapat dilakukan untuk menghilangkan *noise* pada sinyal PD, *denoising* menggunakan *soft threshold* lebih baik dari pada *hard threshold*. Pada tahun 2017, Umar Khayam mengembangkan penelitiannya berupa pengaruh *metal box* dalam mendeteksi *partial discharge*[7]. Hasil penelitian ini menunjukkan penggunaan *metal box* menghasilkan nilai *background noise*(BGN) lebih kecil, karena *metal box* berfungsi untuk mengurangi *noise* gelombang elektromagnetik.

Tahun 2018, Departemen Teknik Elektro ITS juga meneliti pendeteksian *partial discharge* dengan judul “*Impact of Diameter and Gap Distance on Partial Discharge Detection in Transformer Oil using RTL-SDR Method*”[8]. Pada penelitian tersebut menggunakan CT biasa, sedangkan dalam mendeteksi *partial discharge* dibutuhkan HFCT. Dari seluruh penelitian yang dilakukan, belum ada peneliti yang menganalisis karakteristik *multi source partial discharge* pada isolasi udara. Tulisan inilah yang nantinya akan menjadi acuan dalam menganalisa studi terkait.

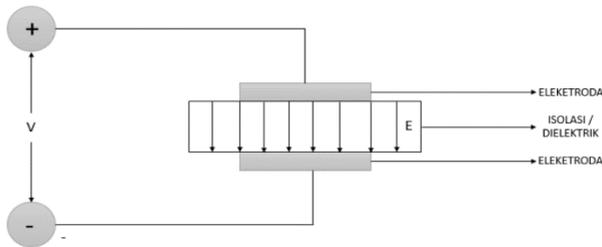
2.2 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Tegangan tinggi AC diperoleh dari trafo uji, dengan perbandingan belitan trafo uji jauh lebih besar dari pada trafo daya. Belitan primer trafo dihubungkan ke sumber tegangan rendah bolak-balik, 220V AC/50 Hz.

2.4 Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik merupakan kemampuan suatu bahan dielektrik dalam menahan tegangan tinggi tanpa menyebabkan kerusakan pada bahan isolasi. Teori dasar dalam sebuah kegagalan dielektrik adalah terdapatnya sepasang elektroda (*needle-plane*), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2, kemudian elektrode tersebut dipisahkan oleh bahan dielektrik. Kedua elektrode diberikan tegangan listrik sehingga medan listrik (E) akan bangkit. Elektron-elektron akan terlepas dari ikatannya dikarenakan medan listrik tersebut. Ketika bahan dielektrik sudah tidak mampu menahan tegangan tertentu, maka akan terjadi fenomena *breakdown*.

Berikut persamaan dalam menentukan kekuatan dielektrik:



Gambar 2.2 Orde Kegagalan Material Isolasi

$$E = \frac{V}{d} \dots\dots\dots (2.1)$$

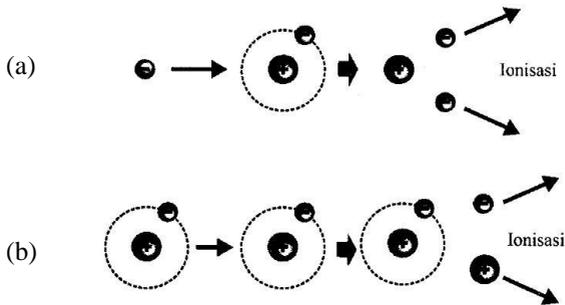
- E = Kuat medan listrik pada dielektrik (kV/cm)
- V = *Breakdown voltage* pada alat ukur (kV)
- D = Jarak sela elektrode (cm)

2.5 Kegagalan Dielektrik Udara

Proses kegagalan pada isolasi udara tergantung pada pembawa muatan (elektron dan ion). Muatan tersebut bergerak disebabkan oleh medan listrik dengan energi tertentu melalui proses ionisasi. Ionisasi merupakan proses perbanyakan elektron. Proses dari kegagalan isolasi udara adalah benturan antara suatu partikel dengan partikel lain. Proses dasar tersebut adalah proses primer dan sekunder, dimana proses primer memungkinkan terjadinya banjir elektron, sedangkan proses sekunder memungkinkan banjir elektron akan meningkat.

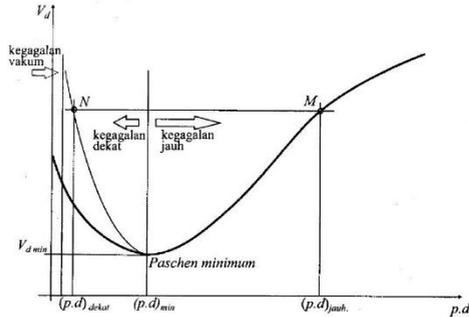
Ketika sepasang elektrode pada isolasi udara diberikan tegangan tertentu maka menghasilkan medan listrik dengan arah tertentu yang

menyebabkan elektron bebas mendapatkan energi yang cukup untuk menuju anoda sehingga menimbulkan proses ionisasi. Jika tegangan meningkat maka jumlah elektron yang terionisasi semakin banyak. Elektron tersebut akan terus bergerak menuju anoda sambil mengalami benturan sehingga menyebabkan banjir elektron. Proses benturan ini dapat dilihat pada gambar 2.3[10]. Mekanisme kegagalan pada isolasi udara dikenal dengan percikan (*spark breakdown*). Sifat mendasar dari kegagalan percikan ini adalah tegangan pada sela antar elektrode akan menurun karena adanya proses yang menghasilkan konduktivitas tinggi antar elektrode.



Gambar 2.3 Ionisasi Benturan Langsung, (a) Elektron Membentur Molekul (b) Molekul Membentur Molekul

Mekanisme kegagalan isolasi udara terbagi dua yaitu mekanisme *townsend* dan mekanisme *streamer*. Berdasarkan hukum *paschen*, *breakdown voltage* akan meningkat ketika tekanan udara dan jarak dinaikan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4. Hal ini disebabkan karena tekanan gas yang semakin tinggi mengakibatkan rapatnya molekul udara sehingga elektron membutuhkan energi yang besar untuk bergerak. Mekanisme *townsend* merupakan awal dari peluahan dan dilanjutkan pada mekanisme *streamer*[11].



Gambar 2.4 Kurva Paschen

Mekanisme *townsend* menjelaskan tentang proses pembentukan kegagalan yang terjadi ketika jumlah elektron $N \leq 10^8$, fenomena ini terjadi pada jarak sela yang kecil dan tekanan yang rendah. Mekanisme *streamer* merupakan lanjutan dari mekanisme *townsend* yang terjadi ketika jumlah elektron $N > 10^8$ [10].

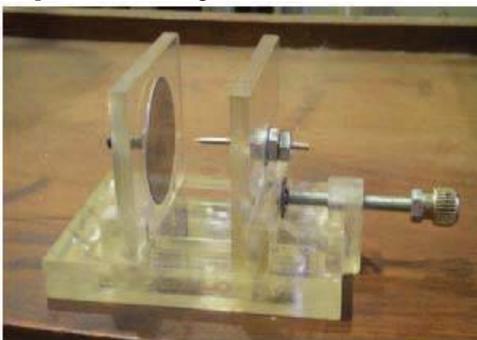
2.6 Partial Discharge

Partial discharge (PD) merupakan proses ionisasi elektron yang terjadi pada volume isolasi kecil karena adanya medan listrik yang tidak homogen. Energi yang dihasilkan pada proses ini cukup kecil, namun jika dibiarkan terlalu lama akan menyebabkan kegagalan bahan isolasi. Secara umum, PD terjadi pada isolasi yang rusak, ditandai adanya rongga atau *void* pada isolasi. Hal ini mengakibatkan penurunan performansi suatu sistem isolasi karena PD mengalami peningkatan pada bagian *void* tersebut. Akibat kegagalan isolasi pada peralatan tegangan tinggi akan membutuhkan *maintenance* yang mahal dan memakan waktu yang cukup lama karena seluruh komponen peralatan listrik harus diganti. Oleh karena itu pengukuran dan analisis PD sangat diperlukan untuk menilai kinerja dan kondisi sistem isolasi, sehingga dapat menghindari kerusakan yang tidak diinginkan. Hal ini dapat membantu mengurangi biaya dan waktu *maintenance*.

Terdapat dua metode untuk mengukur dan menganalisa aktivitas PD yaitu, *phase resolved partial discharge* (PRPD) dan *pulse sequential analysis* (PSA). Metode ini dapat digunakan untuk membedakan jenis-jenis PD berdasarkan pola yang diperoleh. Metode PRPD menunjukkan kejadian PD pada fasa tertentu dari tegangan yang diberikan, dengan

melihat besaran muatan PD dalam jumlah tertentu dari siklus tegangan yang diterapkan. Sedangkan metode PSA melihat aktivitas PD yang terjadi pada tegangan yang diberikan pada waktu tertentu. Metode ini tidak mempertimbangkan besarnya muatan PD dan fase terjadinya PD. Secara umum PSA memanfaatkan urutan terjadinya PD[12].

Beberapa peneliti menjelaskan bahwa karakteristik dari *partial discharge* tergantung dari bentuk elektroda, nilai tegangan yang diberikan, dan sifat dari bahan isolasi. Oleh karena itu, bentuk elektrode sangat mempengaruhi dalam mendeteksi *partial discharge*. Hal ini dilihat melalui penyebaran medan listrik disekitaran elektrode khususnya elektroda runcing[5]. Hal ini menjadi faktor utama bagi beberapa peneliti dalam menganalisa karakteristik *partial discharge* dengan menggunakan elektroda *needle-plane*. Berikut gambar dari elektroda *needle-plane*.



Gambar 2.5 Elektroda *Needle-Plane*[5]

2.7 Antena Loop

Antena dapat digunakan untuk menangkap gelombang elektromagnetik dari udara dan dikonversikan menjadi besaran listrik melalui saluran transmisi, begitu pula sebaliknya yaitu untuk memancarkan gelombang elektromagnetik. *Partial discharge* menyebabkan fenomena fisik dalam beberapa bentuk seperti cahaya, gelombang elektromagnetik, dan akustik. Berbagai jenis sensor PD telah dikembangkan untuk mendeteksi dan mengukur gelombang elektromagnetik yang diinduksi PD, salah satunya antena *loop*. Antena *loop* dirancang untuk mendeteksi PD karena sederhana dan murah. Antena *loop* dirancang untuk mendeteksi gelombang elektromagnetik yang menginduksi *partial discharge* dalam rentang frekuensi tertentu dengan *bandwidth* yang lebih lebar. Frekuensi gelombang

elektromagnetik PD tergantung dari bentuk elektroda yang digunakan. Ketika medan magnet melewati kumparan antena, maka akan menghasilkan tegangan induksi yang melewati lilitan[4]. Berdasarkan hukum Faraday, medan magnet melewati permukaan yang dibatasi oleh jalur tertutup akan menginduksi tegangan disekita *loop*. Hal ini dapat dinyatakan pada persamaan berikut.

$$V_{ind} = -N \frac{d\psi}{dt} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\psi = \int B \cdot dS \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

- N = banyak lilitan
- ψ = fluks magnet
- B = induksi magnet
- S = area permukaan

Antena *loop* merupakan salah satu tipe antena yang sederhana, tetapi mempunyai kemampuan yang tinggi. Antena ini terdiri dari gulungan kawat, tabung, atau konduktor listrik lainnya yang bagian ujungnya terkoneksi dengan saluran transmisi. Antena dapat mengirim dan menerima sinyal. Antena *loop* memiliki pola radiasi dipol, dimana antena memiliki sensitivitas yang bagus terhadap gelombang elektromagnetik pada dua lobus di arah yang berlawanan, terpisah 180°. Semakin besar ukuran antena *loop* maka semakin baik pula performansinya. Sebuah antena *loop* akan beresonansi sebagai parameter *loop* mendekati satu panjang gelombang dalam ukuran. Oleh karena itu antena *loop* yang berfrekuensi 200 MHz harus memiliki keliling 15 cm atau lebih, untuk antena *loop* 150 MHz hanya perlu sekitar 20 cm. Gambar 2.6 menunjukkan contoh dari antena *loop*. Dalam mendesain antena *loop*, dimensi antena dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut[4].

$$f = \frac{c}{\lambda} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

- f = frekuensi (Hz)
- c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)
- λ = panjang gelombang (m)



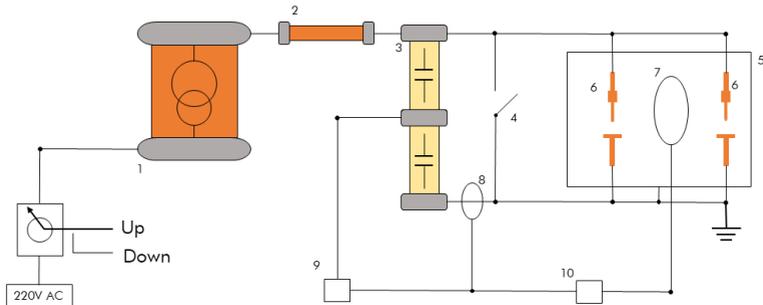
Gambar 2.6 Antena Loop[4]

BAB III

ALAT PENGUJIAN DAN METODE PENGAMBILAN DATA

3.1 Peralatan Pengujian

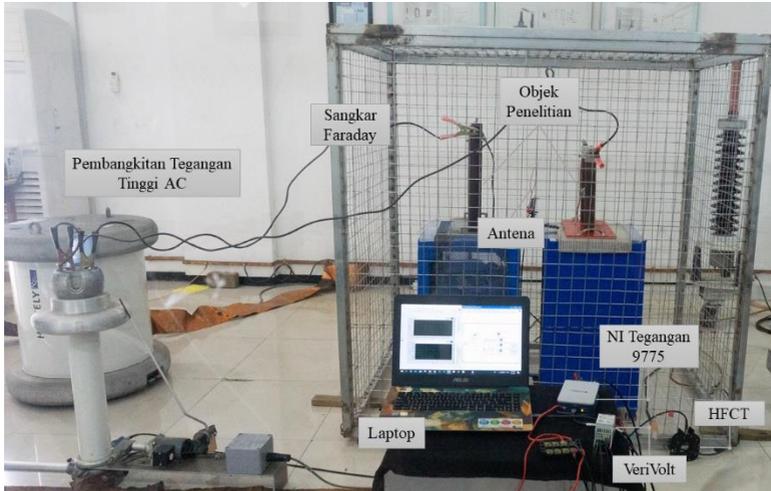
Pada penelitian ini menggunakan tegangan tinggi AC dalam pengujian untuk mengetahui karakteristik *multi source partial discharge*. Gambar 3.1 merupakan skema rangkaian pengujian yang digunakan pada penelitian ini. Pengujian ini menggunakan beberapa peralatan *hardware* maupun *software* sebagai penunjang dalam mendapatkan dan mengolah data hasil pengujian. Peralatan *hardware* yang digunakan seperti pembangkit tegangan tinggi AC, sangkar Faraday, elektroda uji, isolasi udara, antena *loop*, *high frequency current transformer*(HFCT), *national instrument*(NI), verivolt entube DE-HB. Gambar 3.2 merupakan rangkaian yang digunakan selama pengujian.



Gambar 3.1 Skema Deteksi *Multi Source Partial Discharge*

Keterangan :

- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| 1. Trafo Uji | 2. <i>Resistor Damping</i> |
| 3. Kapasitor Pengukuran | 4. <i>Grounding Switch</i> |
| 5. Sangkar Faraday | 6. Objek Penelitian |
| 7. Antena <i>Loop</i> | 8. HFCT |
| 9. NI Tegangan 9775 | 10. VeriVolt |

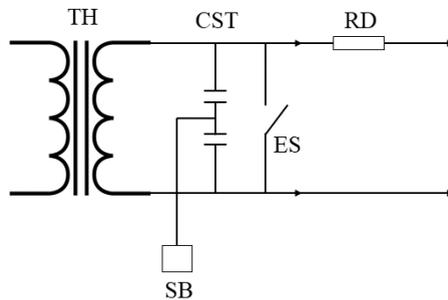


Gambar 3.2 Rangkaian Deteksi *Multi Source Partial Discharge*

Peralatan *software* yang digunakan adalah LabView, DIADem, *microsoft excel*, dan *matlabR2015b*.

3.1.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Tegangan tinggi AC yang digunakan untuk pengujian ini dibangkitkan dari transformator uji di laboratorium tegangan tinggi teknik elektro ITS. Pembangkitan yang digunakan adalah model *Haefely*.



Gambar 3.3 Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi AC

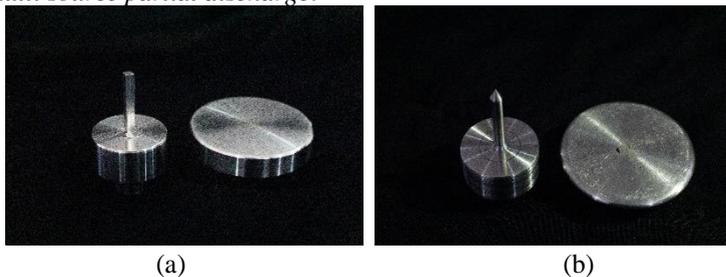
Tabel 3.1 Spesifikasi Pembangkit Tegangan Tinggi AC

<i>HV-Transformer</i>	<i>PZT 100-0,1</i>
<i>Rated Voltage</i>	$2 \times 220/100'000/220 \text{ V}$
<i>Rated Current</i>	$2 \times 220/0,09/23 \text{ A}$
<i>Rated Power</i>	9 kVA continuous
<i>Rated Power</i>	$10 \text{ kVA } 1\text{h ON } 23\text{h OFF}$
<i>Frequency</i>	$50/60 \text{ Hz}$
<i>Short Circuit Impedance</i>	<i>Approx, 5% at 9kVA, 50 Hz</i>

Tegangan suplai yang digunakan oleh transformator uji berasal dari PLN 220V yang memiliki perbandingan 220/100.000 V, output tegangan tinggi AC akan diukur menggunakan kapasitor pengukuran yang selanjutnya diukur oleh *control box*, sebelum menuju objek yang ingin diuji, tegangan AC melewati *resistor damping* terlebih dahulu. Sebelum dan sesudah pengujian *grounding switch* pada posisi menutup untuk menyalurkan arus sisa ke tanah.

3.1.2 Elektroda Uji

Elektroda uji yang digunakan merupakan tipe *sharp-plane* dan *flat-plane*. Kedua pasang elektroda ini dipilih karena memiliki bentuk yang berbeda sehingga mempengaruhi antena dalam mendeteksi sinyal *multi source partial discharge*. Hal ini dilihat melalui penyebaran medan listrik disekitaran elektrode[5]. Elektroda *sharp* dan *flat* dihubungkan kutub positif dan elektroda *plane* dihubungkan kutub negatif. Bahan elektroda terbuat dari *stainless steel*. Jarak kedua pasang elektroda uji divariasikan sebesar 0,7 cm dan 1,4 cm untuk mengetahui karakteristik *multi source partial discharge*.



Gambar 3.4 (a) Elektroda *Flat-Plane*(b) Elektroda *Sharp-Plane*

3.1.3 High Frequency Current Transformer

High Frequency Current Transformer (HFCT) merupakan peralatan yang digunakan untuk mengubah arus AC menjadi tegangan AC dengan karakteristik yang sama. Berdasarkan standar IEC 60270 metode yang digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* adalah menggunakan HFCT. Sehingga HFCT digunakan untuk mendeteksi *partial discharge*, dengan menurunkan arus pada kabel yang diukur agar sesuai dengan *rating* alat ukur. Karena arus sekunder menghasilkan karakteristik yang sama dengan arus primer, *partial discharge* yang terjadi pada arus primer dapat dideteksi pada alat ukur. Sensor HFCT dipasang pada sisi kabel *ground*[13]. Pada pengujian HFCT yang digunakan adalah iHFCT-54. Dalam memvalidasikan gelombang yang dideteksi oleh antenna, dilakukan dengan cara memastikan sinyal PD kedua gelombang yang dideteksi oleh antenna dan HFCT memiliki sudut phasa yang sama.



Gambar 3.5 High Freuency Current Transformer

Tabel 3.2 Spesifikasi HFCT

<i>Application</i>	<i>Indoor or Outdoor</i>
<i>Bandwidth</i>	<i>0,3 ~ 150 MHz</i>
<i>Load Impedance</i>	<i>50 Ω</i>
<i>Sensitivity</i>	<i>$I_{in} 1mA (P-P), V_{out} \geq 16mV (P-P)$</i>
<i>Operating Temperature</i>	<i>-45 ~ +80 °C</i>
<i>Signal Termination</i>	<i>BNC or N-50</i>

3.1.4 Antena Loop

Antena *loop* pada peralatan listrik diperlukan untuk menerima gelombang elektromagnetik. Ketika medan magnet pada waktu tertentu melewati kumparan, menginduksi tegangan yang melintasi terminal kumparan. Antena *loop* dirancang untuk memaksimalkan tegangan yang diinduksi untuk jenis frekuensi resonansi tertentu. Untuk mendeteksi *partial discharge* membutuhkan *flat frequency response*, *resonance frequency band* harus dihindari dengan proses desain yang memadai[4]. Pada pengujian ini antena *loop* berbahan tembaga dengan diameter 5 mm dengan keliling 31 cm. Diameter dari antena *loop* adalah 10 cm.



Gambar 3.6 Antena Loop

Berdasarkan keliling antena *loop* sebesar 31 cm maka dapat dihitung rentang frekuensi kerja antena *loop* dalam mendeteksi sinyal gelombang elektromagnetik yang diinduksi *multi source partial discharge* dengan menggunakan persamaan 2.4. Lingkaran antena *loop* diatur menjadi sepersepuluh dari panjang gelombang yang diinduksi PD untuk perkiraan distribusi arus yang konstan[4], sehingga panjang gelombang antena sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{l}{0,1} = \frac{31}{0,1} = 310 \text{ cm} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan mengetahui nilai λ , maka dapat dihitung rentang frekuensi antenna *loop* sebagai berikut.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{300 \times 10^6}{310 \times 10^{-2}} = 0,967 \times 10^8 \text{ Hz} \dots\dots\dots(3.2)$$

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui antenna *loop* mampu mendeteksi sinyal gelombang elektromagnetik yang diinduksi *multi source partial discharge* pada rentang frekuensi 0-96,7 MHz. Jika diperhatikan tabel 3.3, antenna *loop* bekerja pada rentang frekuensi 30-300 MHz yang menunjukkan pada kategori *Very High Frequency* (VHF).

Tabel 3.3 Spesifikasi Rentang Frekuensi Untuk Radar Berdasarkan ITU

<i>Frequency Range</i>	<i>Band No.</i>	<i>Adjectival Band Designating</i>
3-30 MHz	7	<i>High Frequency (HF)</i>
30-300 MHz	8	<i>Very High Frequency (VHF)</i>
0,3-3 GHz	9	<i>Ultra High Frequency (UHF)</i>
3- 30 GHz	10	<i>Super High Frequency (SHF)</i>
30-300 GHz	11	<i>Extremely High Frequency (EHF)</i>

3.1.5 National Instrument Voltage 9775

National instrument(NI) merupakan *Compact DAQ(cDAQ)* atau *analogue input module* yang digunakan sebagai akusisi data. NI 9775 diperlukan untuk mengukur fenomena-fenomena kelistrikan seperti gangguan pada saluran transmisi yang diakibatkan oleh sambaran petir atau peristiwa kegagalan pada isolasi selama 20 MS/s/ch. Pada studi ini NI 9775 digunakan untuk merekam *multi source partial discharge voltage* pada isolasi udara yang dideteksi oleh antenna dan HFCT.

NI 9775 hanya boleh digunakan jika peralatan yang diukur memiliki suhu -40° hingga 70° . NI 9775 memungkinkan mengirim data ke pengontrol sebesar 128 Mbit untuk dianalisis.



Gambar 3.7 NI Tegangan 9775

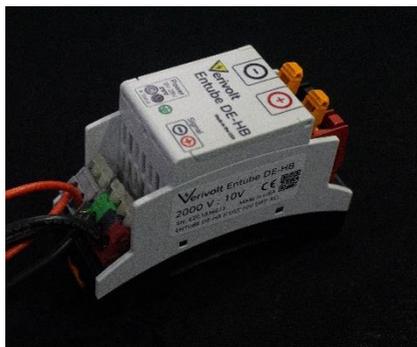
Tabel 3.4 Spesifikasi NI Tegangan 9775

<i>Number of Channels</i>	<i>4 (Simultaneously Sampled)</i>
<i>Input Type</i>	<i>Reference Single-Ended</i>
<i>Input Impedance</i>	<i>1 MΩ</i>
<i>Input Capacitance</i>	<i>24 pF</i>
<i>Input Coupling</i>	<i>DC</i>
<i>Input Range</i>	
<i>Nominal</i>	<i>± 10 Volt</i>
<i>Typical</i>	<i>$\pm 11,3$ Volt</i>
<i>Minimum</i>	<i>$\pm 10,4$ Volt</i>
<i>ADC Resolution</i>	<i>14 Bits</i>
<i>Overvoltage Protection</i>	<i>± 30 Volt DC, safe operating area</i>

3.1.6 VeriVolt Entube DE-HB

Entube DE-HB dirancang untuk memungkinkan pengukuran sinyal tegangan tinggi. Verivolt Entube DE-HB merupakan sensor tegangan dengan spesifikasi masukan tegangan maksimal $\pm 2000\text{V}$ dan keluaran tegangan $\pm 1\text{V}$ hingga $\pm 10\text{V}$. Penggunaan NI 9775 memerlukan impedansi masukan yang tinggi, dengan menggunakan probe tegangan konvensional tidak memungkinkan untuk dilakukan pengukuran

tegangan. Sehingga Verivolt Entube DE-HB dapat dihubungkan dengan NI 9775.



Gambar 3.8 VeriVolt Entube DE-HB

Tabel 3.5 Spesifikasi VeriVolt Entube DE-HB

<i>Max Input Delay</i>	$< 20 \text{ ns}$
<i>Gain Temperature Drift</i>	$\pm 40 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$
<i>Power Supply Voltage</i>	$8\text{V to } 28\text{V}$
<i>Output Offset Voltage</i>	$< \pm 0,5 \text{ mV}$ (on $\pm 10\text{V}$ signal)
<i>Operating Temperature</i>	$-0 \text{ to } 70^\circ\text{C}$

Cara pemakaian Verivolt Entube DE-HB:

1. Sensor *ground* dihubungkan dengan kabel pentanahan yang terletak di sebelah dua konektor pegas. Hubungkan sumber eksternal sebesar 8V hingga 28V untuk memberi daya pada unit.
2. Masukkan sepasang kawat pada masing-masing konektor dan hubungkan sepasang kawat tersebut dengan konektor BNC. Polaritas sinyal yang keluar harus sesuai dengan sinyal masukan.
3. Hubungkan kabel sesuai dengan tanda positif dan negatif. Gunakan sepasang kabel yang sesuai standar.

3.2 Pelaksanaan Pengujian

Penelitian yang dilakukan di laboratorium tegangan tinggi teknik elektro ITS. Pengujian menggunakan tegangan tinggi AC yang dihubungkan dengan elektrode uji pada isolasi udara.

Langkah pertama, mempersiapkan semua alat-alat pengujian seperti, pembangkit tegangan tinggi AC, dua pasang elektrode uji yang berbeda tipe, sangkar faraday, *national instrument*, HFCT, antena *loop*, verivolt, serta laptop. Pembangkitan tegangan tinggi AC dihubungkan ke objek penelitian yaitu dua pasang elektroda uji dengan jarak elektroda uji divariasikan sebesar 0,7 cm dan 1,4 cm, serta jarak antena *loop* dengan *multi source partial discharge* akan divariasikan 10 cm, 20 cm, dan 30 cm untuk mengetahui jarak optimal antena *loop* untuk mendeteksi *multi source partial discharge*.

Setelah peralatan pengujian dipersiapkan, kemudian objek pengujian akan disuplai tegangan tinggi AC secara perlahan mulai 0 kV, 2kV, 4kV hingga muncul aktivitas sinyal *pre-breakdown* yang dapat dilihat melalui NI. Medan elektromagnetik yang muncul disekitar objek pengujian akan ditangkap oleh antena *loop*[4]. Aktivitas *multi source partial discharge* yang ditangkap oleh antena *loop* dapat dilihat dengan menggunakan *software* LabView. HFCT digunakan untuk memvalidasikan data yang didapat, sehingga data yang dideteksi oleh antena *loop* akan disesuaikan. Hal ini dikarenakan HFCT memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi dalam mendeteksi PD[5], namun antena *loop* memiliki keunggulan yaitu karakteristik yang bagus, kecil, simpel dan murah[3]. Pengambilan data antena *loop* dan HFCT dilakukan secara bersamaan sehingga data yang diperoleh dapat dibandingkan dengan mudah.

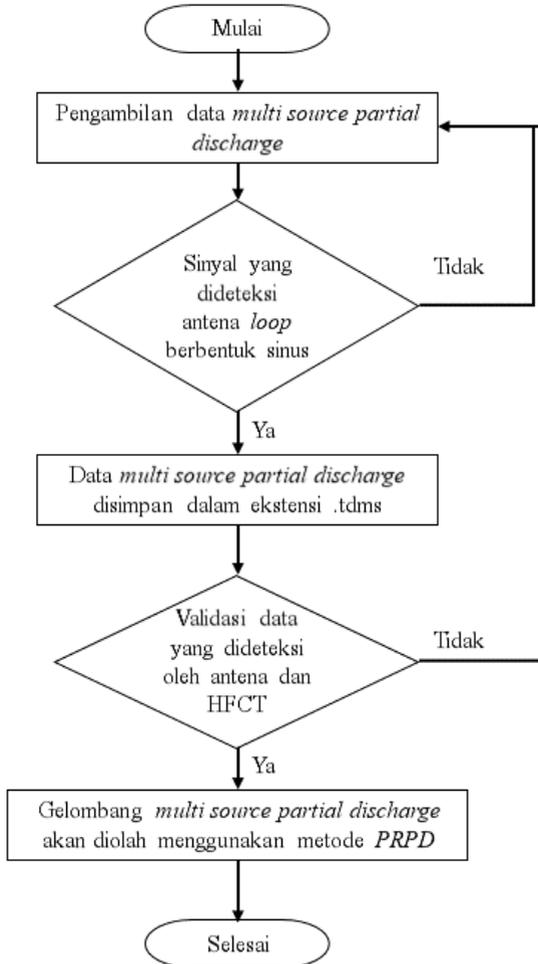
3.3 Pengolahan dan Akuisi Data

Akuisi data sinyal tegangan dari *national instrument* membutuhkan pengolahan sebagai berikut:

1. Data diambil ketika kondisi *partial discharge inception* hingga *partial discharge steady state* selama 30 detik.
2. Data *multi source partial discharge* yang didapatkan dari *national instrument*, disimpan dalam ekstensi *.tdms*(*Technical Data Management Streaming*) sehingga file dapat dibuka dan diolah di *DIAdem* dan *microsoft excel*.
3. Data *multi source partial discharge* yang dideteksi antena *loop* akan divalidasikan dengan data yang dideteksi oleh HFCT.
4. Gelombang *multi source partial discharge* yang dideteksi oleh antena *loop* akan diolah dengan metode PRPD secara manual dengan *software microsoft excel*.

5. Nilai PRPD yang telah didapat akan kembali diplot pada *software* matlabR2015b sehingga dapat menampilkan grafik sinus dengan titik PRPD.

Adapun proses pengolahan data ditampilkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Flowchart Pengolahan Data

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS DATA

Penelitian ini membahas tentang karakteristik *multi source partial discharge* yang dipengaruhi oleh jarak elektroda, serta jarak performansi antenna *loop* dalam mendeteksi *multi source partial discharge*. Proses pengambilan data hanya pada kondisi *pre-breakdown*, dapat dilihat dengan adanya gelombang PD yang dideteksi oleh antenna *loop* dan HFCT. Sinyal akan diambil beberapa kV sebelum *breakdown* untuk menghindari lonjakan arus sesaat yang berpotensi merusak peralatan.

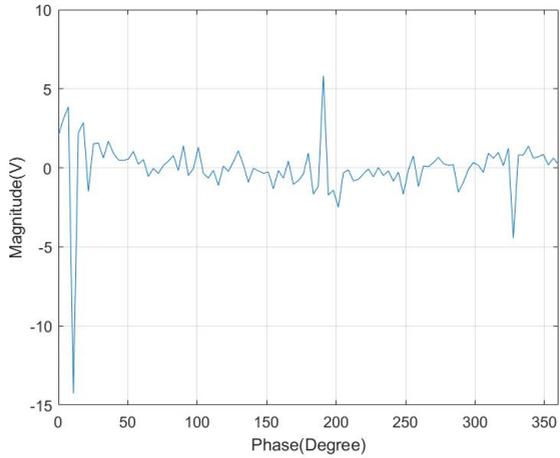
Jarak elektroda pada tiap pengambilan data akan divariasikan 0,7 cm dan 1,4 cm. Hal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *multi source partial discharge* pada isolasi udara. Jarak antenna terhadap elektroda uji pada tiap pengambilan data pun akan divariasikan yaitu 10 cm, 20 cm, dan 30, hal ini bertujuan untuk mengetahui jarak optimal antenna *loop* dalam mendeteksi *multi source partial discharge*.

4.1 Analisa Multi Source Partial discharge pada Isolasi Udara

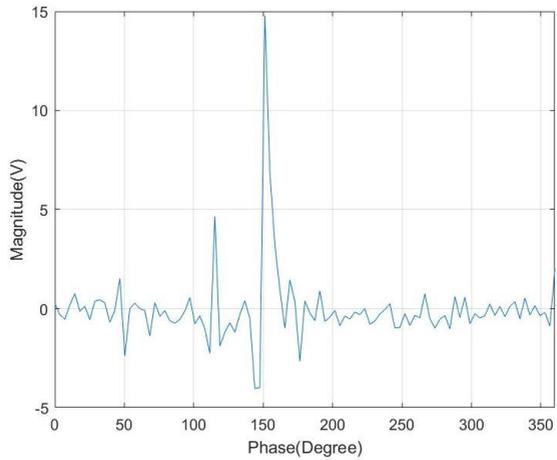
4.1.1 Analisa Multi Source Partial discharge oleh Antena pada Isolasi Udara dengan Jarak Elektroda 0,7 cm

Multi source partial discharge dapat diketahui melalui tegangan maksimum yang diterima oleh antenna *loop*. Berdasarkan pengujian diketahui bahwa semakin dekat jarak antenna terhadap objek pengujian maka tegangan yang diterima oleh antenna *loop* akan semakin meningkat. Hal tersebut dikarenakan redaman gelombang elektromagnetik. Intensitas gelombang elektromagnetik akan berkurang ketika gelombang elektromagnetik melewati jarak tertentu. Redaman ini dapat disebabkan oleh absorpsi, difraksi dan refleksi gelombang elektromagnetik. Sehingga peningkatan jarak antenna terhadap objek pengujian akan mengurangi besarnya V_{pp} dari gelombang elektromagnetik yang diinduksi PD[3].

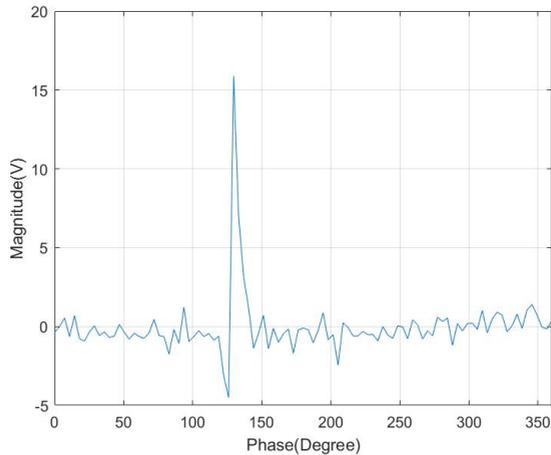
Tegangan yang diberikan untuk jarak elektroda 0,7 cm sebesar 5,5 kV. Pada jarak antenna 30 cm, dapat dilihat pada gambar 4.1 memiliki nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 14,25 V. Kemudian jarak antenna 20 cm ditunjukkan pada gambar 4.2 memiliki nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 14,78 V. Dan pada gambar 4.3 dengan jarak antenna 10 cm dapat dilihat nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 15,87 V.



Gambar 4.1 *Multi Source Partial Discharge* dengan Jarak Antena Loop 30 cm



Gambar 4.2 *Multi Source Partial Discharge* dengan Jarak Antena Loop 20 cm



Gambar 4.3 *Multi Source Partial Discharge* dengan Jarak Antena Loop 10 cm

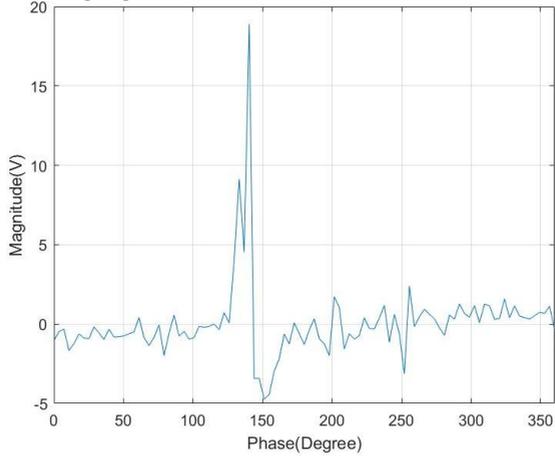
Jika diperhatikan, nilai amplitudo tegangan maksimum pada jarak antena 30 cm, 20 cm, dan 10 cm bernilai yang hampir sama hal ini disebabkan kinerja antena dalam mendeteksi *multi source partial discharge* yang telah menurun. Analisa lain yang dapat diketahui adalah suhu, kelembaban, serta cuaca yang tidak tetap.

4.1.2 Analisa *Multi Source Partial discharge* oleh Antena pada Isolasi Udara dengan Jarak Elektroda 1,4 cm

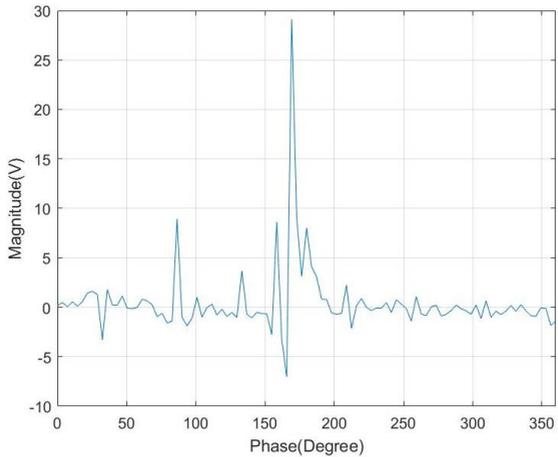
Multi source partial discharge dapat diketahui melalui tegangan maksimum yang diterima oleh antena *loop*. Berdasarkan pengujian diketahui bahwa semakin dekat jarak antena terhadap objek pengujian maka tegangan yang diterima oleh antena *loop* akan semakin meningkat. Hal tersebut dikarenakan redaman gelombang elektromagnetik. Intensitas gelombang elektromagnetik akan berkurang ketika gelombang elektromagnetik melewati jarak tertentu. Redaman ini dapat disebabkan oleh absorpsi, difraksi dan refleksi gelombang elektromagnetik. Sehingga peningkatan jarak antena terhadap objek pengujian akan mengurangi besarnya V_{pp} dari gelombang elektromagnetik yang diinduksi PD[3].

Tegangan yang diberikan untuk jarak elektroda 1,4 cm sebesar 10 kV. Pada jarak antena 30 cm, dapat dilihat pada gambar 4.4 memiliki nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 18,90 V. Kemudian jarak antena

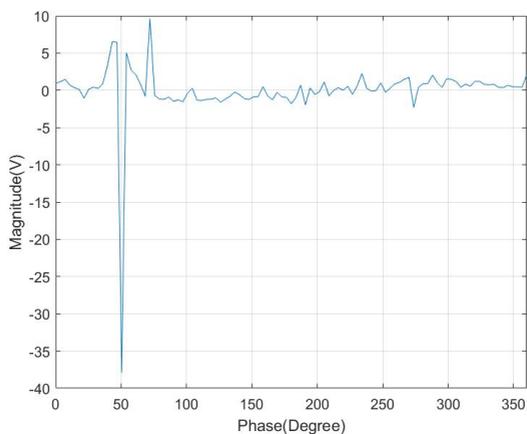
20 cm, gambar 4.5 menunjukkan nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 29,12 V. Dan jarak antenna 10 cm, pada gambar 4.6 dapat dilihat nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 37,902 V.



Gambar 4.4 *Multi Source Partial Discharge* dengan Jarak Antena Loop 30 cm



Gambar 4.5 *Multi Source Partial Discharge* dengan Jarak Antena Loop 20 cm



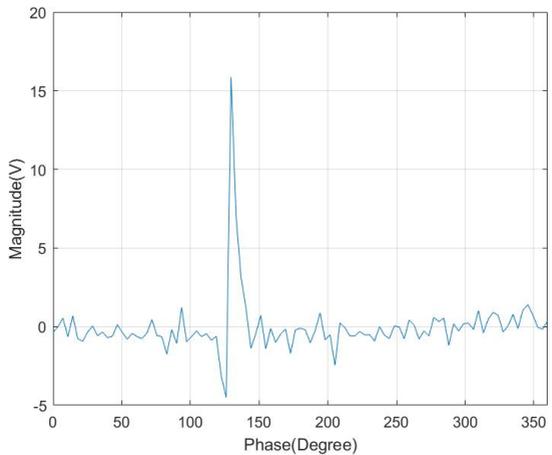
Gambar 4.6 *Multi Source Partial Discharge* dengan Jarak Antena Loop 10 cm

Nilai amplitudo tegangan maksimum yang dideteksi antena *loop* untuk jarak antena sebesar 30 cm, 20 cm, dan 10 cm memiliki nilai amplitudo tegangan maksimum yang jauh berbeda hal ini disebabkan kekuatan deteksi antena pada kondisi optimal/sensitivitasnya sangat baik. Analisa lain yang dapat diketahui adalah suhu, kelembaban, serta cuaca cenderung tetap.

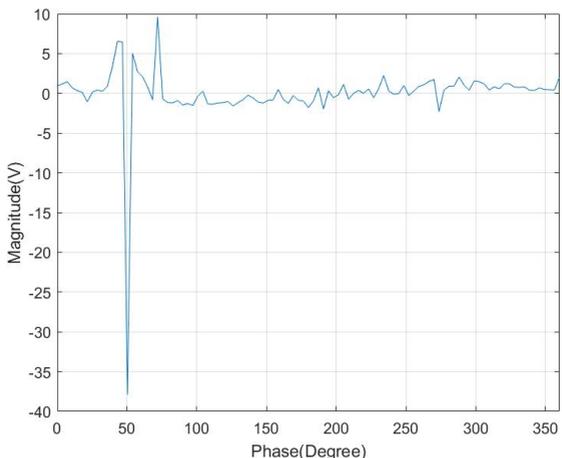
4.1.3 Analisa *Multi Source Partial discharge* oleh Antena pada Isolasi Udara dengan 2 Jarak Elektroda Berbeda

Variasi jarak elektroda pada isolasi udara memiliki karakteristik pengujian yang berbeda. Hal tersebut dapat diketahui berdasarkan hukum *paschen* pada tekanan udara yang sama dan jarak yang berbeda akan mempengaruhi tegangan *breakdown* sehingga hal tersebut juga mempengaruhi tegangan *pre-breakdown*. Pada gambar 4.7, nilai tegangan *pre-breakdown* pada jarak elektroda 0,7 cm adalah 5,5 kV. Sedangkan gambar 4.8, nilai tegangan *pre-breakdown* pada jarak elektroda 1,4 cm adalah 10 kV. Pada gambar 4.7 memiliki nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 15,87 V. Gambar 4.8 menunjukkan nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 37,902 V. Berdasarkan nilai tersebut dapat diketahui bahwa jarak elektroda 1,4 cm menghasilkan medan elektromagnetik yang lebih besar dibandingkan dengan jarak elektroda 0,7 cm. Hal ini dikarenakan *corona discharge* pada jarak elektroda 1,4 cm

lebih tinggi dari pada jarak elektroda 0,7 cm. Selain itu, Besarnya PD serta kemunculan PD sangat tergantung pada tegangan yang diberikan sesaat[5]. Gambar 4.7 dan gambar 4.8 menunjukkan perbedaan nilai amplitudo maksimum tegangan yang diterima oleh antenna *loop* dengan jarak 10 cm.



Gambar 4.7 Deteksi *Multi Source Partial Discharge* oleh Antena dengan Jarak Elektroda 0,7 cm

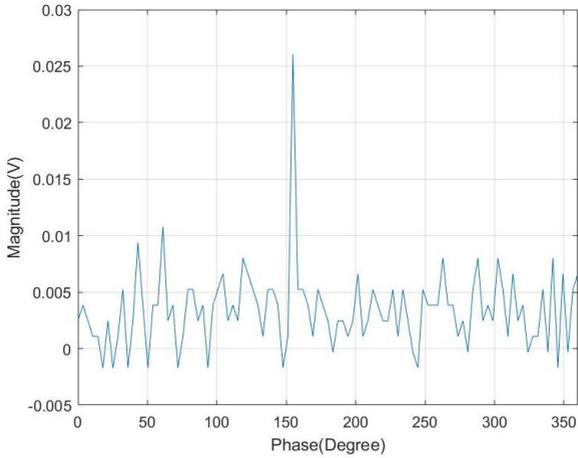


Gambar 4.8 Deteksi *Multi Source Partial Discharge* oleh Antena dengan Jarak Elektroda 1,4 cm

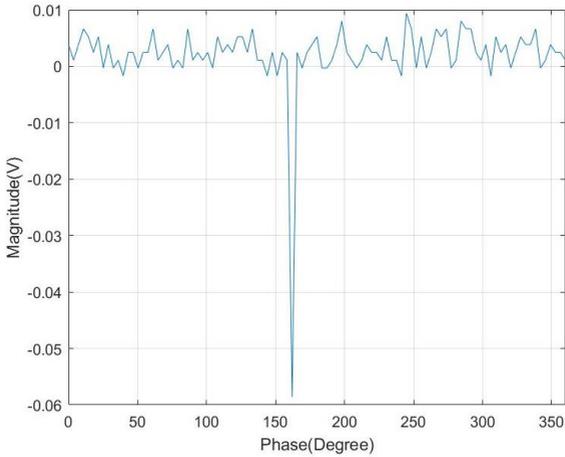
4.1.4 Analisa Multi Source Partial discharge oleh HFCT pada Isolasi Udara dengan 2 Jarak Elektroda Berbeda

Setiap bahan isolasi akan menghantarkan arus. Jika tegangan dinaikan hingga kondisi tertentu, elektron-elektron akan saling bertabrakan sehingga mengakibatkan isolator akan teraliri arus. Arus bocor tersebut dapat diakibatkan oleh kekuatan dielektrik isolator, temperatur, bahan, dan kontaminasi. Arus bocor yang kian meningkat akan mengakibatkan kegagalan isolasi.

Variasi jarak elektroda pada isolasi udara memiliki karakteristik pengujian yang berbeda. Hal tersebut dapat diketahui berdasarkan hukum *paschen* pada tekanan udara yang sama dan jarak yang berbeda akan mempengaruhi tegangan *breakdown* sehingga hal tersebut juga mempengaruhi tegangan *pre-breakdown*. Pada gambar 4.9, nilai tegangan *pre-breakdown* pada jarak elektroda 0,7 cm adalah 5,5 kV. Sedangkan gambar 4.10, nilai tegangan *pre-breakdown* pada jarak elektroda 1,4 cm adalah 10 kV. Pada gambar 4.9 nilai amplitudo tegangan maksimum pada jarak elektroda 0,7 cm sebesar 0,026 V. Lalu pada gambar 4.10 nilai amplitudo tegangan maksimum pada jarak elektroda 1,4 cm sebesar 0,058 V. Melalui gambar 4.9 dan gambar 4.10 dapat disimpulkan bahwa semakin besar jarak antar elektroda maka amplitudo arus bocor akan semakin besar. Hal ini dikarenakan besarnya PD serta kemunculan PD sangat tergantung pada tegangan yang diberikan sesaat[5]. Gambar 4.9 dan gambar 4.10 menunjukkan perbedaan nilai amplitudo maksimum tegangan yang diterima oleh HFCT pada jarak antenna 10 cm.



Gambar 4.9 Deteksi *Multi Source Partial Discharge* oleh HFCT dengan Jarak Elektroda 0,7 cm



Gambar 4.10 Deteksi *Multi Source Partial Discharge* oleh HFCT dengan Jarak Elektroda 1,4 cm

Untuk mengetahui nilai *leakage current* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{1 \text{ mA}}{16 \text{ mV}} = \frac{I_o}{V_{p-p}} \dots\dots\dots (4.1)$$

- Jarak Elektroda 0,7 cm

$$\frac{1 \text{ mA}}{16 \text{ mV}} = \frac{I_o}{0,026 \text{ V}} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$I_o = \frac{0,026}{0,016}$$

$$I_o = 1,625 \text{ mA}$$

- Jarak Elektroda 1,4 cm

$$\frac{1 \text{ mA}}{16 \text{ mV}} = \frac{I_o}{0,058 \text{ V}} \dots\dots\dots (4.3)$$

$$I_o = \frac{0,058}{0,016}$$

$$I_o = 3,625 \text{ mA}$$

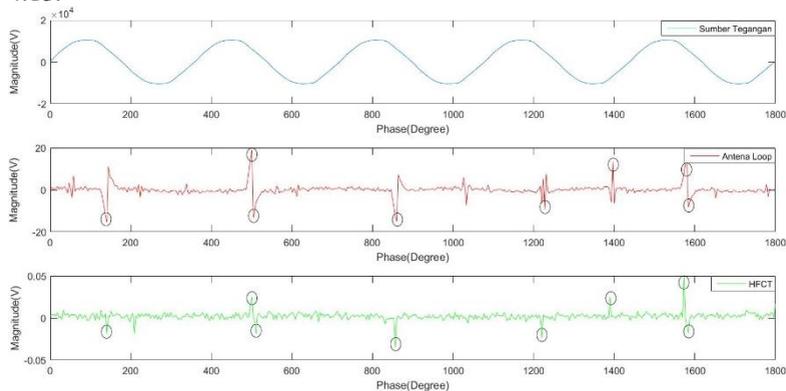
4.2 Perbandingan Sinyal *Multi Source Partial discharge* yang Dideteksi oleh Antena *Loop* dan HFCT

Berdasarkan standar IEC 60270 metode yang digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* adalah menggunakan HCFT. Sehingga pada penelitian ini, HFCT akan digunakan sebagai validasi data. Dalam mendeteksi *partial discharge* menggunakan antena *loop* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan HFCT. Keunggulan dari antena *loop* berupa memiliki karakteristik yang bagus, kecil, simpel dan murah[3].

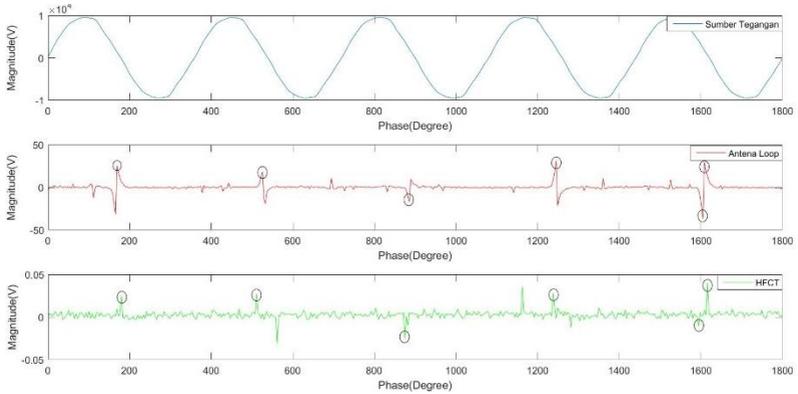
4.2.1 Perbandingan Sinyal *Multi Source Partial discharge* yang Dideteksi oleh Antena *Loop* dan HFCT dengan 3 Jarak Antena *Loop* Berbeda

Data validasi adalah magnitudo tegangan yang dideteksi oleh antena *loop* dan HFCT pada kondisi *pre-breakdown*. Gambar 4.11, gambar 4.12, dan gambar 4.13 menjelaskan validasi *multi source partial discharge* dengan menggunakan antena *loop* dan HFCT pada jarak elektroda uji 1,4 cm. Data yang divalidasi merupakan aktivitas *multi source partial discharge* pada kondisi 5 siklus dengan tegangan sumber 10 kV. Dari gambar 4.11, gambar 4.12, dan gambar 4.13 menunjukkan grafik tegangan sumber, tegangan yang dideteksi oleh antena, dan tegangan yang dideteksi oleh HFCT. Bentuk gelombang yang dideteksi oleh antena *loop* dan HFCT pada gambar 4.11, gambar 4.12, dan gambar 4.13 memiliki pola gelombang yang hampir sama dan posisi adanya aktivitas *multi source partial discharge* terletak pada sudut phasa yang sama.

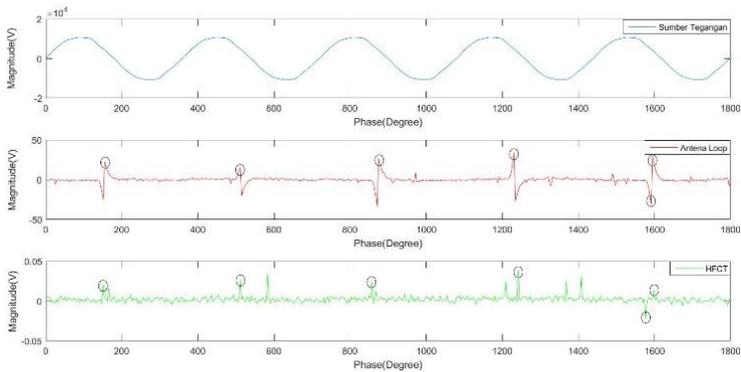
Sehingga berdasarkan gambar 4.11, gambar 4.12, dan gambar 4.13 dapat disimpulkan bahwa deteksi *multi source partial discharge* menggunakan antena *loop* dan HFCT terjadi pada lokasi sudut phasa yang sama, sehingga HFCT dapat memvalidasi *multi source partial discharge* yang dideteksi antena *loop*. Namun antena *loop* memiliki kekurangan yaitu, performansi antena dalam mendeteksi *multi source partial discharge* pada jarak terjauh memiliki sensitivitas yang rendah. Hal tersebut dikarenakan redaman gelombang elektromagnetik. Intensitas gelombang elektromagnetik akan berkurang ketika gelombang elektromagnetik melewati jarak tertentu. Redaman ini dapat disebabkan oleh absorpsi, difraksi dan refleksi gelombang elektromagnetik. Sehingga peningkatan jarak antena terhadap objek pengujian akan mengurangi besarnya V_{pp} dari gelombang elektromagnetik yang diinduksi PD[3]. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.11 terlihat *noise* yang terbaca oleh antena cukup besar dibandingkan *noise* yang terbaca oleh antena pada gambar 4.13.



Gambar 4.11 Sinyal Sumber Tegangan, Antena *Loop*, dan HFCT dengan Jarak Antena Loop 30 cm



Gambar 4.12 Sinyal Sumber Tegangan, Antena Loop, dan HFCT dengan Jarak Antena Loop 20 cm



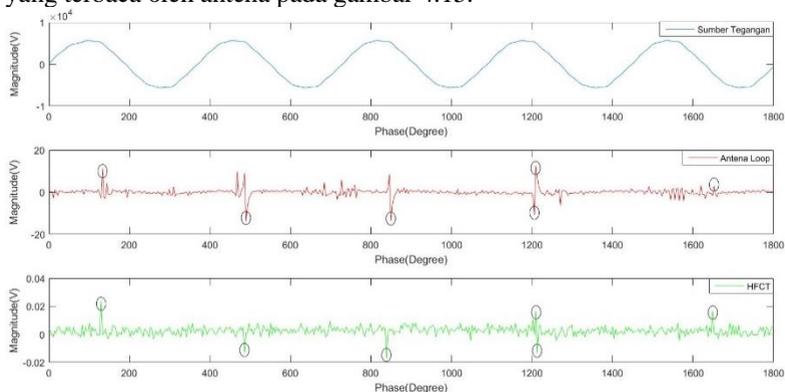
Gambar 4.13 Sinyal Sumber Tegangan, Antena Loop, dan HFCT dengan Jarak Antena Loop 10 cm

4.2.2 Perbandingan Sinyal *Multi Source Partial discharge* yang Dideteksi oleh Antena Loop dan HFCT dengan 2 Jarak Elektroda Berbeda

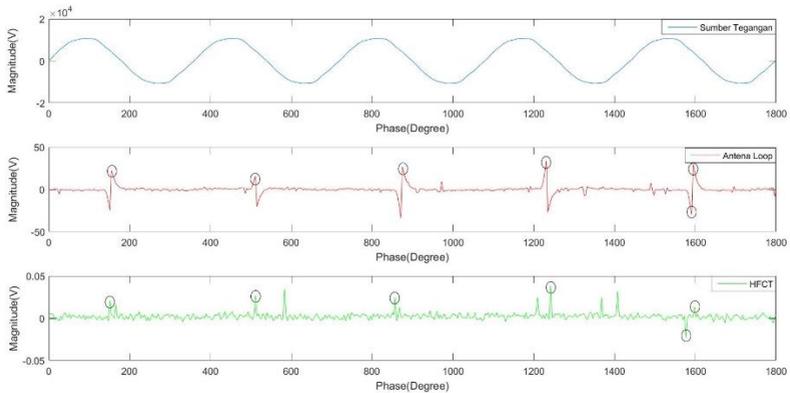
Data validasi adalah magnitude tegangan yang dideteksi oleh antena loop dan HFCT pada kondisi *pre-breakdown*. Gambar 4.14 dan gambar 4.15 menjelaskan validasi *multi source partial discharge* dengan menggunakan antena loop dan HFCT pada jarak antena loop 10 cm. Data yang divalidasi merupakan aktivitas *multi source partial discharge* pada

kondisi 5 siklus dengan tegangan sumber 5,5 kV untuk jarak elektroda uji 0,7 cm dan tegangan sumber 10 kV untuk jarak elektroda uji 1,4 cm. Dari gambar 4.14 dan gambar 4.15 menunjukkan grafik tegangan sumber, tegangan yang dideteksi oleh antenna dan tegangan yang dideteksi oleh HFCT. Bentuk gelombang yang dideteksi oleh antenna loop dan HFCT pada gambar 4.14 dan gambar 4.15 memiliki pola gelombang yang hampir sama dan posisi adanya aktivitas *multi source partial discharge* terletak pada sudut fasa yang sama.

Berdasarkan gambar 4.14 dan gambar 4.15 dapat disimpulkan bahwa deteksi *multi source partial discharge* menggunakan antenna loop dan HFCT terjadi pada lokasi sudut fasa yang sama, sehingga HFCT dapat memvalidasi *multi source partial discharge* yang dideteksi antenna loop. Namun, tegangan maksimum yang dideteksi oleh antenna pada jarak elektroda 0,7 lebih kecil dan *noise* yang dideteksi lebih besar dibandingkan dengan jarak elektroda 1,4 cm. Hal ini dikarenakan besarnya PD serta kemunculan PD sangat tergantung pada tegangan yang diberikan sesaat[5]. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.14 terlihat *noise* yang terbaca oleh antenna cukup besar dibandingkan *noise* yang terbaca oleh antenna pada gambar 4.15.



Gambar 4.14 Sinyal Sumber Tegangan, Antena Loop, dan HFCT dengan Jarak Elektroda Uji 0,7 cm



Gambar 4.15 Sinyal Sumber Tegangan, Antena Loop, dan HFCT dengan Jarak Elektroda Uji 1,4 cm

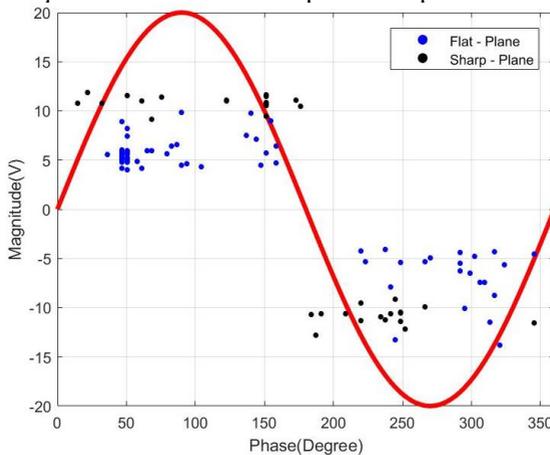
4.3 Analisa Phase Resolved Partial Discharge

Analisa *Phase Resolved Partial Discharge* (PRPD) adalah sebuah metode yang mengukur dan merekam aktivitas dari gelombang *partial discharge* pada siklus fasa tegangan yang berbeda. Analisa ini bertujuan untuk menghitung jumlah aktivitas *multi source partial discharge* yang terjadi pada periode waktu tertentu. Analisa dilakukan dengan cara merepresentasikan bentuk pulsa menjadi bentuk titik sehingga memudahkan dalam menganalisa. Variasi pengujian yang dilakukan adalah 2 jarak antar elektroda 0,7 cm dan 1,4 cm dengan jarak antena 30 cm, 20 cm, dan 10 cm.

4.3.1 Analisa PRPD pada Penggabungan *Single Source Partial Discharge*

Corona discharge memiliki karakteristik yang berbeda-beda, tergantung pada polaritas medan dan bentuk elektroda. Untuk korona positif dengan bentuk elektroda jarum-plat, *discharge* dimulai dengan *burst pulse corona* kemudian *streamer corona*, *glow corona*, dan *spark discharge* ketika tegangan yang diberikan meningkat. Untuk korona negatif dengan bentuk elektroda yang sama, bentuk awal adalah *Trichel pulse corona*, kemudian *pulseless corona* dan *spark discharge* ketika tegangan yang diberikan meningkat[14]. Ketika tegangan yang diberikan meningkat medan listrik yang mengelilingi ujung elektroda *sharp* maupun *flat* meningkat sehingga memungkinkan terjadinya PD.

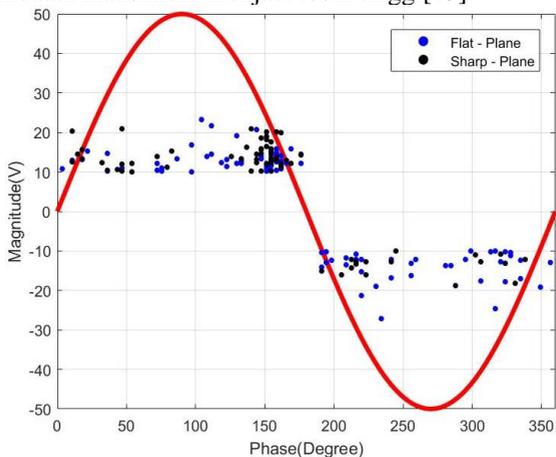
Gambar 4.16 dan gambar 4.17 menunjukkan pola PRPD yang terjadi pada tegangan 5,5 kV dengan jarak elektroda 0,7 cm dan tegangan 10 kV dengan jarak elektroda 1,4 cm yang dideteksi oleh antenna *loop* dengan jarak 10 cm terhadap elektroda uji. Sumbu X menyatakan sudut fasa dan sumbu Y menunjukkan besar amplitudo *single source partial discharge*, pola ini didapatkan dari 1500 siklus dimana setiap titik menunjukkan pulsa PD. Dari gambar 4.16 dan gambar 4.17 *corona discharge* muncul ketika siklus positif dan siklus negatif. Berdasarkan gambar 4.16 maupun gambar 4.17, *single source partial discharge* umumnya terjadi pada fasa 150° . Namun, pada kedua gambar tersebut memiliki perbedaan, dilihat dari banyaknya titik PD yang dideteksi oleh antenna. Hal tersebut dikarena semakin jauh jarak antar elektroda yang menyebabkan jumlah PRPD akan meningkat. Selain itu, ketidakhomogen elektroda *flat* lebih besar dari pada elektroda *sharp* yang menyebabkan *corona discharge* elektroda *flat* lebih banyak, sehingga medan elektromagnetik yang dihasilkan elektroda *flat* lebih besar dibandingkan elektroda *sharp*. Jumlah titik PRPD dapat dilihat pada tabel 4.1.



Gambar 4.16 Pola PRPD *Single Source Partial Discharge* dengan Jarak Elektroda 0,7 cm pada Tegangan 5,5 kV

Gambar 4.16 menunjukkan adanya perbedaan magnitudo tegangan antara elektroda *sharp-plane* dan *flat-plane*, elektroda *flat* mendeteksi tegangan diantara 5 V, sedangkan *sharp* mendeteksi tegangan diantara 10 V. Hal ini dikarenakan besarnya muatan maksimum yang ada pada

elektroda *sharp*. Besarnya medan listrik adalah yang tertinggi di ujung elektroda *sharp* dibandingkan dengan elektroda *flat*. Ketika magnitudo medan listrik lebih tinggi, ionisasi lebih banyak dapat terjadi, menghasilkan formasi *streamer* yang lebih panjang. Oleh karena itu, besarnya muatan maksimum menjadi lebih tinggi [15].



Gambar 4.17 Pola PRPD *Single Source Partial Discharge* dengan Jarak Elektroda 1,4 cm pada Tegangan 10 kV

Gambar 4.17 tidak menunjukkan adanya perbedaan magnitudo tegangan antara elektroda *sharp-plane* dan *flat-plane*. Hal dipengaruhi oleh perubahan jarak antar elektroda yang menyebabkan pertambahan tegangan sumber.

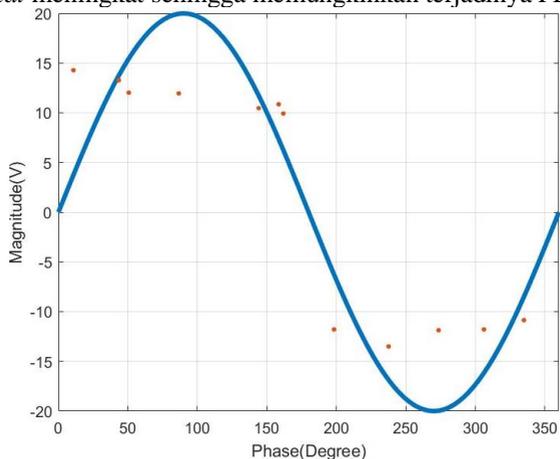
Tabel 4.1 Jumlah Titik PRPD pada *Single Source Partial Discharge* dengan 1500 Siklus

Jarak Antar Elektroda (cm)	Jumlah Titik PRPD
0,7 cm	124
1,4 cm	171

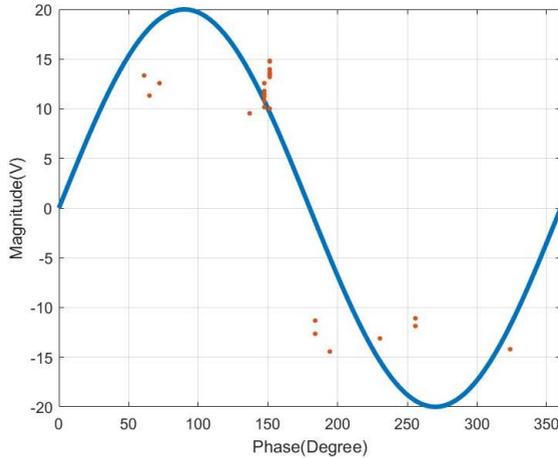
4.3.2 Analisa PRPD pada *Multi Source Partial Discharge* dengan Jarak Elektroda Uji 0,7 cm

Corona discharge memiliki karakteristik yang berbeda-beda, tergantung pada polaritas medan dan bentuk elektroda. Untuk korona

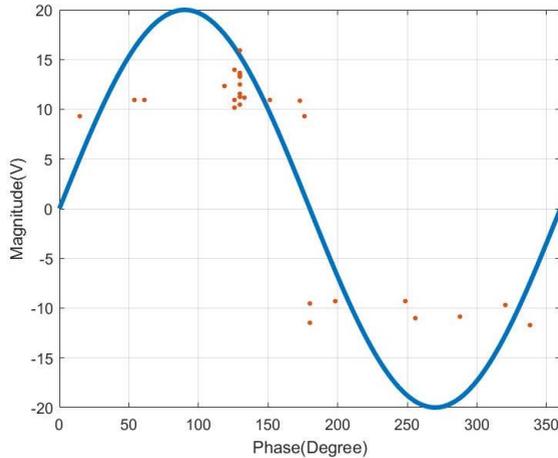
positif dengan bentuk elektroda jarum-plat, *discharge* dimulai dengan *burst pulse corona* kemudian *streamer corona*, *glow corona*, dan *spark discharge* ketika tegangan yang diberikan meningkat. Untuk korona negatif dengan bentuk elektroda yang sama, bentuk awal adalah *Trichel pulse corona*, kemudian *pulseless corona* dan *spark discharge* ketika tegangan yang diberikan meningkat[14]. Ketika tegangan yang diberikan meningkat medan listrik yang mengelilingi ujung elektroda *sharp* maupun *flat* meningkat sehingga memungkinkan terjadinya PD.



Gambar 4.18 Pola PRPD pada Jarak Antena *Loop* 30 cm pada Tegangan 5,5 kV



Gambar 4.19 Pola PRPD pada Jarak Antena *Loop* 20 cm pada Tegangan 5,5 kV



Gambar 4.20 Pola PRPD pada Jarak Antena *Loop* 10 cm pada Tegangan 5,5 kV

Gambar 4.18 hingga 4.20 menunjukkan pola PRPD yang terjadi pada tegangan 5,5 kV dengan jarak antena *loop* 30 cm, 20 cm, dan 10 cm dari elektroda uji. Sumbu X menyatakan sudut phasa dan sumbu Y menunjukkan besar amplitudo *multi source partial discharge*. Pola PRPD

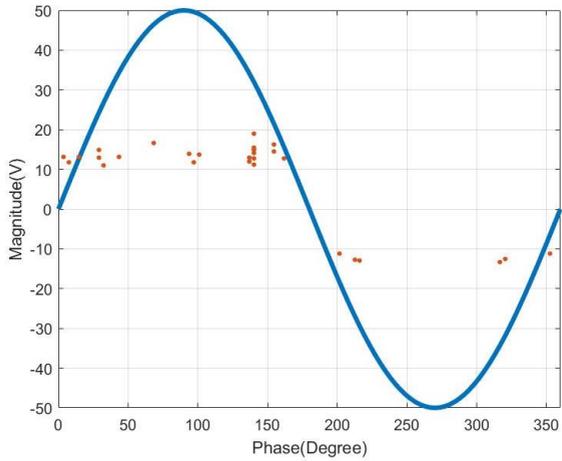
didapatkan dari 1500 *cycles* dimana tiap titik menunjukkan pulsa *multi source partial discharge*. Berdasarkan gambar 4.18 – 4.20, dapat dilihat bahwa *corona discharge* muncul pada siklus positif dan negatif yang umumnya terjadi pada fasa 150° , hal ini tidak jauh berbeda dengan pola PRPD yang terjadi pada *single source partial discharge* yang ditunjukkan pada gambar 4.16. Sehingga dari gambar 4.18– 4.20 dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak antena *loop* terhadap elektroda uji maka jumlah titik PRPD semakin sedikit. Jumlah titik PRPD dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Jumlah Titik PRPD pada Jarak Elektroda 0,7 cm dengan 1500 Siklus

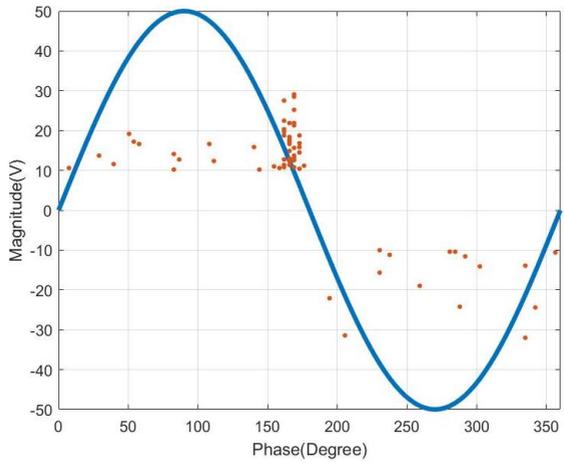
Jarak Antena (cm)	Jumlah Titik PRPD
30 cm	12
20 cm	25
10 cm	29

4.3.3 Analisa PRPD pada *Multi Source Partial Discharge* dengan Jarak Elektroda Uji 1,4 cm

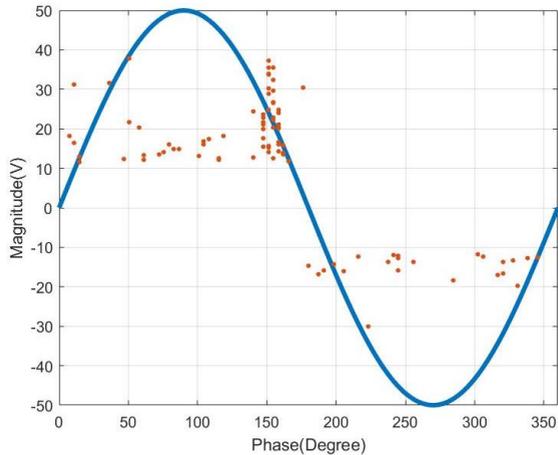
Corona discharge memiliki karakteristik yang berbeda-beda, tergantung pada polaritas medan dan bentuk elektroda. Untuk korona positif dengan bentuk elektroda jarum-plat, *discharge* dimulai dengan *burst pulse corona* kemudian *streamer corona*, *glow corona*, dan *spark discharge* ketika tegangan yang diberikan meningkat. Untuk korona negatif dengan bentuk elektroda yang sama, bentuk awal adalah *Trichel pulse corona*, kemudian *pulseless corona* dan *spark discharge* ketika tegangan yang diberikan meningkat[14]. Ketika tegangan yang diberikan meningkat medan listrik yang mengelilingi ujung elektroda *sharp* maupun *flat* meningkat sehingga memungkinkan terjadinya PD.



Gambar 4.21 Pola PRPD pada Jarak Antena *Loop* 30 cm pada Tegangan 10 kV



Gambar 4.22 Pola PRPD pada Jarak Antena *Loop* 20 cm pada Tegangan 10 kV



Gambar 4.23 Pola PRPD pada Jarak Antena *Loop* 10 cm pada Tegangan 10 kV

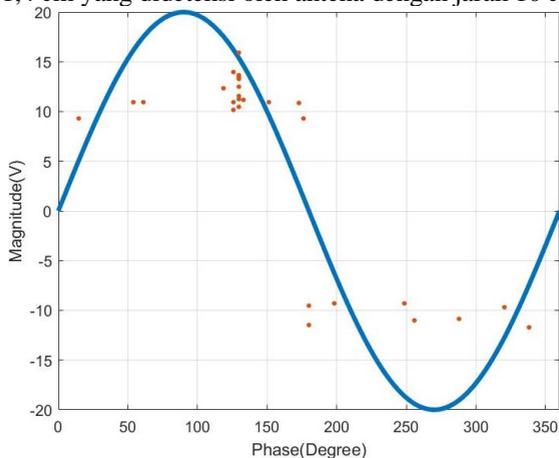
Gambar 4.21 hingga 4.23 menunjukkan pola PRPD yang terjadi pada tegangan 10 kV dengan jarak antena *loop* 30 cm, 20 cm, dan 10 cm dari elektroda uji. Sumbu X menyatakan sudut fasa dan sumbu Y menunjukkan besar amplitudo *multi source partial discharge*. Pola PRPD didapatkan dari 1500 *cycles* dimana tiap titik menunjukkan pulsa *multi source partial discharge*. Berdasarkan gambar 4.21 – 4.23, dapat dilihat bahwa *corona discharge* muncul pada siklus positif dan negatif yang umumnya terjadi pada fasa 150° , hal ini tidak jauh berbeda dengan pola PRPD yang terjadi pada *single source partial discharge* yang ditunjukkan pada gambar 4.17. Sehingga dari gambar 4.21– 4.23 dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak antena *loop* terhadap elektroda uji maka jumlah titik PRPD semakin sedikit. Jumlah titik PRPD dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Jumlah Titik PRPD pada Jarak Elektroda 1,4 cm dengan 1500 Siklus

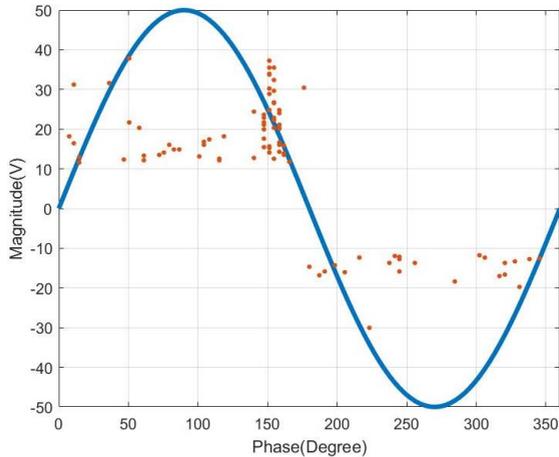
Jarak Antena (cm)	Jumlah Titik PRPD
30 cm	30
20 cm	67
10 cm	90

4.3.4 Analisa PRPD pada 2 Jarak Elektroda berbeda

Variasi jarak elektroda pada isolasi udara memiliki karakteristik pengujian yang berbeda. Hal tersebut dapat diketahui berdasarkan hukum *paschen* pada tekanan udara yang sama dan jarak yang berbeda akan mempengaruhi tegangan *breakdown* sehingga hal tersebut juga mempengaruhi tegangan *pre-breakdown*. Pada gambar 4.24, nilai tegangan *pre-breakdown* pada jarak elektroda 0,7 cm adalah 5,5 kV. Sedangkan gambar 4.25, nilai tegangan *pre-breakdown* pada jarak elektroda 1,4 cm adalah 10 kV. Berdasarkan nilai tersebut dapat diketahui bahwa jarak elektroda 1,4 cm menghasilkan medan elektromagnetik yang lebih besar dibandingkan dengan jarak elektroda 0,7 cm. Titik PRPD pada jarak elektroda 0,7 cm lebih sedikit dibandingkan jarak elektroda 1,4 cm. Hal ini dikarenakan *corona discharge* pada jarak elektroda 1,4 cm lebih tinggi dari pada jarak elektroda 0,7 cm. Selain itu, Besarnya PD serta kemunculan PD sangat tergantung pada tegangan yang diberikan sesaat[5]. Sehingga semakin besar jarak antar elektroda maka titik PRPD akan tersebar semakin banyak. Gambar 4.24 dan gambar 4.25 menunjukkan perbedaan PRPD pada jarak elektroda 0,7 cm dan jarak elektroda 1,4 cm yang dideteksi oleh antenna dengan jarak 10 cm.



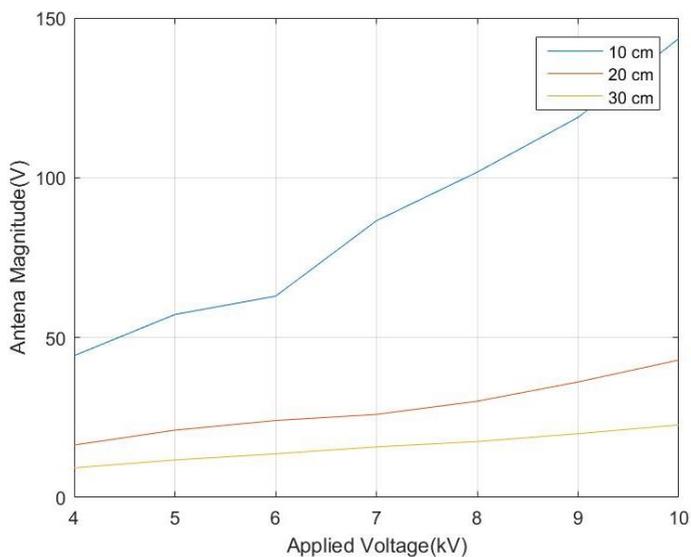
Gambar 4.24 Pola PRPD pada Jarak Elektroda 0,7 cm pada Tegangan 5,5 kV



Gambar 4.25 Pola PRPD pada Jarak Elektroda 1,4 cm pada Tegangan 10 kV

4.4 Analisa Amplitudo Tegangan Antena *Loop* pada Jarak Berbeda

Multi source partial discharge dapat diketahui melalui tegangan maksimum yang diterima oleh antena *loop*. Berdasarkan pengujian diketahui bahwa semakin dekat jarak antena terhadap objek pengujian maka tegangan yang diterima oleh antena *loop* akan semakin meningkat. Hal tersebut dikarenakan redaman gelombang elektromagnetik. Intensitas gelombang elektromagnetik akan berkurang ketika gelombang elektromagnetik melewati jarak tertentu. Redaman ini dapat disebabkan oleh absorpsi, difraksi dan refleksi gelombang elektromagnetik. Sehingga peningkatan jarak antena terhadap objek pengujian akan mengurangi besarnya V_{pp} dari gelombang elektromagnetik yang diinduksi PD[3]. Nilai amplitudo tegangan yang paling besar diterima oleh antena *loop* ketika antena *loop* berjarak 10 cm terhadap objek pengujian. Nilai amplitudo tegangan yang paling kecil diterima oleh antena *loop* ketika antena *loop* berjarak 30 cm terhadap objek pengujian. Gambar 2.26 menampilkan hubungan antara tegangan suplai dengan tegangan yang dideteksi oleh antena *loop* dengan jarak elektroda 1,4 cm.



Gambar 4.26 Grafik Kenaikan Nilai Amplitudo Tegangan Antena Loop

Tabel 4.4 Nilai Amplitudo pada Antena Loop

No	Applied Voltage (kV)	Jarak Antena (cm)		
		10 cm	20 cm	30 cm
1	4	44,33 V	16,37 V	9,24 V
2	5	57,21 V	21,03 V	11,71 V
3	6	62,97 V	24,05 V	13,63 V
4	7	86,54 V	26,0 V	15,8 V
5	8	101,76 V	30,1 V	17,5 V
6	9	118,88 V	36,1 V	19,9 V
7	10	143,55 V	43,0 V	22,7 V

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pembahasan mengenai hasil data pengujian dan simulasi pada bab sebelumnya, berikut beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian ini:

1. Antena *loop* yang digunakan dapat mendeteksi *multi source partial discharge*. Hal ini dibuktikan dengan membandingkan sinyal yang dideteksi oleh antena *loop* dan HFCT, sinyal *multi source partial discharge* terletak pada fase yang sama.
2. Jarak antar elektroda mempengaruhi besaran *multi source partial discharge*, dimana nilai besaran *multi source partial discharge* pada saat jarak antena 10 cm yaitu, 37,90 V untuk jarak antar elektroda 1,4 cm dan nilai besaran *multi source partial discharge* 15,87 V jarak antar elektroda 0,7 cm.
3. Jarak antar elektroda mempengaruhi jumlah titik PRPD. Jumlah terbanyak titik PRPD pada saat jarak antar elektroda jauh, hal ini dilihat pada jarak antena 10 cm terdapat 90 titik PRPD untuk jarak antar elektroda 1,4 cm dan 29 titik PRPD untuk jarak antar elektroda 0,7 cm.
4. Jarak antena *loop* terhadap objek penelitian mempengaruhi performansi antena dalam mendeteksi *multi source partial discharge*. Performansi terbaik pada saat jarak antena dekat dengan *multi source partial discharge*, hal ini dilihat dari jumlah titik PRPD pada jarak elektroda 1,4 cm yaitu 90 titik untuk jarak antena 10 cm, 67 titik untuk jarak antena 20 cm, dan 30 titik untuk jarak antena 30 cm.
5. Nilai kenaikan amplitudo antena *loop* akan semakin besar saat antena *loop* berjarak dekat dengan objek pengujian. Presentase kenaikan amplitudo antena *loop* sebesar 37,3% untuk jarak 10 cm, 27,07% untuk jarak antena 20 cm, dan 24,24% untuk jarak antena 30 cm.
6. Kondisi lingkungan di sekitar objek pengujian akan memengaruhi hasil pengujian jika dilakukan pada waktu yang berbeda hal ini disebabkan perubahan suhu, kelembaban, tekanan udara di sekitar peralatan pengujian.

5.2 Saran

Saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Pada pengujian selanjutnya, pemisahan sinyal *multi source partial* dapat dilakukan untuk mengetahui karakteristik *partial discharge* pada masing-masing sumber *partial discharge*.
2. Pengujian selanjutnya dapat dilakukan dengan mendeteksi jenis *partial discharge* yang berbeda seperti *intenal discharge* atau *surface discharge*.
3. Pengujian sebaiknya dapat dilakukan dengan memperkirakan kondisi suhu, kelembapan, dan tekanan udara.
4. Pengujian dapat dilakukan pada kondisi lingkungan yang berpolusi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Jee Keen Raymond, H. A. Illias, dan A. H. Abu Bakar, "Classification of Partial Discharge Measured under Different Levels of Noise Contamination," *PLOS ONE*, vol. 12, no. 1, hlm. 1–20, 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0170111.
- [2] R. Alkadi *dkk.*, "Smart antenna-based partial discharge detection and classification system," dalam *2016 16th Mediterranean Microwave Symposium (MMS)*, Nov 2016, hlm. 1–4, doi: 10.1109/MMS.2016.7803819.
- [3] U. Khayam dan F. Fatoni, *Measurement of partial discharge induced electromagnetic wave using loop antenna*. 2017.
- [4] F. Rozi dan U. Khayam, "Design of circle shaped loop antenna as partial discharge sensor," hlm. 349–352, Feb 2015, doi: 10.1109/ICEECS.2014.7045276.
- [5] N. Ra dan U. Khayam, *Measurement of partial discharge in needle-plane electrode using RC detector, HFCT, and antenna sensors*. 2015.
- [6] U. Khayam dan T. Kasnalestari, *System of wavelet transform on partial discharge signal denoising*. 2016.
- [7] M. Yunus, F. Fatoni, dan U. Khayam, *Effect of the presence of metal box on partial discharge detected by internal loop antenna*. 2017.
- [8] D. Fahmi, I. M. Yulistya Negara, D. Asfani, I. Hernanda, M. Wahyudi, dan H. Azmi, *Impact of Diameter and Gap Distance on Partial Discharge Detection in Transformer Oil using RTL-SDR Method*. 2018.
- [9] S. Prihatnolo, A. Syakur, dan M. Facta, "PENGUKURAN TEGANGAN TEMBUS DIELEKTRIK UDARA PADA BERBAGAI SELA DAN BENTUK ELEKTRODA DENGAN VARIASI TEMPERATUR SEKITAR," 2011.
- [10] I. M. Y. Negara, *TEKNIK TEGANGAN TINGGI Prinsip dan Aplikasi Praktis*, 1 ed. Yogyakarta: GRAHA ILMU, 2013.
- [11] M. Pompili dan R. Bartnikas, "On partial discharge measurement in dielectric liquids," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 19, no. 5, hlm. 1476–1481, Okt 2012, doi: 10.1109/TDEI.2012.6311489.
- [12] H. Illias, Teo Soon Yuan, A. H. A. Bakar, H. Mokhlis, G. Chen, dan P. L. Lewin, "Partial discharge patterns in high voltage

- insulation,” dalam *2012 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*, Des 2012, hlm. 750–755, doi: 10.1109/PECon.2012.6450316.
- [13] B. M. Amna dan U. Khayam, “Design and simulation of high frequency current transformer as partial discharge detector,” dalam *2016 3rd Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE)*, Nov 2016, hlm. 135–139, doi: 10.1109/ICPERE.2016.7904854.
- [14] J.- Chang, P. A. Lawless, dan T. Yamamoto, “Corona discharge processes,” *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 19, no. 6, hlm. 1152–1166, Des 1991, doi: 10.1109/27.125038.
- [15] G. Altamimi, H. Illias, N. Mokhtar, H. Mokhlis, dan A. H. Abu Bakar, “Corona discharges under various types of electrodes,” *Conference Proceeding - 2014 IEEE International Conference on Power and Energy, PECon 2014*, hlm. 5–8, 2015, doi: 10.1109/PECON.2014.7062403.

BIOGRAFI PENULIS



T. M. Raza Alfieri. lahir di Kota Lhokseumawe, Provinsi Aceh pada tanggal 22 Agustus 1998. Anak pertama dari dua bersaudara. Selama kuliah penulis pernah aktif sebagai ketua departemen periode 2018-2019 PMKTR Surabaya. Selain itu, penulis juga pernah aktif pada kegiatan organisasi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember yaitu sebagai kepala biro di Jamaah Mesjid Manarul Ilmi ITS. Saat ini penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas ITS. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu:

1. MIN Kutablang Kota Lhokseumawe
2. MtsS Ulumuddin Islamic Boarding School Kota Lhokseumawe
3. SMAN 10 Fajar Harapan Kota Banda Aceh

Penulis dapat dihubungi pada email: raza.alfieri@yahoo.com