

TUGAS AKHIR - EE 184801

STUDI KOMPARASI DAN PENGUJIAN DETEKSI PELUAHAN SEBAGIAN PADA ISOLASI MINYAK DAN ISOLASI UDARA MENGGUNAKAN LOOP ANTENNA

Chairul Bahy

NRP 07111840000223

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

NIP 197007121998021001

Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.

NIP 198109052005011002

Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

NIP 197210012003121002

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR - EE 184801

**STUDI KOMPARASI DAN PENGUJIAN DETEKSI
PELUAHAN SEBAGIAN PADA ISOLASI MINYAK DAN
ISOLASI UDARA MENGGUNAKAN LOOP ANTENA**

CHAIRUL BAHY

NRP 07111840000223

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

NIP 197007121998021001

Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.

NIP 198109052005011002

Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

NIP 197210012003121002

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - EE 184801

**COMPARATIVE STUDY AND EXPERIMENTAL SETUP
OF PARTIAL DISCHARGE DETECTION ON OIL
INSULATION AND AIR INSULATION USING ANTENNA
LOOPS**

Chairul Bahy

NRP 07111840000223

Advisor

Prof. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

NIP 197007121998021001

Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.

NIP 198109052005011002

Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

NIP 197210012003121002

Electrical Engineering Undergraduate Program

Department of Electrical Engineering

Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI KOMPARASI DAN PENGUJIAN DETEKSI PELUAHAN SEBAGIAN PADA ISOLASI MINYAK DAN ISOLASI UDARA MENGUNAKAN LOOP ANTENA

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

memperoleh gelar sarjana pada

Program Studi S-1 Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : Chairul Bahy

NRP. 07111840000223

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc. Pembimbing

2. Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.

3. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

4. Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.

5. Prof. Dr. Ir. Soedibyso, M.MT.

6. Feby Agung Pamuji, ST., MT., Ph.D

Ko-pembimbing

Ko-pembimbing

Penguji

Penguji

Penguji

SURABAYA

Juni, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

COMPARATIVE STUDY AND EXPERIMENTAL SETUP OF PARTIAL DISCHARGE DETECTION ON OIL INSULATION AND AIR INSULATION USING ANTENNA LOOPS

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
For obtaining an undergraduate degree at
Undergraduate Study Program of Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : Chairul Bahy

NRP. 07111840000223

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Prof. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc. Advisor

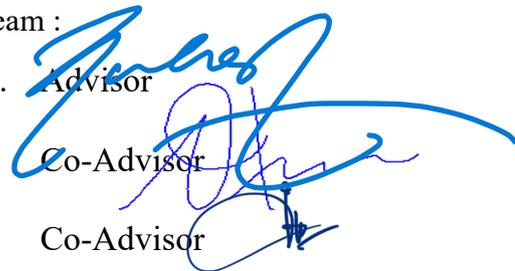
2. Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.

3. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

4. Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.

5. Prof. Dr. Ir. Soedibyoy, M.MT.

6. Feby Agung Pamuji, ST., MT., Ph.D


Advisor
Co-Advisor
Co-Advisor

Examiner

Examiner

Examiner

SURABAYA

Juni, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Chairul Bahy
Program studi : Teknik Elektro
Dosen Pembimbing / : Prof. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST.,
NIP M.Sc. / 197007121998021001
Dosen Pembimbing II / : Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.
NIP / 98109052005011002
Dosen Pembimbing III / : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
NIP / 197210012003121002

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “STUDI KOMPARASI DAN PENGUJIAN DETEKSI PELUAHAN SEBAGIAN PADA ISOLASI MINYAK DAN ISOLASI UDARA MENGGUNAKAN LOOP ANTENA” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Juni 2022

Mahasiswa



Chairul Bahy

NRP. 07111840000223

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Chairul Bahy / 07111840000223
Department : Electrical Engineering
Advisor I / NIP : Prof. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
/ 197007121998021001
Advisor II / NIP : Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.
/ 98109052005011002
Advisor III / NIP : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
/ 197210012003121002

Hereby declare that the Final Project with the title of “**THE EFFECT OF CONTAMINANT TYPES ON POLYMER INSULATORS ON SURFACE DISCHARGE CHARACTERISTICS**” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, June 2022

Student



Chairul Bahy
NRP.07111840000223

ABSTRAK

STUDI KOMPARASI DAN PENGUJIAN DETEKSI PELUAHAN SEBAGIAN PADA ISOLASI MINYAK DAN ISOLASI UDARA MENGUNAKAN LOOP ANTENNA

Nama Mahasiswa / NRP : Chairul Bahy / 07111840000223
Departemen : Teknik Elektro FTEIC - ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST.,
M.Sc.

Abstrak

Isolator adalah peralatan fundamental yang terdapat pada sistem tenaga listrik dan berfungsi sebagai pemisah antara dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan. Pemisahan tersebut memiliki tujuan untuk menghindari *arc* (percikan) atau lompatan listrik. Terdapat berbagai isolasi dalam yang umum digunakan pada peralatan tinggi seperti isolasi udara, minyak, dan air. Peralatan dapat mengalami kerusakan saat terjadi kegagalan *breakdown* isolasi karena pengaruh suhu, karbonisasi, dan munculnya *arc*. Peluahan sebagian adalah fenomena tegangan tinggi yang terjadi akibat pelepasan muatan listrik yang terjadi pada suatu bahan isolasi dan merupakan salah satu tanda penurunan kualitas isolasi. Pada tugas akhir ini akan membahas deteksi *partial discharge* pada isolasi minyak dan isolasi udara menggunakan loop antena. Pembangkitan tegangan tinggi AC akan dihubungkan dengan elektroda *needle to plate* dengan variasi jarak elektroda 1cm, 1,5cm, dan 2cm. *Loop antenna* akan dihubungkan dengan Osiloskop sehingga hasil sinyal dapat diubah kedalam nilai tegangan. Hasil sinyal tersebut akan diolah sehingga menampilkan *Phase Resolved Partial Discharge* (PRPD) dan divalidasi dengan sinyal yang ditangkap oleh High Frequency Current Transformer (HFCT). Pada deteksi *partial discharge* isolasi minyak, elektroda jarak 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm dideteksi jumlah titik PRPD sebanyak 119, 90, dan 85 secara berurutan.

Kata kunci: *HFCT, Loop Antena, Partial Discharge, PRPD*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ABSTRACT

COMPARATIVE STUDY AND EXPERIMENTAL SETUP OF PARTIAL DISCHARGE DETECTION ON OIL INSULATION AND AIR INSULATION USING ANTENNA LOOPS

Student Name / NRP : Chairul Bahy / 0711184000223
Department : Teknik Elektro FTEIC - ITS
Advisor : Prof. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

Abstract

An insulator is fundamental equipment in an electric power system and works as a separator between two or more voltage conductors. The separation has the aim of avoiding arcs or electric jumps. Various types of insulation are commonly used in high-rise equipment, such as air, oil and air insulation. Partial discharge can damage equipment during fault failure due to temperature, carbonization and arc formation. Partial discharge is a high-voltage phenomenon that occurs due to an electric charge on insulating material and is a sign of a decrease in the quality of the insulation. In this final project, partial discharge detection was used using insulating oil and air insulation with a loop antenna. The AC high voltage generator will install needle to plate electrodes with variations of 1cm, 1.5cm, and 2cm electrode distances. Loop antennas will be connected with an oscilloscope to convert the resulting signal into a voltage value. The resulting signal will be processed to display the Phase Resolved Partial Discharge (PRPD) and validated with the signal captured by the High-Frequency Current Transformer (HFCT). In the partial discharge of insulating oil, electrodes at a distance of 1 cm, 1.5 cm, and 2 cm detected the number of PRPD as much as 119, 90, and 85, respectively.

Keywords: *HFCT, Loop Antena, Partial Discharge, PRPD*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan hidayah-Nya Penulis dapat menyelesaikan buku laporan tugas akhir ini. Dalam pelaksanaan maupun penulisan buku laporan tugas akhir ini, Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan, arahan, dan motivasi yang diberikan baik secara langsung ataupun tidak langsung. Adapun pihak-pihak yang telah membantu dan membimbing Penulis dalam pelaksanaan tugas akhir ini yaitu:

1. Allah SWT yang dengan rahmat-Nya penulis dapat menulis buku tugas akhir dengan damai dan sentosa,
2. Orang tua, keluarga dan teman-teman yang selalu memberikan bantuan dan doa kepada saya,
3. Bapak **Prof. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.** selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan arahnya kepada saya,
4. Bapak **Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.** selaku dosen ko-pembimbing tugas akhir yang telah memberikan arahnya kepada saya,
5. Bapak **Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D** selaku dosen ko-pembimbing tugas akhir yang telah memberikan arahnya kepada saya,

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam perancangan dan pembuatan buku laporan tugas akhir ini. Besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik dari para pembaca. Semoga buku laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca, khususnya bagi penulis sendiri.

Surabaya, Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	vii
PERNYATAAN ORISINALITAS	xi
STATEMENT OF ORIGINALITY	xiii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
KATA PENGANTAR	xviii
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	9
1.1 Latar Belakang.....	9
1.2 Rumusan Masalah	11
1.3 Batasan Masalah	11
1.4 Tujuan.....	12
1.5 Manfaat.....	12
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	13
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	13
2.2 Dasar Teori	14
2.2.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC.....	14
2.2.2 Media Isolasi	14
2.2.3 Kegagalan Isolasi	15
2.2.4 High Frequency Current Transformer (HFCT).....	18
2.2.5 Phase Resolved Partial Discharge (PRPD)	19
2.2.6 Loop Antena.....	20
2.2.7 <i>Ultra High Frequency (UHF)</i>	21
2.2.8 <i>Antena Microstrip</i>	22
2.2.9 Parameter Antena	23
2.2.10 Peluahan Sebagian (<i>Partial Discharge</i>).....	24
BAB 3 ALAT PENGUJIAN DAN METODE PENGAMBILAN DATA.....	25
3.1 Peralatan Pengujian	25

3.1.1	Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	26
3.1.2	Media Isolasi	27
3.1.3	Elektroda Uji	29
3.1.4	HFCT.....	29
3.1.5	Osiloskop.....	30
3.2	Rancangan Loop Antenna	31
3.3	Rancangan Microstrip Antenna	32
3.3.1	Return Loss	34
3.3.2	Voltage Stage Wave Ratio(VSWR).....	35
3.3.3	Peletakan Jarak Antena	36
3.4	Pengambilan Data dan Akuisisi Data	37
3.4.1	Mekanisme Pengambilan Data.....	37
3.4.2	Akuisi Data.....	39
3.4.3	Verifikasi Gelombang Partial Discharge.....	39
3.4.4	Pengolahan Data dalam Bentuk PRPD	40
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1	Perbandingan Bentuk Gelombang Antena dan HFCT Validasi Data Fenomena Partial discharge.	41
4.2	Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Deteksi Partial discharge oleh Loop Antenna 47	
4.2.1	Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Deteksi Partial discharge oleh Loop Antenna pada isolasi minyak.....	47
4.2.2	Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Deteksi Partial discharge oleh Loop Antenna pada isolasi udara	49
4.2.3	Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Deteksi Partial discharge oleh Microstrip Antena.....	50
4.3	Analisa Magnitudo	51
4.4	Analisa PRPD.....	52
4.4.1	Analisa PRPD oleh Loop antenna pada Isolasi Minyak	53
4.4.2	Analisa PRPD oleh Loop antenna pada Isolasi Udara	55
4.4.3	Analisa PRPD oleh <i>Microstrip antenna</i> pada Isolasi Udara	56
BAB 5	Kesimpulan dan Saran.....	59
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran	59
	DAFTAR PUSTAKA	60
	LAMPIRAN.....	64

BIODATA PENULIS66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Proses Partial Discharge	10
Gambar 2. 1 Hasil penelitian sebelumnya (Rozi & Khayam, Design of circle shaped loop antenna as partial discharge sensor, 2015).....	13
Gambar 2. 2 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	14
Gambar 2. 3 Tingkat kegagalan Bahan Isolasi (Yulistya, 2013).....	15
Gambar 2. 4 Orde Tingkat Kegagalan Material Isolasi.....	16
Gambar 2. 5 Proses Ionisasi Dalam Bentuk Benturan	16
Gambar 2. 6 Visualisasi Mekanisme Townsend (Ohmura & Ogino, 2014)	17
Gambar 2. 7 Visualisasi Mekanisme Streamer(N. L. Allen & P. N. Mikropoulos, 2001)	17
.....	
Gambar 2. 8 Rangkaian Pengganti HFCT.....	19
Gambar 2. 9 (H. Illias, 2012).....	20
Gambar 2. 10 <i>Loop Antenna</i> (Warne & Haddad, 2004).....	21
Gambar 2. 11 Struktur Antena Microstrip.....	22
Gambar 3. 1 Rangkaian Pengujian.....	25
Gambar 3. 2 Visualisasi Alat Pengujian (Fauziah, 2021)	26
Gambar 3. 4 Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi AC.....	26
Gambar 3. 5 Minyak Shell Dialla B.....	27
Gambar 3. 6 Elektroda Uji	29
Gambar 3. 7 Desain iHFCT-54	30
Gambar 3. 8 Osiloskop.....	31
Gambar 3. 9 Desain <i>Loop Antenna</i> (Bestowan, 2019).....	32
Gambar 3. 10 Tampak Depan <i>Microstrip Antenna</i>	32
Gambar 3. 11 Tampak Belakang <i>Microstrip Antenna</i>	33
Gambar 3. 12 Tampak Samping <i>Microstrip Antenna</i>	33
Gambar 3. 13 Hasil Fabrikasi Antenna	34
Gambar 3. 14 Hasil <i>Return Loss</i>	35
Gambar 3. 15 Pengambilan <i>Return Loss</i> Menggunakan VNA	35
Gambar 3. 16 Hasil VSWR	36
Gambar 3. 17 Pengambilan Data VSWR Menggunakan VNA.....	36
Gambar 3. 18 Flowchart Pengujian.....	38
Gambar 3. 19 Proses Pengolahan Data	39
Gambar 3. 20 Validasi Data	40
Gambar 4. 1 Bentuk Gelombang, Sumber Tegangan, HFCT, dan <i>Loop Antenna</i> Jarak Elektroda 1 cm Pada Isolasi Minyak.....	42
Gambar 4. 2 Bentuk Gelombang HFCT, dan Loop Antenna Jarak Elektroda 1 cm Pada Isolasi Udara.....	44
Gambar 4. 3 Bentuk Gelombang HFCT, dan Microstrip Antena Jarak Elektroda 2 cm Pada Isolasi Udara.....	46
Gambar 4. 4 Gelombang yang Dideteksi Loop Antenna dengan Jarak Elektroda 1cm dan Tegangan Input 20 kV	48
Gambar 4. 5 Gelombang yang Dideteksi <i>Loop Antenna</i> dengan Jarak Elektroda 1,5 cm dan Tegangan <i>input</i> 24 kV.....	48

Gambar 4. 6 Gelombang yang dideteksi Loop Antenna dengan Jarak Elektroda 2 cm dan Tegangan Input 28 kV	48
Gambar 4.7 Gelombang yang Dideteksi Loop Antenna dengan Jarak Elektroda 1 cm dan Tegangan Input 7 kV	49
Gambar 4. 8 Gelombang yang dideteksi <i>Loop Antenna</i> dengan Jarak Elektroda 1,5 cm dan Tegangan <i>input</i> 10 kV	49
Gambar 4. 9 Gelombang yang dideteksi <i>Loop Antenna</i> dengan Jarak Elektroda 2 cm dan Tegangan <i>input</i> 13Kv	50
Gambar 4. 10 Gelombang yang dideteksi Microstrip Antenna dengan Jarak Elektroda 1 cm dengan Tegangan input 7 kV	50
Gambar 4. 11 Gelombang yang dideteksi <i>Microstrip Antenna</i> dengan Jarak Elektroda 1,5 cm dan Tegangan Input 10 kV	51
Gambar 4. 12 Gelombang yang dideteksi Microstrip Antenna dengan Jarak Elektroda 2 cm dan tegangan <i>Input</i> 13 kV	51
Gambar 4. 13 Grafik Pembacaan Amplitudo <i>Loop Antena</i> Setiap Kenaikan Tegangan Suplai Pada Isolasi Minyak	52
Gambar 4. 14 Grafik Pembacaan Amplitudo <i>Loop Antena</i> Setiap Kenaikan Tegangan Suplai Pada Isolasi Udara	52
Gambar 4. 15 Pola (ϕ -q-n) <i>Loop antenna</i> pada Tegangan 20 kV dengan Jarak Elektroda 1 cm	53
Gambar 4. 16 Pola (ϕ -q-n) <i>Loop Antenna</i> pada Tegangan 24 kV dengan Jarak Elektroda 1, 5 cm	54
Gambar 4. 17 Pola (ϕ -q-n) <i>Loop Antenna</i> pada Tegangan 28kV dengan Jarak Elektroda 2 cm	54
Gambar 4. 18 Pola (ϕ -q-n) <i>Loop antenna</i> pada Tegangan 7 kV dengan Jarak Elektroda 1 cm	55
Gambar 4. 19 Pola (ϕ -q-n) <i>Loop antenna</i> pada Tegangan 10 kV dengan Jarak Elektroda 1, 5 cm	55
Gambar 4. 20 Pola (ϕ -q-n) <i>Loop antenna</i> pada Tegangan 13kV dengan Jarak Elektroda 2 cm	56
Gambar 4. 21 Pola (ϕ -q-n) <i>microstrip antenna</i> Pada Tegangan 7 kV dengan Jarak Elektroda 1 cm.....	57
Gambar 4. 22 Pola (ϕ -q-n) <i>microstrip antenna</i> pada Tegangan 10 kV dengan Jarak Elektroda 1, 5 cm.....	57
Gambar 4. 23 Pola (ϕ -q-n) <i>microstrip antenna</i> pada Tegangan 13 kV dengan Jarak Elektroda 2 cm.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kontribusi Kegagalan Sistem Karena Masalah Isolasi Terhadap Peralatan Tegangan Tinggi (Suwarno, 2014).....	9
Tabel 2.1 Klasifikasi Frekuensi.....	22
Tabel 3.1 Spesifikasi Pembangkit Tegangan Tinggi AC	27
Tabel 3.2 Spesifikasi Minyak Shell Dialla B	28
Tabel 3.3 Spesifikasi iHFCT-54.....	30
Tabel 3.4 Dimensi antena <i>rectangular</i> teroptimasi frekuensi 0.3 GHz	34
Tabel 4.1 Parameter Hasil Pengujian Validasi HFCT dan Antena pada Isolasi Minyak menggunakan <i>loop antenna</i> jarak 1 cm	43
Tabel 4.2 Parameter Hasil Pengujian Validasi HFCT dan Antena pada Isolasi Udara menggunakan <i>loop antenna</i> jarak 1 cm	45
Tabel 4.3 Parameter Hasil Pengujian Validasi HFCT dan Antena pada <i>microstrip antenna</i> 1 cm	47
Tabel 4.4 Jumlah Titik PRPD Isolasi Minyak.....	54
Tabel 4.5 Jumlah PRPD Isolasi Udara	56
Tabel 4.6 Jumlah Titik PRPD Isolasi Udara <i>Microstrip Antenna</i>	58

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Isolator adalah peralatan fundamental yang terdapat pada sistem tenaga listrik dan berfungsi sebagai pemisah antara dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan. Tujuan dilakukan pemisahan tersebut adalah untuk menghindari lompatan listrik atau percikan. Media isolasi memiliki beberapa jenis isolasi, yaitu isolasi udara, padat dan minyak. Setiap media memiliki karakteristik yang berbeda-beda sehingga tegangan tembus dan pemanfaatan yang dilakukan juga bervariasi. Isolasi memiliki batas kemampuan tembus tegangan bergantung pada kekuatan dielektrik dari isolasi tersebut (Speight, 2020). Apabila isolasi diberi tegangan yang melebihi batas maka akan terjadi tembus tegangan dan arus akan mengalir (Aulia Irsyad, 2016). Fenomena ini dinamakan *breakdown*, dan sebelum terjadi *breakdown* terdapat fenomena yang perlu diwaspadai, yaitu *partial discharge*.

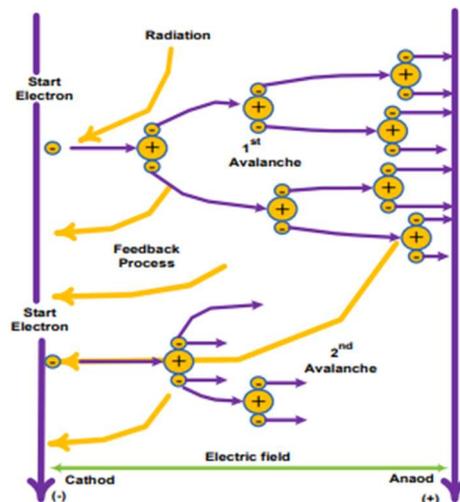
Fenomena *partial discharge* perlu diwaspadai karena merupakan proses penurunan kekuatan isolasi dan masa pakai suatu peralatan (Contin, 2015). Diagnosa isolator tegangan tinggi menggunakan metode pengukuran *partial discharge* adalah salah satu metode penting dalam mengestimasi kualitas kondisi isolator pada peralatan tegangan tinggi (Schwarz, 2006). Selain itu, dengan munculnya *partial discharge* dapat mengindikasikan penuaan/*aging* pada peralatan dan dalam jangka panjang mengakibatkan kegagalan pada peralatan. Kontribusi kegagalan sistem dan kegagalan karena masalah isolasi untuk peralatan HV utama ditunjukkan pada tabel 1.1 di bawah (Suwarno, 2014). Partial discharge dapat menyebabkan penuaan, kerusakan isolasi, dan kegagalan pada peralatan yang diisolasi pada sistem tegangan menengah dan tinggi. Selain itu, Partial discharge dapat mempengaruhi keandalan jaringan secara signifikan pada jaringan listrik yang beroperasi (Duan, 2015). Selain itu, statistik mengindikasikan bahwa 85% kegagalan pada tegangan menengah dan tegangan tinggi terkait dengan *partial discharge* (Shady S. Refaat, 2018).

Tabel 1.1 Kontribusi Kegagalan Sistem Karena Masalah Isolasi Terhadap Peralatan Tegangan Tinggi (Suwarno, 2014)

Peralatan	Kontribusi Terhadap Kegagalan Sistem (%)	Kegagalan Karena Masalah Isolasi (%)
Isolator	35	90
Generator	15	47
Transformator	12	84
GIS & <i>Switchgears</i>	15	95
Kabel Power	10	89

Menurut standard IEC 60270:2000 (IEC Patent No. 60270:2000, 2000) *partial discharge* didefinisikan sebagai peluahan listrik sebagian yang hanya menjembatani sebagian isolasi antara konduktor yang berpotensi terionisasi pada konduktor. *Partial discharge* (PD) adalah fenomena *pre-breakdown* pada suatu peralatan tegangan tinggi. PD terjadi akibat pelepasan muatan listrik yang terjadi pada bahan dielektrik yang berupa cahaya, panas, *noise*, dan gelombang elektromagnetik. Proses *partial discharge* dimulai dengan munculnya elektron *avalanche*. Munculnya elektron *avalanche* dipengaruhi oleh sinar radiasi matahari, reaksi

kimia, ionisasi termal. Proses diawali dengan pergerakan elektron yang semakin cepat akibat perbedaan potensial. Pergerakan elektron ini bergerak melalui jalur bebas rata-rata dalam bahan dielektrik gas seperti yang ditunjukkan pada gambar. 1. 1. Ketika elektron bertabrakan dengan elektron lain dan memiliki energi yang cukup, probabilitas untuk membebaskan elektron lain sepanjang jalur bebas dapat meningkat (Bartnikas, 2002). *Partial Discharge* adalah fenomena yang penting untuk diamati sehingga dapat menjadi tindakan preventif untuk mencegah kerusakan peralatan dielektrik. Peralatan dielektrik pada sistem tegangan tinggi merupakan peralatan krusial sehingga mengetahui peristiwa *partial discharge* lebih awal menjadi tindakan yang dibutuhkan para peneliti agar memudahkan pendeteksian (Chou & Chen, 2018). Salah satu contoh peralatan yang dapat mendeteksi *partial discharge* adalah antenna (Khayam & Fatoni, 2017).



Gambar 1. 1 Proses Partial Discharge

Partial discharge memiliki berbagai metode deteksi. Pada peralatan tertentu seperti GIS (*gas-insulated substation*) gelombang akustik cukup kuat untuk dideteksi dan dapat digunakan untuk diagnosis kondisi peralatan GIS. Metode deteksi *partial discharge* yang paling umum adalah metode termografi yang dilakukan dengan menganalisa perbedaan suhu antara 2 elektrode dengan lingkungan. Akan tetapi, metode tersebut mempunyai kelemahan. Kelemahan metode ini adalah kebutuhan akan ruangan yang gelap dan suhu lingkungan yang ideal. Selain itu, metode Acoustic Emission (AE) juga dapat digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik di sekitar elektroda. Akan tetapi, biaya pemasangan *Acoustic Emission* sangatlah mahal (al., 2016). Metode lain yang dapat digunakan adalah deteksi menggunakan antenna. Metode antenna memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh *partial discharge*. Gelombang elektromagnetik tersebut ditangkap oleh antenna kemudian diolah menggunakan osiloskop. Dengan demikian, deteksi antenna dapat menjadi solusi deteksi yang sebelumnya (Luo, et al., 2016).

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini adalah studi literatur, persiapan alat dan bahan, pengujian dan pengambilan data, pengolahan dan analisis data,

penarikan kesimpulan, dan diakhiri dengan penyusunan laporan. Pada tahap pertama yaitu studi literatur, penulis membaca dan mempelajari buku, jurnal, dan sumber literasi yang menunjang materi tugas akhir ini. Tahap kedua yaitu dilakukan persiapan alat dan bahan pengujian seperti elektroda *needle to plate*, minyak isolasi, *loop antenna*, *microstrip antenna*, dan *oscilloscope*, serta pembangkitan tegangan tinggi AC, HFCT. Selanjutnya, Pengujian dan pengambilan data dilakukan dengan modul pembangkitan tegangan tinggi AC yang telah disambungkan dengan elektroda *needle to plate* yang direndam pada minyak isolasi. Selanjutnya menaikkan tegangan tinggi AC hingga mencapai nilai tertentu. Setelah itu *loop antenna/microstrip antenna* yang dihubungkan dengan *Oscilloscope* diletakan pada jarak 20 cm dari elektroda akan menangkap sinyal *partial discharge*. Pengujian dilakukan dalam kondisi normal, *pre breakdown* dan 1 detik sebelum *breakdown*. Selain itu, sinyal tegangan yang dihasilkan dari antena akan dipakai sebagai acuan untuk mendeteksi *partial discharge*. Sinyal gelombang *partial discharge* akan ditampilkan dalam bentuk Phase Resolved Partial discharge (PRPD) dan divalidasi dengan sinyal gelombang HFCT.

Berdasarkan penjelasan di atas, tugas akhir ini akan dilakukan penelitian mengenai perbandingan deteksi *partial discharge* pada isolasi udara dan isolasi minyak menggunakan *loop antenna*. Selain itu, sebagai data tambahan, deteksi *loop antenna* pada isolasi udara akan dibandingkan juga dengan deteksi *partial discharge* menggunakan *microstrip antenna*. Penelitian ini terdiri dari dua bagian, yaitu pengujian dan pengolahan data. Tugas akhir ini juga diharapkan dapat diimplementasikan untuk menunjang kebutuhan industri di Indonesia. Selain itu, analisa Tugas akhir ini diharapkan dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa rumusan masalah yang menjadi acuan dalam pelaksanaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendeteksi *partial discharge* menggunakan *loop antenna* pada isolasi minyak dan udara?
2. Bagaimana karakteristik sinyal yang dihasilkan *loop antenna* ketika terjadi *partial discharge* pada isolasi minyak dan udara?
3. Bagaimana pengaruh jarak elektroda terhadap fenomena *partial discharge* pada isolasi minyak dan udara?
4. Bagaimana perbandingan deteksi *partial discharge* antara isolasi udara dan isolasi minyak menggunakan *loop antenna*?
5. Bagaimana perbandingan deteksi *partial discharge* antara *microstrip antenna* dan *loop antenna* pada isolasi udara

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup atau pembatasan masalah sebagai upaya untuk memfokuskan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perangkat keras yang digunakan adalah elektroda *needle to plate*, minyak isolasi, *loop antenna*, *microstrip antenna*, dan Osiloskop, serta pembangkitan tegangan tinggi AC, HFCT.
2. Perangkat lunak yang digunakan untuk analisis adalah Matlab R2021a dan Ms. Excel.
3. Variabel deteksi *partial discharge* yang diamati adalah pengaruh jarak elektroda, perbandingan bentuk gelombang, analisa magnitudo, dan analisa PRPD.
4. Pembangkit yang digunakan untuk pengujian adalah pembangkit tegangan tinggi AC.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Terciptanya suatu alat yang bisa mendeteksi *partial discharge* pada isolasi minyak dan isolasi udara.
2. Mengetahui bagaimana karakteristik sinyal *partial discharge* yang dihasilkan dari *loop antenna* pada pengujian isolasi minyak dan udara.
3. Menganalisa sinyal yang diterima oleh loop antenna saat terjadi *partial discharge* dan memvalidasi dengan HFCT.
4. Mengetahui pengaruh jarak elektroda terhadap sinyal *partial discharge*.
5. Menganalisa perbandingan deteksi *partial discharge* antara isolasi udara dan isolasi minyak menggunakan *loop antenna*.

1.5 Manfaat

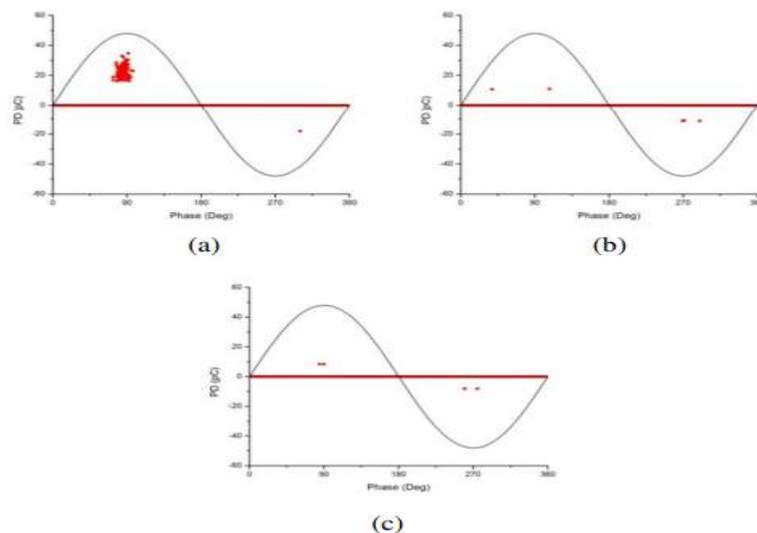
Penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dan manfaat sebagai referensi dalam dunia industri terkait penggunaan isolasi minyak dan isolasi udara dalam mencegah terjadinya fenomena *Partial Discharge*. Selain itu, diharapkan tugas akhir ini dapat menjadi bahan referensi untuk pengerjaan tugas akhir dengan topik serupa bagi mahasiswa lainya.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menjelaskan mengenai hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini. Penelitian sebelumnya menjadi

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Sejumlah penelitian mengenai deteksi *partial discharge* telah banyak dilakukan. Salah satu penelitian tersebut adalah Pada penelitian sebelumnya yang telah dipublikasikan dengan judul “Design and Application Of Loop Antenna For Partial Discharge Induced Electromagnetic Wave Detection” di Conference ICEEI 2017 (Khayam & Fatoni, Design and application of loop antenna for partial discharge induced electromagnetic wave detection, 2017). Pada penelitian tersebut, telah menjelaskan deteksi *partial discharge* menggunakan loop antenna. Akan tetapi, pada penelitian sebelumnya hanya membahas deteksi *partial discharge* pada isolasi gas dan tidak membahas mengenai perbandingan terkait isolasi optimal terkait fenomena *partial discharge* dengan adanya pengaruh jarak elektroda terhadap hasil deteksi. Selain itu, telah dilakukan penelitian dengan judul “Design of Circle Loop Antena as Partial Discharge sensor”. Pada penelitian ini, memiliki tujuan untuk membandingkan kinerja *loop antenna* dengan variasi tiga ukuran diameter *loop antenna* (Rozi & Khayam, Design of circle shaped loop antenna as partial discharge sensor, 2015). Pada gambar 2.1 di bawah, merupakan hasil penelitian yang menunjukkan perbedaan ukuran antenna dapat memengaruhi kinerja antenna dalam mendeteksi *Partial discharge*. Akan tetapi, pada penelitian sebelumnya hanya membahas deteksi *partial discharge* pada isolasi gas dan tidak membahas mengenai perbandingan terkait isolasi optimal fenomena *partial discharge* pada isolasi udara dan minyak dengan adanya pengaruh jarak elektroda terhadap hasil deteksi.

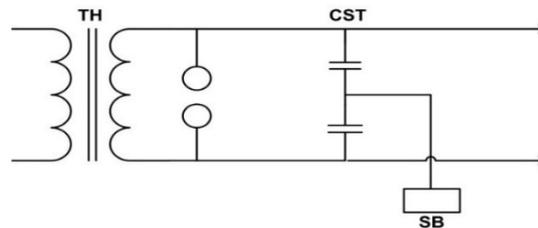


Gambar 2. 1 Hasil penelitian sebelumnya (Rozi & Khayam, Design of circle shaped loop antenna as partial discharge sensor, 2015)

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Pada sistem tenaga tegangan tinggi terdapat tiga macam tegangan tinggi, yaitu tegangan tinggi bolak-balik (AC), searah (DC), dan tegangan sesaat (impuls). Indonesia menggunakan pembangkit tegangan tinggi AC dalam menyuplai kebutuhan listrik, sedangkan tegangan tinggi DC digunakan untuk kebutuhan pengujian. Pada pembangkitan tegangan tinggi AC terdiri dari trafo satu fasa. Perbandingan belitan pada tegangan tinggi AC lebih besar jika dibandingkan dengan trafo yang digunakan pada pembangkitan DC untuk pengujian. Pembangkit tegangan tinggi AC dapat dilihat pada gambar 2. 2.



Gambar 2. 2 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

2.2.2 Media Isolasi

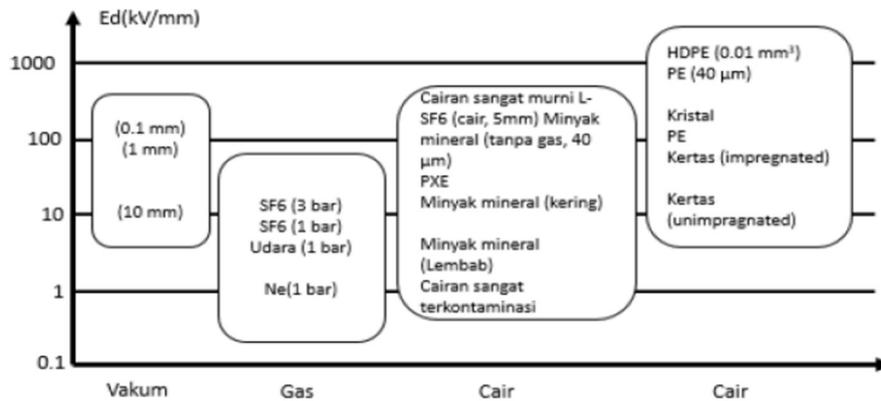
Pada peralatan tegangan tinggi, diperlukan sistem isolasi untuk membatasi bagian bagian bertegangan untuk meminimalisir kerusakan pada peralatan listrik akibat busur api. Sistem isolasi tegangan tinggi memiliki *lifetime* dalam penggunaannya. Seiring dengan perkembangan sistem jaringan, peralatan tegangan tinggi akan menerima medan yang lebih besar sehingga sinyal harmonik yang dihasilkan akan berpotensi untuk merusak sistem isolasi. Selain itu, gangguan frekuensi tinggi akan menyebar ke seluruh jaringan kabel dan menghasilkan impuls listrik yang dapat merusak isolasi dan memungkinkan peningkatan peluahan sebagian (Khayam & Kasnalestari, 2016).

2.2.2.1 Isolasi Cair

Isolasi cair adalah bahan isolasi berupa cairan yang berfungsi untuk memisahkan bagian bertegangan dan yang tidak bertegangan. Selain itu, isolator cair memiliki sifat sebagai pemadam busur api dan digunakan sebagai pendingin pada peralatan tegangan tinggi seperti pemutus sirkuit dan transformator (Widyaningrum, Setiawan, & Kaloko, 2017). Contoh bahan isolator cair adalah minyak.

Salah satu sifat isolator cair adalah *withstand breakdown*. *Withstand breakdown* memiliki arti bahwa minyak memiliki kemampuan mempertahankan kemampuan isolasi tekanan listrik yang tinggi saat beroperasi. Sifat isolasi zat cair memiliki ketentuan untuk nilai resistivitas di atas 10⁹ ohmmeter, dan untuk resistivitas tegangan tinggi di atas 10¹⁶ ohmmeter (IEC 6. C., 2004). Keuntungan dari isolasi cair adalah isolasi cair memiliki kerapatan seribu kali lebih besar dari isolasi gas sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi menurut hukum Paschen. Akan tetapi, isolasi cair memiliki kelemahan yaitu sangat rentan terhadap kontaminasi oleh udara luar karena peralatan yang terkontaminasi partikel asing ke dalam isolasi cair, isolasi cair juga memerlukan ruangan kedap air sehingga biaya perawatan akan relatif lebih mahal dibandingkan dengan isolasi gas.

Berdasarkan kemampuannya, isolasi cair lebih baik dibandingkan dengan isolasi udara. Namun, kekuatan isolasi cair masih lebih kecil dibandingkan dengan isolasi padat. Perbandingan tingkat kegagalan bahan isolasi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Tingkat kegagalan Bahan Isolasi (Yulistya, 2013)

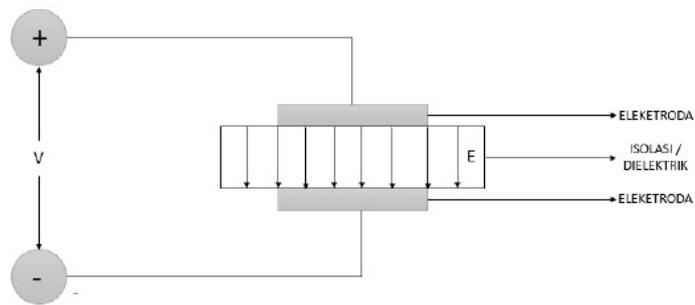
2.2.2.2 Isolasi Udara

Salah satu media isolasi gas adalah isolasi udara. Isolasi udara merupakan isolasi yang paling banyak digunakan. Isolasi udara mempunyai tegangan breakdown yang disebabkan oleh ionisasi (tumbukan ion-ion). Udara merupakan jenis isolasi udara yang banyak digunakan. Namun, udara memiliki kekuatan dielektrik yang terendah dibandingkan isolasi cair dan padat. Jenis-jenis isolasi udara yang mempunyai kekuatan dielektrik yang besar, antara lain: Sulfur Hexafluoride (SF6), nitrogen (N2) dan Carbon dioxide (CO2).

Proses dasar kegagalan isolasi udara adalah ionisasi benturan oleh elektron. Proses dasar benturan tersebut adalah proses primer dan sekunder. Proses primer adalah yang memungkinkan terjadinya banjir elektron dan proses sekunder yang memungkinkan peningkatan banjir elektron. Mekanisme kegagalan isolasi udara yaitu kegagalan townsend dan kegagalan streamer. Berdasarkan teori yang terdapat pada hukum Paschen disimpulkan bahwa besar tegangan tembus akan semakin meningkat ketika tekanan udara dinaikkan. Hal ini disebabkan karena tekanan gas yang semakin tinggi mengakibatkan rapatnya molekul udara sehingga elektron membutuhkan energi yang lebih besar untuk bergerak. Mekanisme townsend merupakan awal peluahan dan dilanjutkan pada mekanisme streamer (Pompili & Bartnikas, 2012)

2.2.3 Kegagalan Isolasi

Kekuatan dielektrik merupakan batas kemampuan suatu material untuk bisa bertahan terhadap tegangan tinggi yang diberikan tanpa menyebabkan suatu kegagalan. Pada gambar 2.4, menjelaskan ilustrasi kerja dari sebuah isolasi. Suatu isolasi akan mengalami kegagalan isolasi ketika terjadi *breakdown*. Tegangan tembus (*breakdown voltage*) akan terjadi apabila tidak dapat menahan tegangan tinggi yang diberikan dan akan menyebabkan kerusakan pada suatu peralatan. Setiap bahan isolasi memiliki kekuatan dielektrik yang berbeda-beda tergantung dengan material yang digunakan, suhu, jenis tegangan yang diberikan dan sifat atomnya.

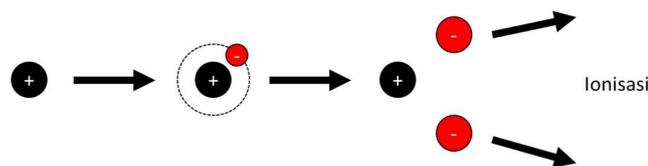


Gambar 2. 4 Orde Tingkat Kegagalan Material Isolasi

2.2.3.1 Kegagalan Isolasi Udara

Proses kegagalan bahan isolasi udara bergantung kepada pembawa muatan dalam udara (elektron dan ion). Muatan tersebut bergerak disebabkan oleh medan listrik dengan energi melalui proses ionisasi. Karakteristik pembawa muatan udara dipengaruhi oleh benturan dengan molekul tertentu.

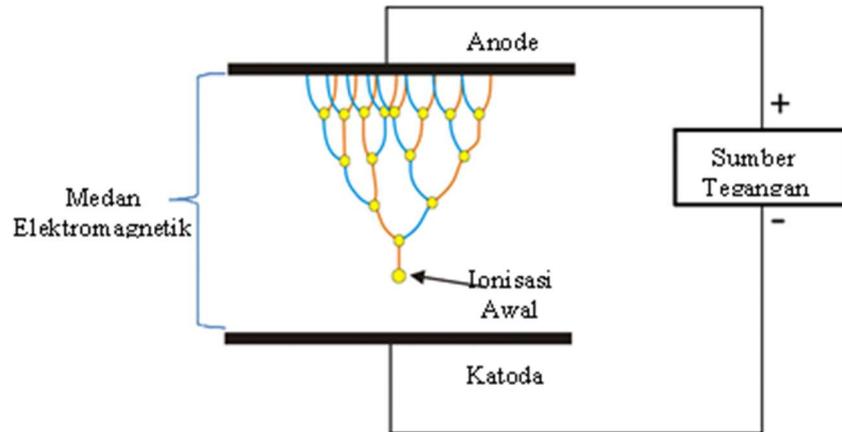
Ionisasi adalah proses fisik mengubah atom atau molekul menjadi ion-ion dengan menambahkan atau mengurangi partikel bermuatan seperti elektron atau lainnya. Terdapat banyak jenis ionisasi, yaitu ionisasi benturan, ionisasi foton, dan ionisasi termal. Ion merupakan atom atau gabungan dari beberapa atom yang memiliki muatan listrik. Ion terbentuk apabila suatu unsur atom menangkap atau melepaskan elektron. Ketika dua elektroda yang dimasukkan dalam media udara menerapkan tegangan (V) maka akan timbul medan listrik (E). Medan listrik tersebut, mempunyai besar dan arah tertentu yang akan menyebabkan elektron bebas mendapatkan energi yang cukup untuk menuju ke arah anoda sehingga menimbulkan proses ionisasi. Selanjutnya, jika tegangan semakin meningkat maka jumlah elektron yang terionisasi akan semakin banyak dibandingkan dengan jumlah ion yang ditangkap molekul oksigen. Setelah itu, elektron tersebut akan bergerak menuju anoda secara terus menerus sehingga membuat benturan yang akan membebaskan lebih banyak elektron. Proses benturan ditampilkan pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Proses Ionisasi Dalam Bentuk Benturan

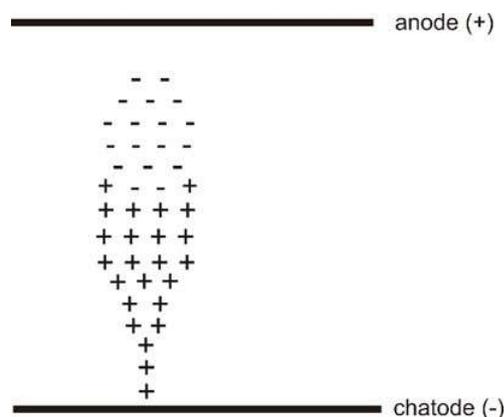
Mekanisme kegagalan isolasi udara terdiri dari kegagalan townsend dan kegagalan streamer. Berdasarkan teori yang terdapat pada hukum Paschen disimpulkan bahwa besar tegangan tembus akan semakin meningkat ketika tekanan udara dinaikkan. Hal ini disebabkan karena tekanan gas yang semakin tinggi mengakibatkan rapatnya molekul udara sehingga elektron membutuhkan energi yang lebih besar untuk bergerak. Mekanisme townsend merupakan awal peluahan dan dilanjutkan pada mekanisme streamer.

Mekanisme Townsend menjelaskan tentang fenomena tembus hanya pada tekanan rendah dan jarak sela yang kecil ($p \leq 10 \text{ bar mm}$) dengan medan homogen. Mekanisme Townsend memiliki 2 hal dasar yang penting yaitu proses primer yakni saat terjadi banjir elektron dan proses sekunder yakni memungkinkan terjadinya peningkatan banjir electron. Gambar 2.6 menampilkan visualisasi mekanisme Townsend pada proses kegagalan isolasi udara.



Gambar 2. 6 Visualisasi Mekanisme Townsend (Ohmura & Ogino, 2014)

Mekanisme streamer merupakan lanjutan dari mekanisme Townsend. Pada tekanan dan jarak sela yang semakin besar ($p > 10 \text{ bar mm}$) tembus terjadi dengan mekanisme Streamer. Tegangan tembus terjadi pada tekanan dan jarak sela yang semakin besar yakni untuk $N > 10^8$. Dalam mekanisme streamer, banjir primer tidak mampu menjembatani ruangan antar katoda dan anoda. Ciri dari mekanisme ini adalah terbentuknya anak luruhan di depan dan dibelakang kepala luruhan yang disebabkan karena peningkatan medan dan dapat menyebabkan banjir baru. Streamer telah terjadi apabila banjir tersebut membentuk suatu jembatan konduktif, Gambar 2.7 dibawah ini akan menampilkan visualisasi mekanisme streamer (Allen & Mikropoulos, 2001).



Gambar 2. 7 Visualisasi Mekanisme Streamer(N. L. Allen & P. N. Mikropoulos, 2001)

2.2.3.2 Kegagalan Isolasi Cair

Kekuatan dielektrik adalah kemampuan isolasi cair dalam menahan tegangan tinggi tanpa terjadinya kegagalan. Dalam prakteknya, kekuatan dielektrik tergantung pada bahan elektroda, suhu, tegangan yang diberikan dan gas yang terkandung dalam cairan isolasi. Kekuatan dielektrik cair dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Keterangan :

E = Kuat medan elektrik

V = Tegangan tembus

d = Jarak elektroda

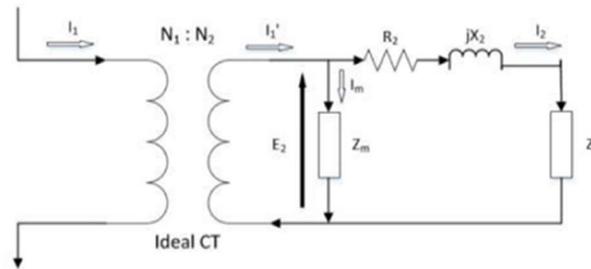
Kegagalan isolasi cair memiliki beberapa bentuk diantaranya terdapat partikel padat, uap air, dan gelembung gas. Uap air akan terbentuk suatu dipol apabila terdapat pelepasan molekul uap air. Selain itu, partikel padat akan terbentuk akibat pemanasan dan tegangan berlebih. Pada gelembung gas, diakibatkan oleh terbentuknya gelembung gas pada isolasi cair sehingga dapat mengakibatkan kegagalan dielektrik cair. Isolasi yang diaplikasikan secara terus menerus akan menyebabkan kegagalan atau *breakdown*. Teori kegagalan isolasi cair memiliki tiga jenis, yaitu kegagalan zat murni (elektronik), kegagalan gelembung gas (*cavity*), dan kegagalan bola cair (Kuffel, Zaengl, & Kuffel, 2000). Penjelasan terkait dengan teori kegagalan isolasi cair akan dibahas di bawah:

- Teori Kegagalan Elektronik
Kegagalan ini terjadi akibat adanya elektron pada zat cair. Seiring dengan bertambahnya tegangan maka elektron akan semakin banyak. Proses ionisasi pada gelembung gas meningkatkan konduktansi dan menyebabkan distorsi distribusi medan.
- Teori Kegagalan Tak Murnian Padat
Teori kegagalan tak murnian padat terjadi akibat adanya kontaminan benda padat yang tercampur dalam isolasi minyak. Kontaminan atau butiran pada inilah yang akan menyebabkan kegagalan. Hal ini terjadi akibat butiran zat padat memiliki dua sifat permitivitas yang berbeda dengan permitivitas bahan isolasi cair.
- Teori Kegagalan Gelembung
Kegagalan gelembung udara atau kavitasi merupakan bentuk kegagalan isolasi cair yang di sebabkan oleh tidak kemurnian minyak isolasi cair yang bercampur dengan gelembung udara. Gelembung udara adalah penyebab dari awal terjadi kegagalan total pada media isolasi cair.

2.2.4 High Frequency Current Transformer (HFCT)

HFCT adalah transformator arus frekuensi tinggi yang dirancang khusus untuk mengambil sinyal *partial discharge*. Alat pengukur, akan menghasilkan karakteristik yang sama antara arus primer dan sekunder sehingga *partial discharge* yang terjadi pada arus

primer dapat dideteksi kabel dan peralatan tegangan tinggi yang terhubung trafo dapat dideteksi oleh HFCT sebagai sensor *partial discharge*. HFCT diletakan pada kabel ground yang terletak pada switchgear, peralatan tegangan tinggi, atau kotak terminal pada trafo (Amna & Khayam, 2016). Rangkaian pengganti HFCT ditunjukkan sesuai pada gambar 2.8 di bawah.



Gambar 2. 8 Rangkaian Pengganti HFCT

Persamaan tegangan dari HFCT sesuai dengan persamaan 2.2 di bawah, dengan V_o merupakan tegangan keluaran, I_1 adalah arus primer yang mengalir di HFCT, n jumlah lilitan sisi sekunder, R_2 tahanan sisi sekunder, X_2 adalah reaktansi sisi sekunder, Z_m adalah impedansi magnetisasi, dan Z_b merupakan impedansi beban.

$$V_o = \frac{Z_m \times Z_b}{n \times (R_2 + jX_2 + Z_b + Z_m)} \times I_1 \quad (2.2)$$

Dimana:

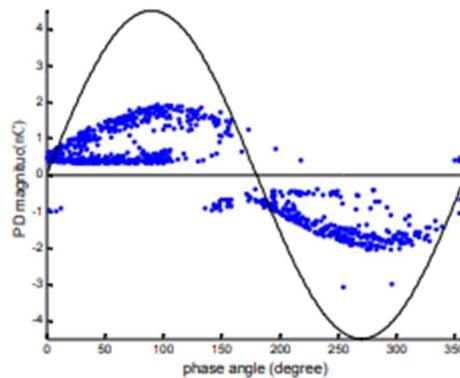
- V_o = Tegangan *Output*
- I_1 = Arus Primer
- N = Jumlah lilitan sisi sekunder
- R_2 = Tahanan sisi sekunder
- L_2 = Induktansi sisi sekunder
- Z_m = Impedansi magnetisasi
- Z_b = Impedansi beban

2.2.5 Phase Resolved Partial Discharge (PRPD)

Partial discharge (PD) dapat diketahui melalui amplitudo tegangan yang diterima oleh antenna. Berdasarkan pengujian diketahui bahwa semakin tinggi tegangan suplai pada elektroda maka tegangan yang diterima oleh antenna juga meningkat. Hal tersebut dikarenakan oleh medan elektromagnetik yang muncul diantara kedua elektroda semakin kuat juga. Metode yang digunakan untuk mengukur dan merekam sinyal partial discharge pada siklus fasa tegangan yang berbeda adalah PRPD (*Phase Resolved Partial Discharge*). Untuk menghitung banyaknya jumlah peluahan sebagian yang terjadi dalam waktu tertentu dapat menggunakan PRPD. Analisa dari PRPD hanya dapat dilakukan saat kondisi *pre-breakdown*. Setiap titik merepresentasikan sebuah pulsa *partial discharge*, semakin tinggi titik berarti semakin besar muatan pulsa *partial discharge* yang terjadi, begitu juga semakin padat jumlah titiknya semakin banyak *partial discharge* yang terjadi. Hasil dari analisa PRPD dapat terpengaruh oleh *noise* (gangguan sinyal).

Pola PRPD adalah representasi visual dari aktivitas peluahan sebagian terhadap 360 derajat siklus AC. Aktivitas *partial discharge* akan disebabkan oleh beberapa kerusakan pada peralatan sistem isolasi tegangan tinggi (*High Voltage*). Plot PRPD akan menunjukkan

amplitudo setiap peristiwa *discharge* (sumbu y) yang diplot terhadap sudut fasanya (sumbu x). Dalam PRPD, fase kejadian, muatan semu dan jumlah *partial discharge* yang memiliki fasa dan besaran yang sama dapat dicatat. Selain itu, untuk tujuan penyimpanan data, pada umumnya ukuran $m \times n$ matriks digunakan di mana m adalah jumlah saluran fasa dan n adalah jumlah tingkat *charging* (Niasar, 2012). Setiap elemen matriks menunjukkan jumlah *partial discharge* dengan besaran dan fasa tertentu. Data *Partial discharge* dalam jumlah tertentu dari tegangan yang diberikan pada siklus diplot pada sumbu x dari siklus tegangan. Oleh karena itu, pola PRPD menunjukkan kejadian *partial discharge* pada fase tertentu dari tegangan yang diterapkan dengan besaran muatan tertentu dalam jumlah tertentu dari siklus tegangan yang diterapkan seperti pada gambar yang ditunjukkan pada gambar 2.9 di bawah (H. Illias, 2012).



Gambar 2. 9 (H. Illias, 2012)

2.2.6 Loop Antena

Loop antenna adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik. Sinyal elektromagnetik tersebut, lalu diradiasikan ke udara begitu juga sebaliknya. *Loop antenna* dirancang untuk dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik yang diinduksi *partial discharge* dalam rentang frekuensi tertentu dengan *bandwidth* yang lebih lebar. Struktur dari elektroda dan isolasi antar elektroda akan mempengaruhi frekuensi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan *partial discharge*. Selain itu, *Loop antenna* memiliki kelebihan yaitu karakteristik yang baik, kecil, sederhana, murah, dan mudah dibuat..

Antena memiliki dua fungsi utama yaitu, mentransmisikan sinyal dan menerima sinyal (Werner, 1996). Akan tetapi, untuk pendeteksian *partial discharge* antena digunakan untuk menerima sinyal (Widjaja, Fahren, Khayam, & Hidayat, 2020). Sinyal yang diterima oleh antena adalah sinyal yang dipancarkan oleh sumber *partial discharge*. *Loop Antenna* dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik yang menginduksi *partial discharge* dalam rentang frekuensi tertentu dengan *bandwidth* yang lebih lebar. Ketika medan magnet melewati kumparan antena, maka akan menghasilkan tegangan induksi yang melewati lilitan. Berdasarkan Hukum Faraday, fluks magnet yang berubah terhadap waktu melalui ruang tertutup permukaan dapat menginduksi tegangan di sekitar kawat permukaan. Hal ini dapat dinyatakan pada persamaan berikut:

$$V_{ind} = -N \frac{d\psi}{dt} \quad (2.3)$$

$$\psi = \int B \cdot dS \quad (2.4)$$

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. Performa dari antenna loop akan semakin baik jika ukuran antenna semakin besar. *Loop antenna* 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 merancang antena loop, dimensi loop antena harus dihitung. Persamaan 2.4 menunjukkan hubungan antara frekuensi (f), panjang gelombang (λ), dan kecepatan cahaya (C). (Rozi & Khayam, Design of circle shaped loop antenna as partial discharge sensor, 2015).

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2.5)$$

Dimana:

f = frekuensi (Hz)

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

λ = panjang gelombang (m)



Gambar 2. 10 Loop Antenna
(Warne & Haddad, 2004)

2.2.7 Ultra High Frequency (UHF)

Gelombang yang mempunyai frekuensi kurang dari 3000 GHz adalah gelombang radio. Gelombang radio merambat pada ruang terbuka tanpa media penghantar buatan. Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam satuan detik dengan satuan Hertz(Hz).

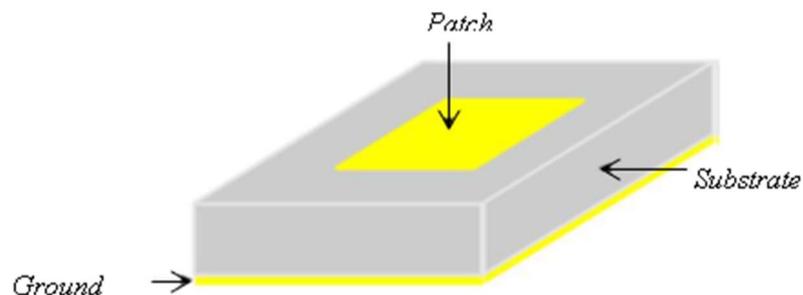
Menurut ITU (International Telecommunication Union), frekuensi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa range frekuensi yang dapat dilihat pada tabel 1.1 (Ra & Khayam, 2015):

Tabel 2.1 Klasifikasi Frekuensi

Range Frekuensi	Pita Frekuensi	Panjang Gelombang
3 s.d. 30 kHz	<i>Very Low Frequency</i>	100.000 - 10.000m
30 s.d. 300 kHz	<i>Low Frequency</i>	10.000 - 1.000 m
300 s.d. 3000 kHz	<i>Medium Frequency</i>	1.000 - 100 m
3000 s.d.30 MHz	<i>High Frequency</i>	100- 10 m
30 s.d. 300 MHz	<i>Very High Frequency</i>	10 - 1 m
300 s.d. 3000 MHz	<i>Ultra high frequency</i>	1m – 10cm
3 s.d. 30 GHz	<i>Super High Frequency</i>	10 – 1cm
30 s.d. 300 GHz	<i>Extremel High Frequency</i>	1cm – 1mm

2.2.8 Antena *Microstrip*

Antena adalah alat yang dapat mengkonversi besaran listrik menjadi gelombang elektromagnetik untuk diradiasikan ke udara melalui saluran transmisi. *Microstrip antenna* adalah bahan konduktor yang diletakkan di atas *ground plane*. Umumnya, antena *microstrip* mempunyai bentuk yang kecil sehingga antena *microstrip* dapat dengan mudah diletakkan disegala permukaan. *Microstrip antenna* pada umumnya terdiri atas *patch* sebagai elemen peradiasi, *ground plane* dan *substrate* (pemisah *patch* dan *ground plane*) seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Struktur Antena *Microstrip*

Patch merupakan lapisan logam metal yang mempunyai ketebalan tertentu. Fungsi *patch* yaitu meradiasikan gelombang listrik dan gelombang magnet. *Patch* memiliki bermacam-macam bentuk seperti segitiga, persegi, persegi panjang, elips, lingkaran dan lainnya yang bertujuan untuk menghasilkan karakteristik yang baik atau performa yang bagus.

Nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) dan nilai ketebalan *substrate* (h) mempengaruhi karakteristik *substrate*. *Bandwidth* yang lebar dan efisiensi yang tinggi dipengaruhi oleh ketebalan *substrate* yang tinggi dan nilai konstanta dielektrik yang kecil. Akan tetapi, hal itu mempunyai kerugian yakni ukuran antena menjadi lebih besar dan berdampak akan timbul *surface wave*. *Surface wave* adalah gelombang yang merambat pada ubstrate dan menghambur pada bidang yang diskontinyu.

Microstrip antenna memiliki berbagai kelebihan, antara lain: lebih fleksibel dalam perancangan untuk modifikasi, ukuran yang ringan, dan performa yang baik. Akan tetapi, *microstrip antenna* juga memiliki beberapa kekurangan seperti, rendahnya *gain* dan kemungkinan adanya radiasi bocor(*spurious*).

2.2.9 Parameter Antena

Performa dari sebuah antena dapat diukur melalui parameter *Return loss* dan *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR).

2.2.9.1 Return loss

Salah satu satuan pengukuran antena adalah *return loss*. *Return loss* merupakan perbandingan besar sinyal yang ditangkap dengan yang dikeluarkan antena. Beberapa factor yang menyebabkan terjadinya *return loss* seperti perbedaan impedansi antara pengirim sinyal dengan antena, kerusakan *feeder* antena, kerusakan pada konektor dan ketidaksesuaian konektor dengan penyalur. Ukuran *return loss* yang baik adalah di bawah -10 dB (Balanis, 2005). *Return loss* dapat dirumuskan sebagai berikut di mana Γ adalah koefisien refleksi :

$$RL = -20\log|\Gamma| \text{ dB} \quad (2.6)$$

Koefisien refleksi (Γ) adalah perbandingan antara gelombang yang dire V_0^- dengan tegangan yang dikirimkan V_0^+ . Koefisien refleksi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.7)$$

Keterangan :

V_0^- = Tegangan yang direfleksikan (V)

V_0^+ = Tegangan yang dikirim(V)

Z_L = Impedansi Beban (Ω)

Z_0 = Impedansi Karakteristik (Ω)

2.2.9.2 VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) adalah perbandingan gelombang yang diterima dan dipancarkan oleh antena. Semakin tinggi nilai VSWR maka semakin buruk kinerja antena dikarenakan semakin tinggi gelombang yang terinferensi oleh antena. Oleh karena itu, nilai yang ideal bagi VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) adalah ≤ 2 dan jika nilai VSWR besar maka daya yang dipantulkan oleh antena ke saluran transmisi akan besar juga. Nilai terbesar VSWR yang ditoleransi bernilai 2.

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.8)$$

Keterangan :

V_{\max} = tegangan maksimum

V_{\min} = tegangan minimum

Γ = Koefisien refleksi Tegangan

2.2.10 Peluahan Sebagian (*Partial Discharge*)

Partial discharge (PD) merupakan proses ionisasi elektron yang terjadi pada volume isolasi kecil karena adanya medan listrik yang tidak homogen. *Partial discharge* adalah percikan listrik atau busur api yang terjadi di dalam bahan isolasi transformator daya. Degradasi material insulasi ditunjukkan dengan adanya *partial discharge*. Energi yang dihasilkan pada proses ini cukup kecil, namun jika dibiarkan terlalu lama akan menyebabkan kegagalan bahan isolasi. *Partial discharge* (PD) adalah tahap awal degradasi isolasi, dan tidak dapat dihindari. Peluahan sebagian adalah pelepasan muatan listrik atau percikan api yang terjadi di dalam bahan insulasi karena kontaminasi, rusak, bahan insulasi yang buruk, kondisi operasional yang kurang baik, penuaan, dan kerusakan insulasi. bahan saat pemeliharaan (Refaat, Sayed, Shams, & Mohamed, 2018). Fenomena *partial discharge* biasanya terlokalisasi, berulang dan akan selalu berulang yang mengarah pada perubahan mekanis, termal dan/atau kimia serta kerusakan bahan atau media isolasi. Selanjutnya, kerusakan media isolasi yang berkelanjutan dan progresif pada akhirnya dapat mengakibatkan kerusakan atau kegagalan sistem kelistrikan. Selain itu, kerusakan peralatan tegangan tinggi secara tiba-tiba dapat menimbulkan kerusakan pada sistem (AVIVA, 2021). Oleh karena itu, analisis dan pengukuran *partial discharge* diperlukan untuk menilai kinerja dan kondisi sistem isolasi. Hal ini diperlukan untuk menghindari kerusakan yang tidak diinginkan dan membantu mengurangi biaya dan waktu pemeliharaan

Pengukuran dan analisis aktivitas *partial discharge* memiliki dua teknik yang paling banyak digunakan yaitu, *phase resolved partial discharge* (PRPD) dan *pulse sequential analysis* (PSA). Metode ini dapat digunakan untuk membedakan *partial discharge* berdasarkan pola yang diperoleh. Pada teknik pengukuran PRPD, metode ini memanfaatkan fase dan besarnya muatan dari fenomena *partial discharge*. Metode PRPD menunjukkan kejadian *partial discharge* pada fasa tertentu dari tegangan yang diberikan dengan besaran muatan dalam jumlah tertentu dari siklus tegangan yang diberikan. Sedangkan, pada metode PSA menggunakan amplitude tegangan yang diterapkan ketika *partial discharge* terjadi dan waktu dari kejadian *partial discharge* (Illias, Chen, & Lewin, 2002). Dalam pola PSA, sumbu y adalah perbedaan tegangan antara kejadian PD berikutnya dan saat terjadi PD. Sedangkan, sumbu x adalah perbedaan tegangan antara kejadian PD saat terjadi dan sebelumnya. (Illias, et al., 2012)

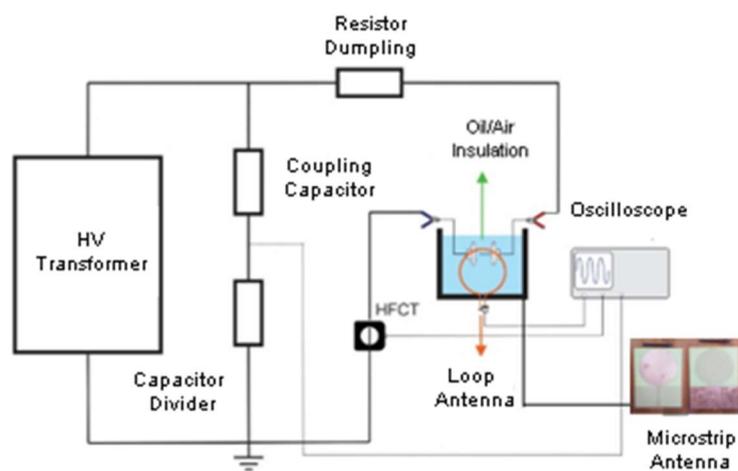
BAB 3 ALAT PENGUJIAN DAN METODE PENGAMBILAN DATA

Pada bab ini akan membahas tentang peralatan yang akan digunakan pada saat pengujian untuk mendapatkan fenomena *partial discharge* yang ditangkap oleh *loop antenna* pada minyak isolasi. Selanjutnya akan membahas tentang desain dari *loop antenna* dan proses akuisisi data.

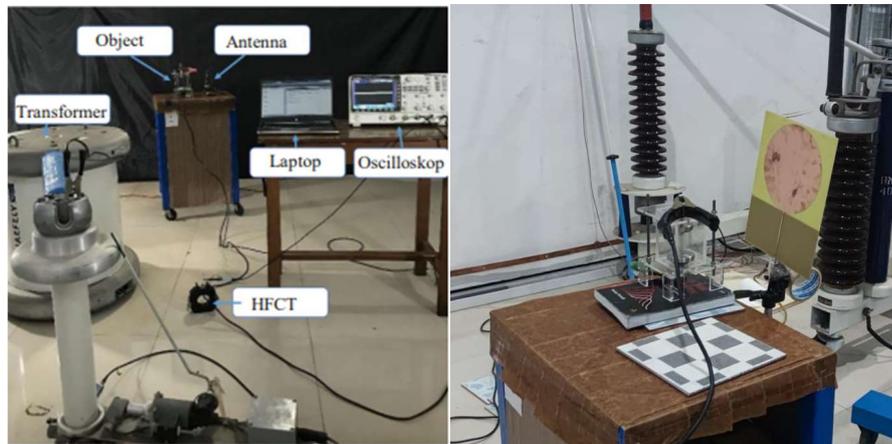
3.1 Peralatan Pengujian

Peralatan yang dibutuhkan dalam melaksanakan pengujian deteksi fenomena *partial discharge* pada isolasi minyak dan udara terdiri beberapa peralatan uji berupa perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Pada tugas akhir ini, pengujian dan pengambilan data menggunakan perangkat keras. Sedangkan, pengolahan hasil data yang didapatkan diolah menggunakan perangkat lunak.

Peralatan uji yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini adalah pembangkitan tegangan tinggi AC, elektroda *needle to plane* berbahan stainless steel, isolasi minyak, *loop antenna*, HFCT, osiloskop, dan *microstrip antenna*. Sebaliknya, perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data adalah Ms. Excel dan Matlab. Alur pengujian tugas akhir ini dimulai dengan pembangkitan tegangan tinggi AC yang dihubungkan dengan elektroda *needle to plane* yang telah direndam untuk isolasi minyak sedangkan, untuk isolasi udara menggunakan elektroda *needle to plane* yang kering.. Fenomena *partial discharge* akan diamati menggunakan *loop antenna/microstrip antenna* yang akan diletakkan dengan jarak tertentu. Selain itu, HFCT juga akan digunakan sebagai deteksi *partial discharge* dan validasi data *partial discharge*. Selanjutnya, *Loop antenna/microstrip antenna* dan HFCT akan dihubungkan dengan oscilloscope untuk mendapatkan nilai fasa yang sama. Data yang telah diperoleh akan disimpan di dalam flashdisk untuk pengolahan data. Skema pengujian untuk mendeteksi *partial discharge* pada isolasi minyak menggunakan loop antenna dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Visualisasi alat pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 1 Rangkaian Pengujian

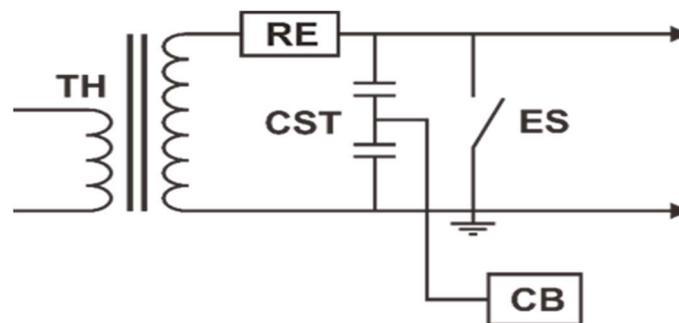


Gambar 3. 2 Visualisasi Alat Pengujian (Fauziah, 2021)

3.1.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Tegangan tinggi AC diperoleh melalui pembangkitan tegangan tinggi transformator uji yang dilaksanakan di laboratorium tegangan tinggi Teknik elektro ITS. Pembangkit tegangan tinggi AC terdiri dari *High Voltage Transformator (TH)* 80kV, *Capacitive Voltage Transformator (CVT)*, dan *Control Box* yang memiliki perbandingan tegangan sebesar 220V/80k. Gambar 3.3 di bawah merupakan skema rangkaian pembangkit tegangan tinggi AC.

Komponen pada pembangkit tegangan tinggi AC terdiri dari *High Voltage Transformer* yang berfungsi untuk menaikkan tegangan. Selain itu, terdapat kapasitor pembagi tegangan yang berfungsi untuk mencuplik tegangan yang terbangkitkan sehingga lebih mudah untuk diukur, dan terdapat CB (*Control Box*) yang berfungsi sebagai pengatur tegangan selama pengujian. Berikut ini merupakan spesifikasi dari modul pembangkitan tegangan tinggi AC yang disajikan pada Tabel 3.1.



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>	<i>2×220/100'000/220 V</i>
<i>Rated Current</i>	<i>2×220/0,09/23 A</i>
<i>Rated Power</i>	<i>9 kVA continuous</i>
<i>Rated Power</i>	<i>10kVA 1h ON 23h OFF</i>
<i>Frequency</i>	<i>50/60 Hz</i>
<i>Short Circui Impedance</i>	<i>Approx, 5% at 9kVA, 50Hz</i>

3.1.2 Media Isolasi

Pada pengujian tugas akhir ini, isolasi yang digunakan adalah media isolasi udara dan isolasi minyak. Pada isolasi udara, menggunakan udara bebas pada kondisi kelembapan ruang, Pada isolasi minyak, isolasi yang digunakan adalah minyak shell diala b dengan kondisi minyak yang baru. Penggunaan minyak shell diala b dikarenakan minyak tersebut adalah minyak yang sering digunakan untuk bahan isolasi pada transformator. Sifat dielektrik yang baik dan kemampuan untuk transfer panas yang efisien menjadi salah satu pertimbangan dalam pemilihan minyak isolasi. Spesifikasi dari kemampuan minyak isolasi Shell Diala B dapat dilihat pada tabel di bawah. Komposisi minyak yang akan digunakan adalah dua liter dan dituang ke dalam wadah berbentuk kubus yang terbuat dari bahan akrilik setebal 3mm dengan dimensi 14x14x15 cm. Dokumentasi, penggunaan Minyak Shell Diala B dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Minyak Shell Dialla B

Tabel 3.2 Spesifikasi Minyak Shell Dialla B

Properties	ASTM Method	Spesification	Typical Values
Appearance	-	Clear Sediment Free ParticularFree	Clear Sediment Free ParticularFree
Density, kg/dm ³ @20°C	ISO 3675	0,895 max	0,866
PMCC Flash Point, °C	ISO 2719	143 min	146
Interfacial Tension, dynes/cm @25°C	ISO 6295	40 min ²	45
Pour Point, °C	ISO 3016	-30 max	-34
Neutralization Value, mgKOH/g	IEC 296	0,03 max	IEC 296A
Kinematic Viscosity: @ 40°C, cSt @20°C, cSt	ISO 3104	16,5 max 40 max	9,102 21
Corrosive Sulfur	ISO 5662	Non-corrosive	Non-corrosive
Water Content, mg/kg	IEC 733	30 max bulk ³ 40 max bulk ³	25 16
Anti-oxidant Content	IEC 666	ND ⁴	ND ⁴
<i>Breakdown Voltage</i> As Delivered After Treatment	IEC 156	30 min 50 min	IEC 74 52 60
Dissipation Factor, 40-62 Hz	IEC 247	0,0030 max	0,0016

3.1.3 Elektroda Uji

Elektroda uji yang digunakan dalam pengujian adalah elektroda dengan model *needle to plane* (jarum ke datar) dengan diameter jarum sebesar 1mm. Bahan dari elektroda adalah *stainless steel*. Dalam pengujian elektroda jarum dihubungkan dengan sumber positif dan elektroda datar dihubungkan pada sumber negatif. Jarak antara elektroda jarum dan datar untuk pengujian adalah 1 cm, 1,5 cm, dan 2cm. Hal ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh jarak elektroda terhadap fenomena *partial discharge* pada isolasi minyak. Gambar 3.5 adalah gambar elektroda yang digunakan dalam pengujian ini.

Penggunaan elektroda uji memiliki tujuan untuk membandingkan pengaruh jarak elektroda terhadap deteksi fenomena *partial discharge* pada isolasi minyak dan isolasi udara. Elektroda yang digunakan pada pengujian adalah elektroda dengan model jarum ke datar atau *point to plane*. Diameter yang digunakan pada elektroda uji adalah 1mm dan bahan dari elektroda uji adalah *stainless steel*. Proses pengujian menggunakan elektroda uji ini dengan menghubungkan elektroda datar yang dihubungkan pada sumber negatif, Variabel jarak yang digunakan pada pengujian adalah 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm. Tujuan menggunakan tiga variable jarak adalah untuk membandingkan pengaruh jarak elektroda terhadap fenomena *partial discharge*. Gambar 3.5 adalah gambar elektroda yang digunakan pada pengujian.



Gambar 3. 5 Elektroda Uji

3.1.4 HFCT

High Frecquency Current Transformer (HFCT) merupakan instrumen peralatan yang digunakan untuk pengukuran dalam sistem tenaga listrik. HFCT memiliki fungsi untuk mengubah arus AC menjadi tegangan AC dalam karakteristik yang sama. Peralatan ini, menggunakan metode non konvensional menggunakan sensor untuk mendeteksi *partial discharge* pada kabel (Junaidi, Imbarothurmowaviq, & Putri, 2021). HFCT pada pengujian ini bertujuan untuk mendeteksi *partial discharge*. Proses deteksi *partial discharge* dilakukan dengan menurunkan arus pada kabel yang diukur agar sesuai dengan rating alat ukur. Hal ini dikarenakan arus sekunder akan menghasilkan karakteristik yang sama dengan arus primer dan *partial discharge* yang terjadi pada arus primer dapat dideteksi oleh alat ukur. Selain itu, HFCT pada pengujian ini memiliki tujuan untuk memvalidasikan gelombang yang dideteksi oleh antenna. Proses validasi dilakukan dengan memastikan sinyal *partial discharge* yang dideteksi oleh antenna dan HFCT memiliki sudut fasa yang sama. Pada pengujian tugas akhir ini, HFCT yang digunakan adalah iHFCT-54. Gambar 3. 6 menunjukkam desain HFCT dan spesifikasi HFCT dapat dilihat pada tabel 3.3.



Gambar 3. 6 Desain iHFCT-54

Tabel 3.3 Spesifikasi iHFCT-54

Type	iHFCT-54
Application	Indoor or Outdoor
Bandwith	0,3 – 150 Mhz
Sensitivity	$I_{pp} 1 \text{ mA (P – P), } V_{out} \geq 16 \text{ mV (P – P)}$
Load Impedance	50 Ω
Operating Temperature	-45 ~ +80 C
Storage Temperature	-55 ~ +90 C
Signal Termination	BNCloop or N-50
Protection Class	Up to IP68
Internal Diameter	$\Phi 54$
Weight	0,855 kg
Dimensions	128,4 mm x 110 mm x 30 mm

3.1.5 Osiloskop

Pada pengujian tugas akhir ini, osiloskop digital model GW Instek tipe gds-3245 yang ditunjukkan oleh gambar 3.7. digunakan untuk menunjukkan atau menampilkan grafik dan pengambilan data melalui *flashdisk*. Osiloskop adalah alat ukur yang digunakan untuk menampilkan sinyal listrik dan frekuensi menjadi bentuk gelombang. Hal ini bertujuan untuk mempermudah dalam menganalisa sinyal gelombang. Osiloskop memiliki keunggulan dengan menyediakan pemrosesan sinyal digital yang baik dan fungsi analisis sinyal gelombang (Qinchuan, Wuhuang, & Hao, 2017). Pada pengujian, osiloskop disambungkan dengan *loop antenna*, HFCT, dan pembangkit tegangan AC. Hal ini bertujuan untuk menangkap aktivitas sinyal gelombang *partial discharge*. Hasil aktivitas gelombang *partial discharge* akan tersimpan dalam *flashdisk* dalam bentuk format sev.



Gambar 3. 7 Osiloskop

3.2 Rancangan Loop Antenna

Loop Antenna memiliki fungsi untuk menerima gelombang elektromagnetik. Saat medan magnet melewati kumparan maka akan menginduksi tegangan di sekitar terminal kumparan. Oleh karena itu, *loop antenna* dirancang untuk memaksimalkan tegangan yang diinduksi pada rentang frekuensi resonansi tertentu. Fenomena *partial discharge* terjadi pada rentang frekuensi 50-800 MHz (Mohamed, et al., 2016). Pada pengujian tugas akhir ini, *loop antenna* didesain pada frekuensi 200 Mhz. *Loop antenna* pada tugas akhir ini terbuat dari tembaga dengan diameter 1 mm. Hubungan Panjang gelombang, frekuensi, dan kecepatan koefisien cahaya dapat dilihat pada persamaan 3.1 di bawah:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (3.1)$$

Berdasarkan persamaan 3.1, dan panjang gelombang sinyal 200 MHz diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\lambda_{200} = \frac{c}{f_{200}} = \frac{3 \times 10^8}{200 \times 10^6} = 1,5 \text{ m} = 150 \text{ cm} \quad (3.2)$$

Loop antenna memiliki keliling kurang dari sepersepuluh dari panjang gelombang. Oleh karena itu, didapatkan distribusi arus yang relatif konstan di sepanjang konduktor. Menggunakan persamaan di bawah, didapatkan panjang kawat *loop antenna* adalah:

$$l = 0,1 \times \lambda_{200} = 0,15 \text{ m} = 15 \text{ cm} \quad (3.3)$$

Sehingga, diameter *loop antenna* yaitu:

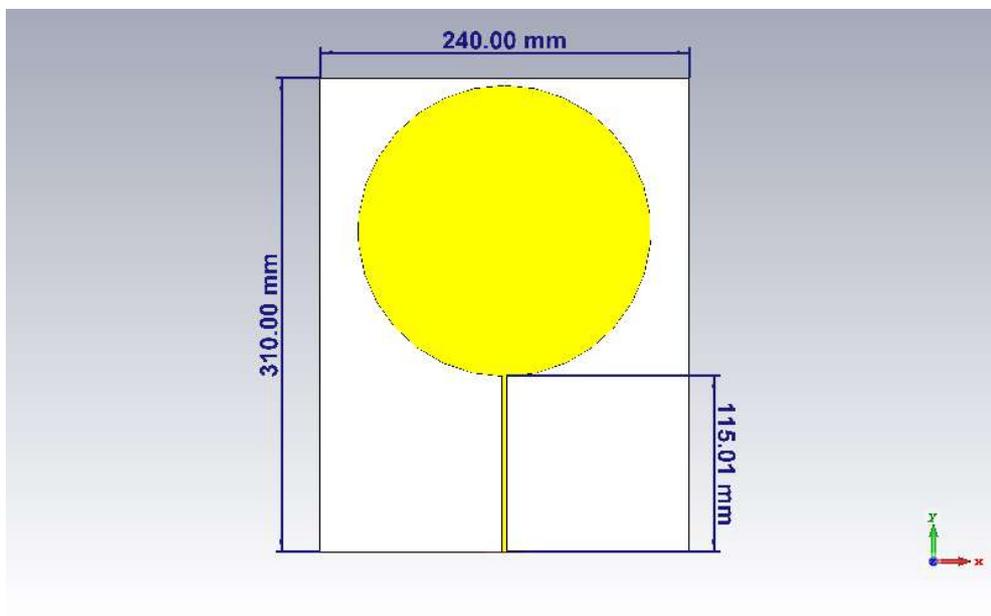
$$d_{200} = \frac{l_{200}}{\pi} = \frac{15 \text{ cm}}{3,14} = 4,77 \text{ cm} \quad (3.4)$$



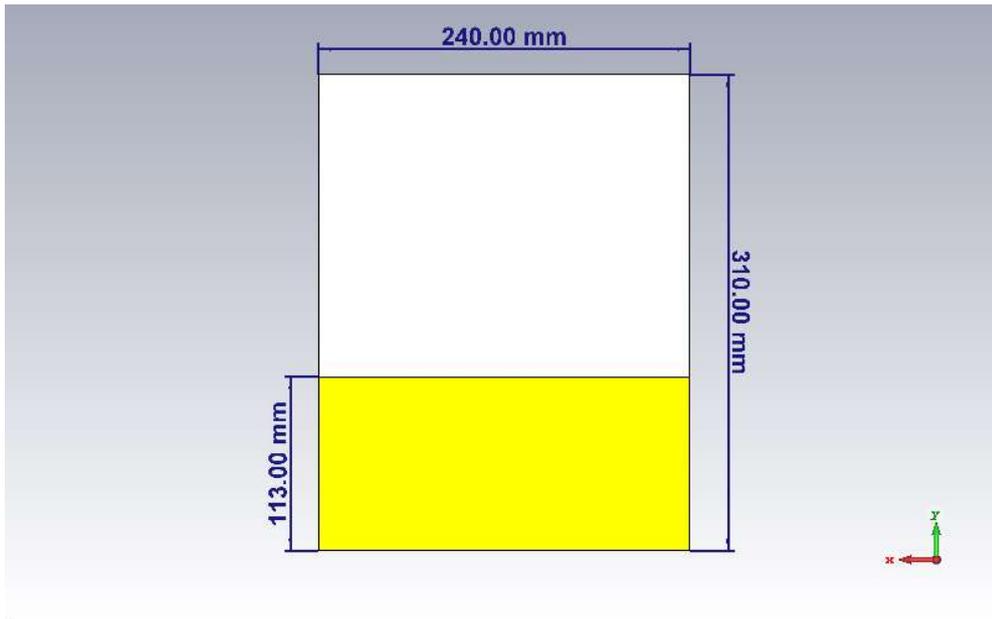
Gambar 3. 8 Desain *Loop Antenna* (Bestowan, 2019)

3.3 Rancangan Microstrip Antenna

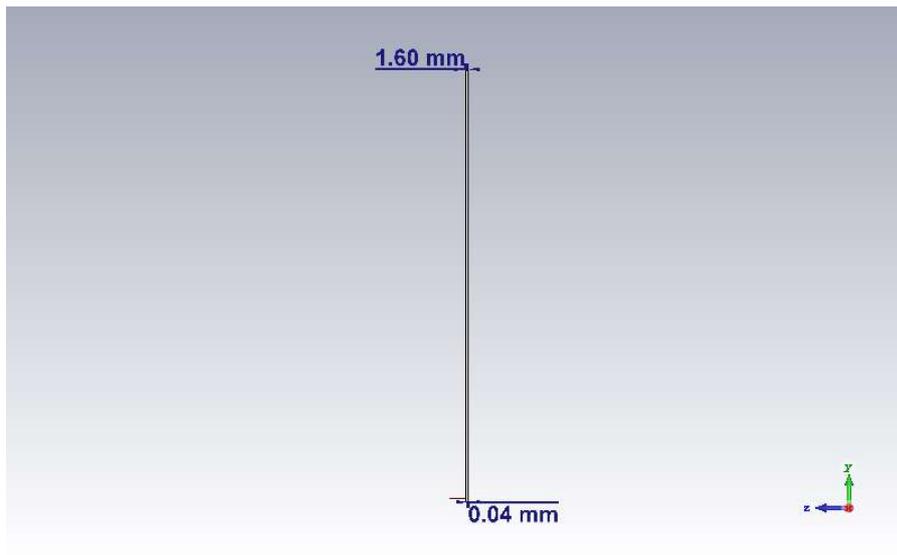
Antena adalah alat yang dapat mengkonversi besaran listrik menjadi gelombang elektromagnetik untuk diradiasikan ke udara melalui saluran transmisi. *Microstrip antenna* adalah bahan konduktor yang diletakkan di atas *ground plane*. Pada pengujian ini, Antena yang terpilih untuk difabrikasi merupakan antena *microstrip* dengan patch berbentuk lingkaran dengan panjang *ground plane* yang dikurangi. Antena memiliki ukuran 31 x 24 cm² atau 744 cm² dan memiliki ketebalan 1.68 mm yang terdiri dari *substrat*, *patch*, dan *ground*. Selain itu, antena memiliki jari-jari patch 95 mm. Gambar 3.9 sampai dengan 3.11 menunjukkan rancangan *microstrip antenna*, dan gambar 3.12 menunjukkan hasil fabrikasi antena.



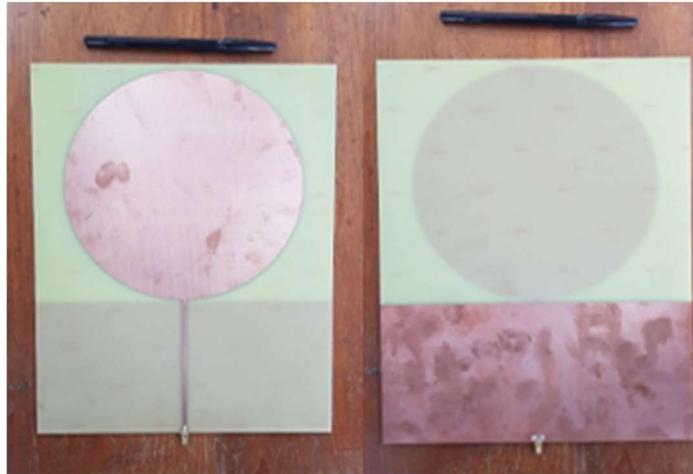
Gambar 3. 9 Tampak Depan *Microstrip Antenna*



Gambar 3. 10 Tampak Belakang *Microstrip Antenna*



Gambar 3. 11 Tampak Samping *Microstrip Antenna*



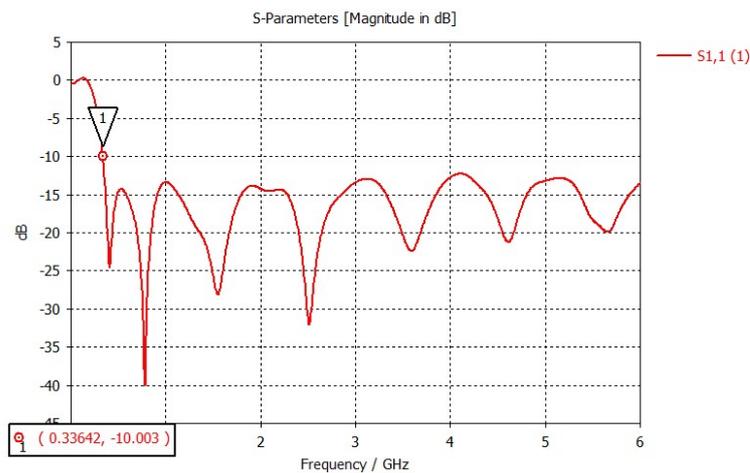
Gambar 3. 12 Hasil Fabrikasi Antenna

Tabel 3.4 Dimensi antenna *rectangular* teroptimasi frekuensi 0.3 GHz

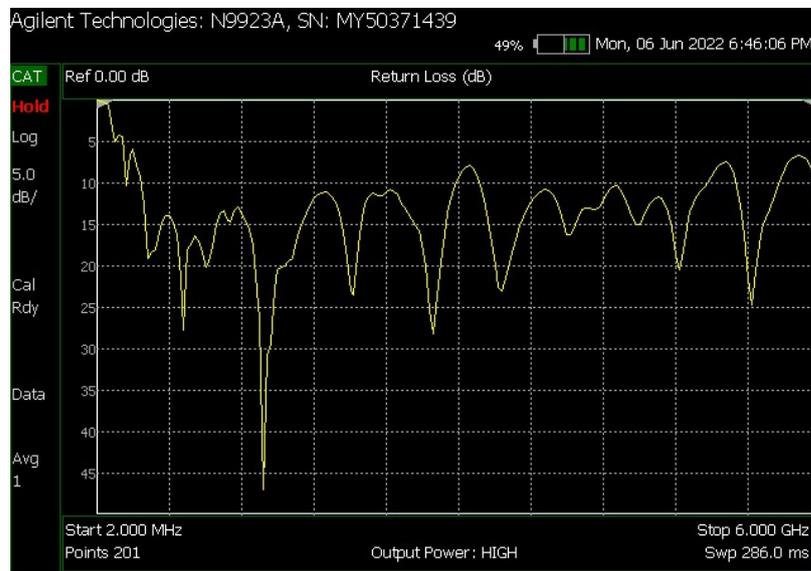
Parameter	Ukuran
Jari-jari Patch (mm)	95
Lebar Feed (mm)	3
Panjang Feed (mm)	115
Lebar Substrat (mm)	240
Panjang Substrat (mm)	310
Lebar Ground (mm)	240
Panjang Ground (mm)	113
Tebal Substrat (mm)	1.6
Tebal Patch/Ground (mm)	0.04

3.3.1 Return Loss

Sebelum menguji *partial discharge* menggunakan antenna *microstrip*, performa antenna *microstrip* diuji terlebih dahulu. Ukuran *return loss* yang baik adalah di bawah -10 dB. Salah satu performa antenna yang diuji adalah *return loss*. Antena ini memiliki beberapa band diantaranya pada 0.4, 0.7, 1.5, 2.5, 3.6, 4.6 dan 5.6 GHz dengan besar *return loss* berbeda-beda. *Return loss* yang dihasilkan menunjukkan *bandwidth* 0.331 GHz hingga 3.06 GHz dengan *return loss* kurang dari -10 dB. Gambar di bawah, merupakan hasil pengujian *return loss* antenna *microstrip* menggunakan VNA dan setelah pengolahan. Gambar 3. 13 dan gambar 3. 14 menunjukkan hasil *return loss*.



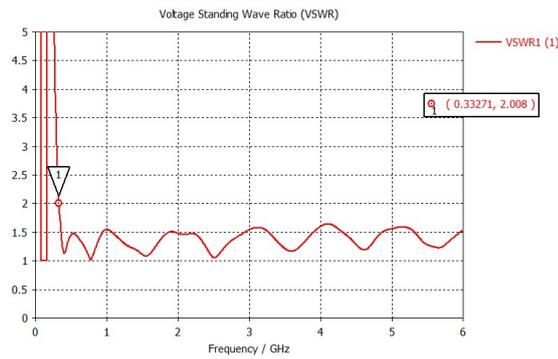
Gambar 3. 13 Hasil *Return Loss*



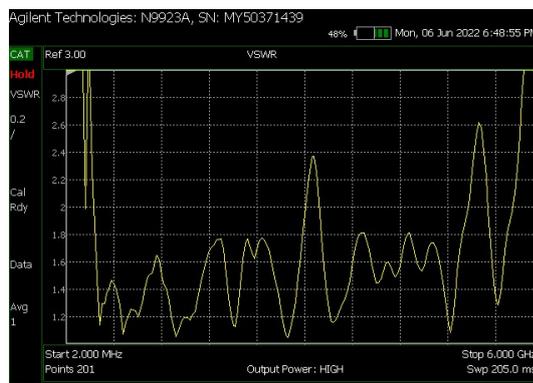
Gambar 3. 14 Pengambilan *Return Loss* Menggunakan VNA

3.3.2 Voltage Standing Wave Ratio(VSWR)

Uji performa antenna yang lain adalah VSWR. Nilai yang diharapkan pada hasil VSWR adalah 1 namun nilai toleransinya adalah 2 di mana dimana nilai 1 adalah kondisi yang paling baik untuk antenna. Untuk VSWR dikarenakan berhubungan langsung dengan *return loss* maka hasil dari pengujian tidak jauh berbeda dengan *return loss*. Akan tetapi, untuk mendapatkan nilai VSWR = 1 sangat sulit. Oleh karena itu, nilai yang ideal bagi VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) adalah ≤ 2 dan jika nilai VSWR besar maka daya yang dipantulkan oleh antenna ke saluran transmisi akan besar juga. VSWR berada pada frekuensi 0.33 GHz.VSWR yang dihasilkan menunjukkan bandwidth dari 0.361 GHz hingga 3.03 GHz dengan VSWR kurang dari 2. Gambar 3. 15 dan gambar 3.16 menunjukkan hasil VSWR.



Gambar 3. 15 Hasil VSWR



Gambar 3. 16 Pengambilan Data VSWR Menggunakan VNA

3.3.3 Peletakan Jarak Antena

Medan ruang radiasi pada antena dibagi menjadi tiga daerah yaitu *reactive near-field*, *radiating near-field* (fresnel), dan *far-field* (fraunhofer). Penjelasan terkait dengan ruang radiasi akan dijelaskan di bawah ini:

a. *Reactive near-field*

Merupakan daerah near-field yang langsung dikelilingi oleh antena itu sendiri di mana medan reaktif berada. Untuk antena dipole pendek atau antena dengan ukuran ekivalennya batas daerahnya dapat diperkirakan sekitar $\lambda/2\pi$ dari permukaan antena dan batas daerah ini pada umumnya biasa didefinisikan dengan rumus berikut

$$R < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \tag{3.5}$$

b. *Radiating near-field* (Fresnel)

Merupakan daerah diantara daerah *reactive near-field* dan far-field di mana medan radiasi mendominasi sebelumnya dan adanya distribusi medan yang tergantung jarak dari antena. Jika antena memiliki dimensi maksimum yang tidak lebih besar dari panjang gelombangnya, daerah ini dapat tidak ada. Untuk antena

fokus terhadap tak hingga atau jarak jauh, *radiating near-field* biasa disebut dengan daerah fresnel. Batasan dari fresnel didefinisikan dengan persamaan di bawah:

$$0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R < \frac{2D^2}{\lambda} f = \frac{c}{\lambda} \quad (3.6)$$

c. *Far-field* (Fraunhofer)

Merupakan daerah medan antenna di mana distribusi sudut medan yang menentukan jaraknya dari antenna. Pada daerah ini biasanya tempat dilakukannya pengukuran parameter seperti pola radiasi dan gain dikarenakan medan radiasi yang stabil. Batasan dari far-field didefinisikan dengan

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3.7)$$

Berdasarkan teori medan, terdapat tiga daerah medan radiasi antenna. Berikut perhitungan medan radiasi antenna berdasarkan persamaan 3.5, 3.6 dan 3.7.

$$D = 0.31 \text{ m} \quad (3.8)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3e8}{3e8} = 1 \text{ m} \quad (3.9)$$

$$R_1 = 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} = 0.62 \sqrt{\frac{0.31^3}{1}} = 0.107 \text{ m} = 10,7 \text{ cm} \quad (3.10)$$

$$R_2 = \frac{2D^2}{\lambda} = 2 \times \frac{0.31^2}{1} = 0.192 \text{ m} = 19.2 \text{ cm} \quad (3.11)$$

Melalui hasil persamaan 3.8 dan 3.9 didapatkan batas bawah dan batas atas dari daerah fresnel atau *radiating near-field*. Antena diposisikan pada jarak 20 cm dari elektroda uji yaitu pada daerah *farfield* dikarenakan medannya yang lebih stabil.

3.4 Pengambilan Data dan Akuisisi Data

3.4.1 Mekanisme Pengambilan Data

Proses Pemilihan elektroda bertujuan untuk memperlihatkan pengaruh jarak elektroda terhadap aktivitas partial discharge. Pengujian tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro ITS. Proses pengujian tugas akhir dimulai dengan merangkai pembangkit tegangan tinggi AC dan dihubungkan dengan elektroda *needle to plane*. Pada pengujian isolasi minyak, elektroda direndam terlebih dahulu ke dalam minyak isolasi (shell diala b). Selanjutnya, HFCT, *loop antenna*, *microstrip antenna* pada isolasi udara, dan sumber tegangan dihubungkan dengan osiloskop dengan nilai *attenuation probe* 10x. Pada pengujian ini, variasi jarak elektroda yaitu, 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm. Pengambilan data pada pengujian akhir ini dilakukan pada tiga tahap yaitu, pada saat kondisi normal, *pre-breakdown*, dan 1 detik sebelum *breakdown*. Pada saat pengujian kondisi normal adalah proses saat pembangkitan tegangan tinggi AC dihidupkan dan belum terjadinya fenomena *partial discharge*. Selanjutnya, kondisi *pre breakdown* adalah kondisi awal terjadinya

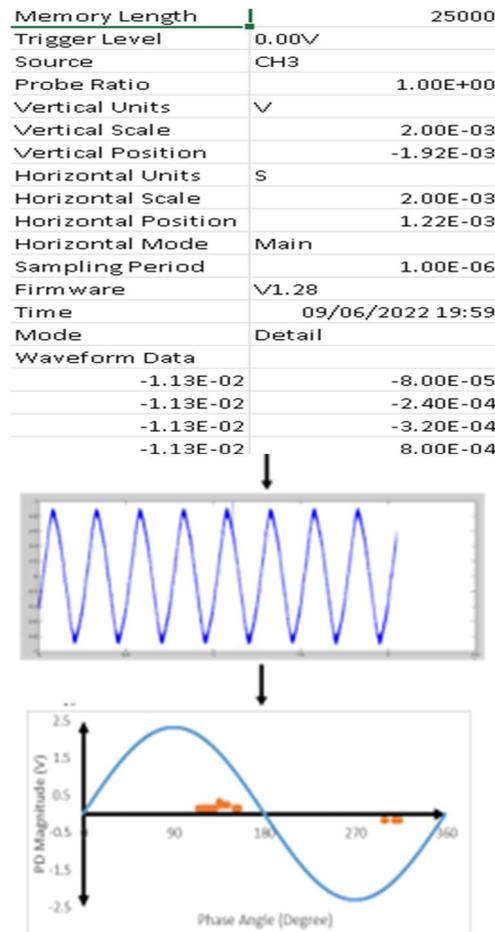
fenomena *partial discharge* dengan mulai terdengarnya bunyi desis dari kedua elektroda. Saat kondisi 1 detik sebelum *breakdown* adalah kondisi saat suara desis semakin keras dan timbulnya gelembung dan cahaya di sekitar elektroda pada isolasi minyak, sedangkan pada isolasi udara hanya terdengar suara desis dan cahaya di sekitar elektroda. Kondisi tersebut menjadi salah satu acuan yang menandakan bahwa media isolasi sudah tidak mampu untuk menahan tegangan dan akan segera *breakdown*. Setelah itu, langkah berikutnya adalah memberikan tegangan input AC secara perlahan dengan kenaikan tegangan setiap 2 kV. Secara umum langkah-langkah pengujian dapat dilihat pada *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 3. 17 di bawah.



Gambar 3. 17 Flowchart Pengujian

3.4.2 Akuisi Data

Proses akuisisi data merupakan serangkaian pemrosesan data dari data mentah yang telah disimpan osiloskop menjadi sebuah data yang bisa ditampilkan dalam bentuk gelombang. Proses akuisisi data menggunakan software Ms. Excel dan Matlab 2021a. Data yang diambil adalah gelombang yang direkam oleh osiloskop yang terhubung dengan loop antenna, HFCT dan sumber tegangan. Hasil data yang didapatkan pada osiloskop akan disimpan dalam format .csv dengan penamaan CSV yang merupakan penamaan default dari osiloskop. Format file .csv berisikan data dari sumber tegangan, HFCT, dan loop antenna dengan deretan angka sebanyak 2500 data. Langkah selanjutnya adalah menggabungkan file CSV dan diolah menggunakan matlab. Setelah data dipilih maka data akan ditampilkan pada *workspace software* Matlab 2021a. Selanjutnya data yang telah di import dijadikan kedalam bentuk gelombang sehingga data bisa dianalisa lebih lanjut, proses akuisisi data ditunjukkan oleh gambar 3.18 di bawah.

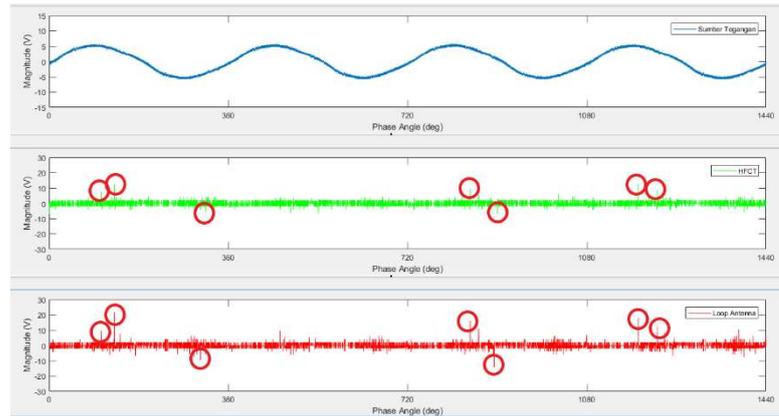


Gambar 3. 18 Proses Pengolahan Data

3.4.3 Verifikasi Gelombang Partial Discharge

Berdasarkan standard IEC 60270 metode yang digunakan untuk melakukan deteksi partial discharge salah satunya adalah dengan menggunakan HFCT sebagai validasi data. Pada pengujian kali ini akan dilakukan perbandingan bentuk gelombang antara sumber tegangan, HFCT, dan *loop antenna* untuk mengetahui fenomena *partial discharge*. Bentuk gelombang

dari sumber tegangan akan dijadikan sebagai acuan bahwa pada gelombang tersebut tidak ada *partial discharge* yang terjadi. Gelombang yang ditangkap oleh HFCT akan dijadikan sebagai acuan bahwa pada gelombang tersebut terjadi fenomena *partial discharge*. Bentuk gelombang dari *loop antenna* akan dibandingkan dengan gelombang sumber tegangan dan HFCT. Berdasarkan bentuk gelombang yang ditampilkan pada gambar 3.19 *noise* yang dihasilkan oleh sumber tegangan terletak pada sudut fasa yang berbeda dengan *noise* yang ada pada HFCT. Noise yang terlihat pada gelombang yang dihasilkan HFCT dan *loop antenna* terlihat pada sudut fasa yang sama. Hal ini bisa disimpulkan bahwa noise yang tertangkap oleh *loop antenna* adalah benar benar fenomena *partial discharge*.



Gambar 3. 19 Validasi Data

3.4.4 Pengolahan Data dalam Bentuk PRPD

Analisa PRPD (*Phase Resolved Partial discharge*) ini digunakan dalam menghitung jumlah peluahan yang terjadi selama periode waktu tertentu. Analisa ini dilakukan dengan cara merepresentasikan bentuk pulsa gelombang (*noise*) menjadi bentuk titik sehingga memudahkan dalam menganalisa. Pengolahan data kedalam gelombang model PRPD dilakukan secara manual dengan menentukan nilai amplitudo dari *partial discharge* menggunakan *software Ms. Excel* dan *Matlab 2021a*.

Pulsa pulsa PD pada hasil pengujian direpresentasikan dengan pola ϕ -q-n. Simbol ϕ adalah sudut fasa dimana PD terjadi, q adalah muatan PD, dan n adalah jumlah pulsa PD. Sumbu x menyatakan sudut phasa dan sumbu y menyatakan magnitudo PD. Cara pengolahan gelombang sinyal yang ditangkap oleh *loop antenna* maupun HFCT adalah dengan menganalisa hasil amplitudo dari *noise* gelombang. Jika terjadi kenaikan *noise* secara signifikan, maka *noise* tersebut bisa dikatakan merupakan fenomena *partial discharge*. Nilai PRPD yang sudah ditentukan akan kembali di plot pada *software Ms. Excel* sehingga dapat menampilkan grafik sinus dengan titik PRPD.

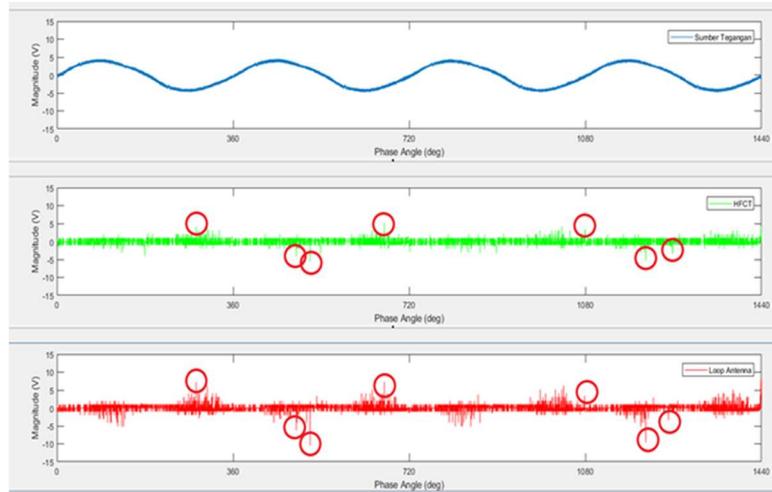
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai analisis studi komparasi deteksi *partial discharge* pada isolasi udara dan isolasi cair dengan *loop antenna*. Pengujian dilakukan saat kondisi *pre-breakdown* sebelum *breakdown* dengan mendengarkan suara desis dari elektroda uji. Pada pengujian ini, dilakukan percobaan menggunakan deteksi *loop antenna* dan menggunakan HFCT sebagai validasi data deteksi *partial discharge*. Pada percobaan ini, pengujian dilakukan disaat yang bersamaan untuk memperoleh data tervalidasi secara maksimal.

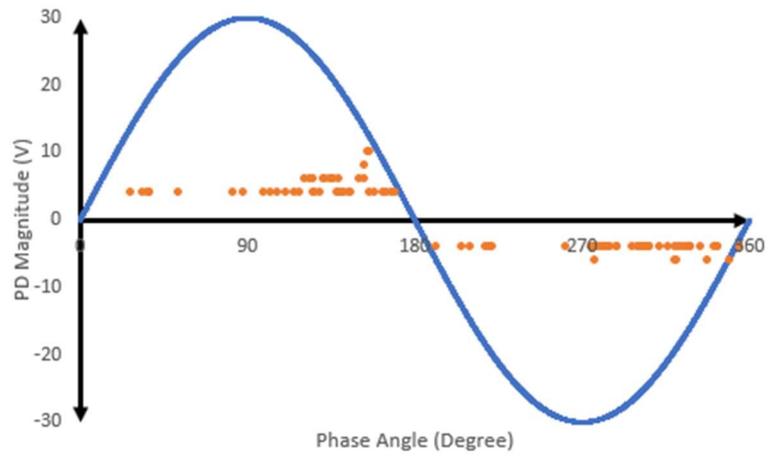
4.1 Perbandingan Bentuk Gelombang Antena dan HFCT Validasi Data Fenomena Partial discharge.

Pada pengujian ini, dilakukan validasi data deteksi *partial discharge* menggunakan HFCT sebagai salah satu peralatan untuk deteksi *partial discharge* berdasarkan standar IEC 60270. Pada tugas akhir ini, dilakukan pengujian sebagai perbandingan bentuk gelombang antara sumber tegangan, HFCT, dan *loop antenna*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui fenomena *partial discharge*. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak elektroda 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm dengan masing masing tegangan input yaitu 20kV, 24kV, dan 28kV untuk isolasi minyak dan 7 kV, 10 kV, dan 13 kV untuk isolasi udara.

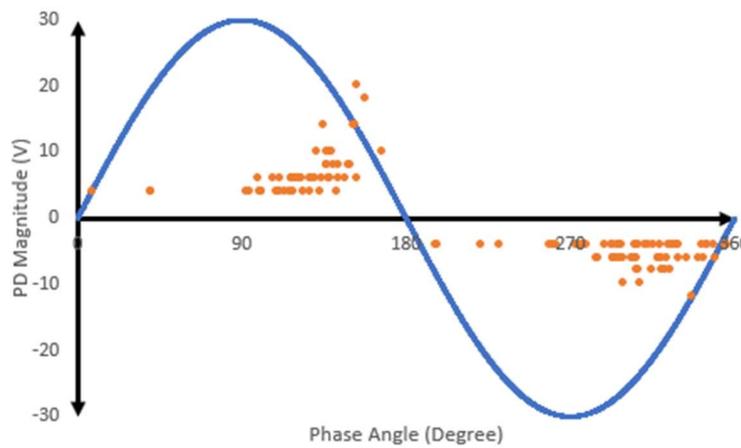
Sumber tegangan dijadikan sebagai parameter bahwa tidak terjadi fenomena *partial discharge* melalui pengamatan gelombang. Selain itu, HFCT juga akan dijadikan parameter fenomena *partial discharge* melalui gelombang yang ditangkap oleh HFCT. Oleh karena itu, sinyal gelombang yang ditangkap oleh *loop antenna* akan divalidasi dan dibandingkan dengan gelombang sumber tegangan dan HFCT untuk mengetahui apakah *loop antenna* dapat menangkap fenomena *partial discharge*. Pada pengujian pertama, pengujian dilakukan dengan jarak elektroda *needle to plate* 1 cm dan tegangan yang dimasukkan sebesar 20kV. Hasil yang didapatkan pada pengujian pertama untuk sumber tegangan adalah tidak terlihat adanya *noise*. Oleh karena itu, pada pengujian pertama ini, gelombang yang ditangkap oleh HFCT dan *loop antenna* mempunyai bentuk gelombang yang didapatkan hasil bahwa bentuk gelombang yang ditangkap HFCT dan *loop antenna* memiliki pola yang identik dengan posisi *noise* yang terletak pada sudut fasa yang sama yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Selain itu, didapatkan sudut fasa yang sama antara HFCT dan *loop antenna* menggunakan *plot* titik PRPD. Persentase Jumlah PRPD pada rentang siklus fasa $87,14^{\circ} - 180^{\circ}$ pada HFCT dan *loop antenna* memiliki persebaran titik yang identik yang ditunjukkan oleh gambar 4.2, gambar 4.3, dan tabel 4.1. Pada HFCT di dapatkan 40, 86% jumlah titik PRPD dan 40,3% pada *loop antenna* dengan rentang siklus fasa $87,14^{\circ} - 180^{\circ}$. Selain itu, pada rentang fasa tersebut didapatkan magnitudo tertinggi sebesar 10,46 V, sedangkan pada *loop antenna* didapatkan magnitudo tertinggi sebesar 20 V.



Gambar 4. 1 Bentuk Gelombang, Sumber Tegangan, HFCT, dan Loop Antenna Jarak Elektroda 1 cm Pada Isolasi Minyak



Gambar 4. 2 Hasil PRPD HFCT Isolasi Minyak 1 cm



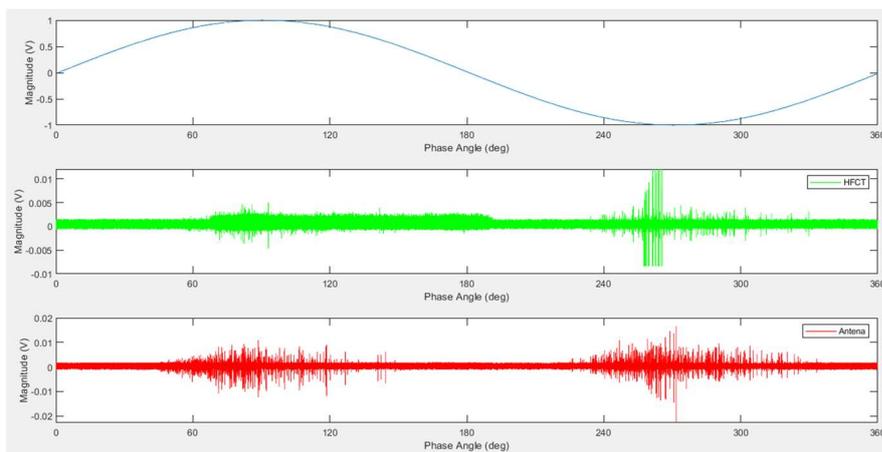
Gambar 4. 3 Hasil PRPD Loop Antenna Isolasi Minyak 1 cm

Tabel 4.1 Parameter Hasil Pengujian Validasi HFCT dan Antena pada Isolasi Minyak menggunakan *loop antenna* jarak 1 cm

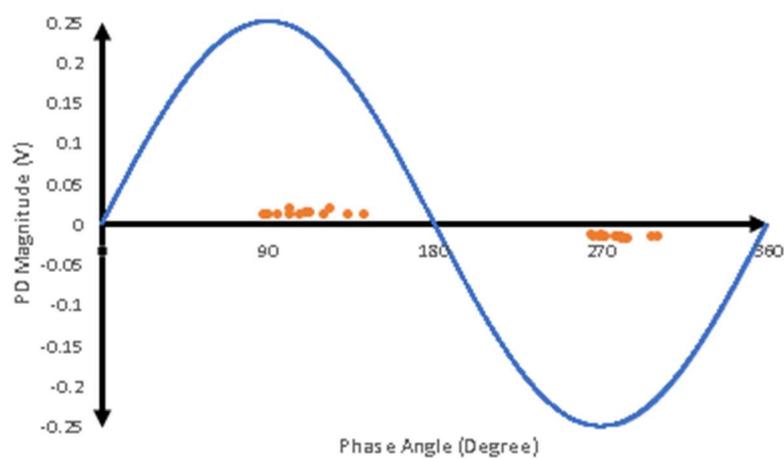
Parameter	HFCT	Antena
Persentase Jumlah PRPD 87,14° – 180°	40, 86%	40, 3%
Persentase Jumlah PRPD 180,01° - 270°	6, 45%	8,7 %
Persentase Jumlah PRPD 270,01° -360°	43,01%	45,5%
Rata-Rata Magnitudo titik PRPD	5,4 V	8,9 V
Magnitudo Maksimal PRPD 87,14° – 180°	10,46 V	20
Magnitudo Minimal PRPD 87,14° – 180°	4 V	5 V
Rata Rata Magnitudo 87,14° – 180°	5,4 V	9,8 V
Magnitudo Maksimal PRPD 180,01° – 270°	-2 V	-3 V
Magnitudo Minimal PRPD 180, 01° – 270°	-2 V	-3 V
Rata Rata PRPD 180,01° - 270°	-2 V	-3 V
Magnitudo Maksimal PRPD 270,01° – 360°	-2 V	-3 V
Magnitudo Minimal PRPD 270, 01° – 360°	-4 V	-12 V
Rata Rata PRPD 270, 01° - 360°	-2, 4 V	-6,6 V

Berdasarkan pengujian yang ditampilkan pada gambar 4.1, *noise* yang terlihat pada gelombang yang dihasilkan HFCT dan *loop antenna* terlihat pada sudut *fasa* yang sama. Dari percobaan yang dilakukan dengan cara memvariasikan jarak elektroda, hasil gelombang yang ditampilkan oleh HFCT dan *loop antenna* memiliki pola yang sama. Hal ini bisa disimpulkan bahwa *noise* yang tertangkap oleh *loop antenna* adalah benar benar fenomena *partial discharge*.

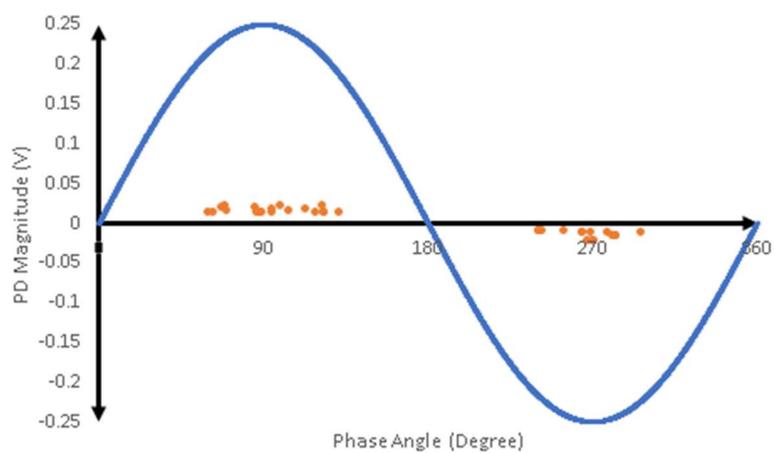
Pada pengujian kedua isolasi udara menggunakan *loop antenna*, pengujian dilakukan dengan jarak elektroda *needle to plate* 1 cm dan tegangan yang dimasukkan sebesar 7kV. Hasil yang didapatkan pada pengujian kedua untuk sumber tegangan adalah tidak terlihat adanya *noise*. Oleh karena itu, pada pengujian pertama ini, gelombang yang ditangkap oleh HFCT dan *loop antenna* mempunyai bentuk gelombang yang didapatkan hasil bahwa bentuk gelombang yang ditangkap HFCT dan *loop antenna* memiliki pola yang identik dengan posisi *noise* yang terletak pada sudut *fasa* yang sama yang ditunjukkan pada gambar 4.4. Dari percobaan dengan jarak elektroda 1 cm pada isolasi udara yang dilakukan dengan cara memvariasikan jarak elektroda, hasil gelombang yang ditampilkan oleh HFCT dan *loop antenna* memiliki pola yang sama. Hal ini bisa disimpulkan bahwa *noise* yang tertangkap oleh *loop antenna* adalah benar benar fenomena *partial discharge*. Selain itu, didapatkan sudut *fasa* yang sama antara HFCT dan *loop antenna* menggunakan *plot* titik PRPD. Persentase Jumlah PRPD pada rentang siklus *fasa* 60,14° – 144,21° pada HFCT dan *loop antenna* memiliki persebaran titik yang identik yang ditunjukkan oleh gambar 4.5, gambar 4.6, dan tabel 4.2. Pada HFCT didapatkan 40,7 % dan 43,75% pada *loop antenna*. Selain itu, pada rentang *fasa* tersebut didapatkan magnitudo tertinggi sebesar 0,00504 V, sedangkan pada *loop antenna* didapatkan magnitudo tertinggi sebesar 0,0108V.



Gambar 4. 4 Bentuk Gelombang HFCT, dan Loop Antenna Jarak Elektroda 1 cm Pada Isolasi Udara



Gambar 4. 5 Hasil PRPD HFCT Isolasi Udara 1 cm

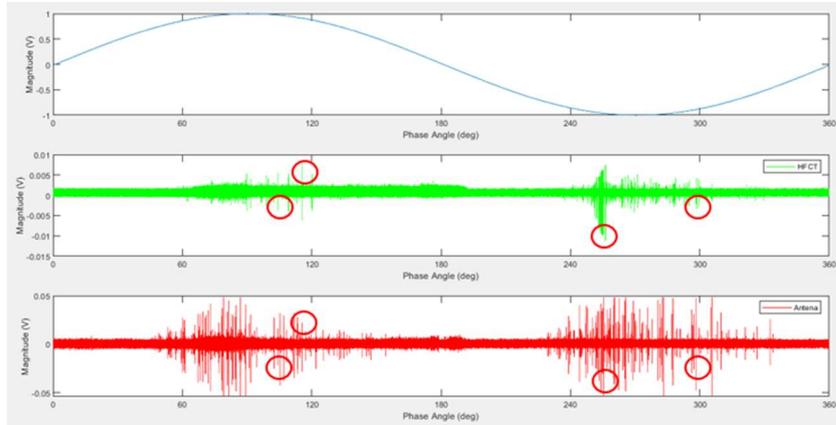


Gambar 4. 6 Hasil PRPD *loop antenna* Isolasi Udara 1 cm

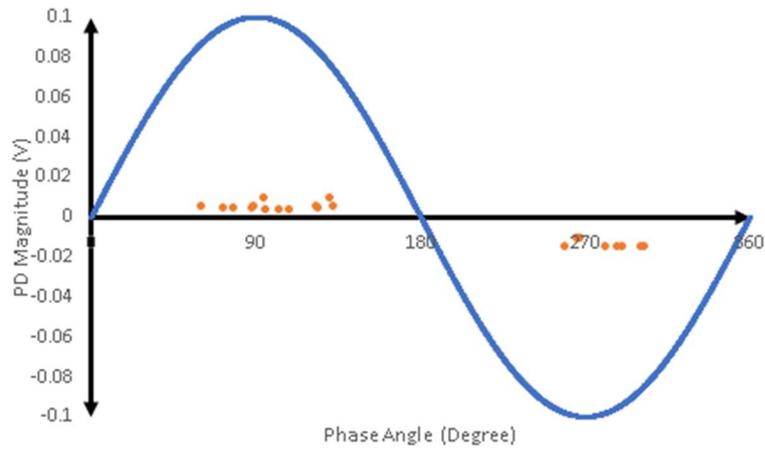
Tabel 4.2 Parameter Hasil Pengujian Validasi HFCT dan Antena pada Isolasi Udara menggunakan *loop antenna* jarak 1 cm

Parameter	HFCT	Antena
Persentase Jumlah PRPD 60,14° – 144, 21°	40,7 %	43,75%
Persentase Jumlah PRPD 240° - 300°	51,85%	50%
Rata-Rata Magnitudo titik PRPD	0,004 V	0,0064 V
Magnitudo Maksimal PRPD 60,14° – 144, 21°	0,00504 V	0,0108 V
Magnitudo Minimal PRPD 60,14° – 144, 21°	0,00312 V	0,0044 V
Rata Rata Magnitudo 60,14° – 144, 21°	0,0041 V	0,0081 V
Magnitudo Maksimal PRPD 240° - 300°	-0,00296 V	-0,0048 V
Magnitudo Minimal PRPD 240° - 300°	-0,0049 V	-0,0228 V
Rata Rata PRPD 240° - 300°	-0,00345 V	-0,0138 V

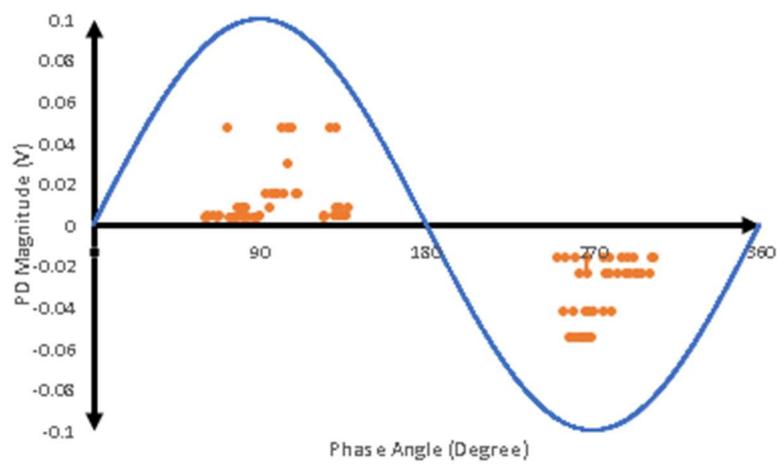
Pada pengujian ketiga menggunakan *loop antenna* pada isolasi udara, pengujian dilakukan dengan jarak elektroda *needle to plate* 1 cm dan tegangan yang dimasukkan sebesar 7kV. Hasil yang didapatkan pada pengujian kedua untuk sumber tegangan adalah tidak terlihat adanya *noise*. Oleh karena itu, pada pengujian pertama ini, gelombang yang ditangkap oleh HFCT dan *microstrip antenna* mempunyai bentuk gelombang yang didapatkan hasil bahwa bentuk gelombang yang ditangkap HFCT dan *loop antenna* memiliki pola yang identik dengan posisi *noise* yang terletak pada sudut fasa yang sama yang ditunjukkan pada gambar 4.7. Dari percobaan dengan jarak elektroda 1 cm pada isolasi udara yang dilakukan dengan cara memvariasikan jarak elektroda, hasil gelombang yang ditampilkan oleh HFCT dan *microstrip antenna* memiliki pola yang sama. Hal ini bisa disimpulkan bahwa *noise* yang tertangkap oleh *loop antenna* adalah benar benar fenomena *partial discharge*. Selain itu, didapatkan sudut fasa yang sama antara HFCT dan *microstrip antenna* menggunakan *plot* titik PRPD. Persentase Jumlah PRPD pada rentang siklus fasa 59,814° – 126, 018° pada HFCT dan *microstrip antenna* memiliki persebaran titik yang identik yang ditunjukkan oleh gambar 4.8, gambar 4.9, dan tabel 4.3. Pada HFCT didapatkan 37, 83% % dan 41,5% pada *loop antenna*. Selain itu, pada rentang fasa tersebut didapatkan magnitudo tertinggi sebesar 0,0086 V, sedangkan pada *microstrip antenna* didapatkan magnitudo tertinggi sebesar 0,048 V.



Gambar 4. 7 Bentuk Gelombang HFCT, dan Microstrip Antena Jarak Elektroda 1 cm Pada Isolasi Udara



Gambar 4. 8 Hasil PRPD *HFCT 1 cm*



Gambar 4. 9 Hasil PRPD *microstrip antenna 1 cm*

Tabel 4.3 Parameter Hasil Pengujian Validasi HFCT dan Antena pada *microstrip antenna 1 cm*

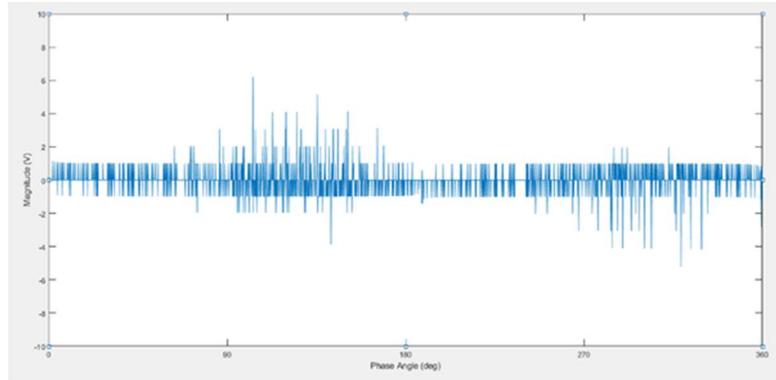
Parameter	HFCT	Antena
Persentase Jumlah PRPD 59,814° – 126, 018°	37, 83%	41, 5%
Persentase Jumlah PRPD 135° - 235°	13,53%	11, 2%
Persentase Jumlah PRPD 245° -307°	45,9%	47, 2%
Rata-Rata Magnitudo titik PRPD	0,0048 V	0,024 V
Magnitudo Maksimal PRPD 59,8° – 126,1°	0,0086 V	0,048 V
Magnitudo Minimal PRPD 59,8° – 126,1°	0,003 V	0,0156 V
Rata Rata Magnitudo 59,8° – 126, 1°	0,0042 V	0,0246 V
Magnitudo Maksimal PRPD 135, 5° – 180°	0,0034 V	0,0268 V
Magnitudo Minimal PRPD 135, 5° – 180°	0,003 V	0,0156 V
Rata Rata PRPD 135, 5° - 180°	0,0031 V	0,0212 V
Magnitudo Maksimal PRPD 245, 7° – 307,1°	-0,0032 V	-0,0152 V
Magnitudo Minimal PRPD 245, 7° – 307, 1°	-0,0112 V	-0,054 V
Rata Rata PRPD 245, 7- 307, 1	-0,0144 V	-0,034 V

4.2 Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Deteksi Partial discharge oleh Loop Antenna

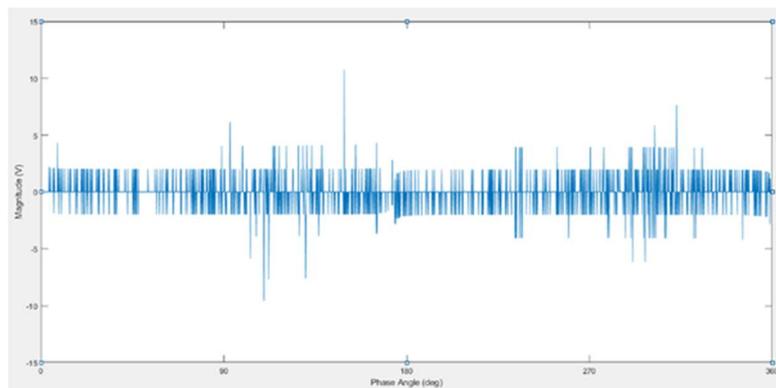
Partial discharge dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu jarak antar elektroda yang digunakan untuk pengujian. Jarak yang semakin jauh dapat meningkatkan nilai tegangan tembus pada isolasi minyak. Hal ini dikarenakan pada saat jarak elektroda semakin jauh maka medan pergerakan elektron memerlukan energi yang lebih besar untuk bisa bergerak menuju katoda. Dikarenakan jarak elektroda semakin jauh maka medan elektromagnetik yang terkumpul pada ujung elektroda juga semakin besar sehingga besar amplitudo sinyal gelombang yang ditangkap oleh loop antenna juga semakin besar.

4.2.1 Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Deteksi Partial discharge oleh Loop Antenna pada isolasi minyak

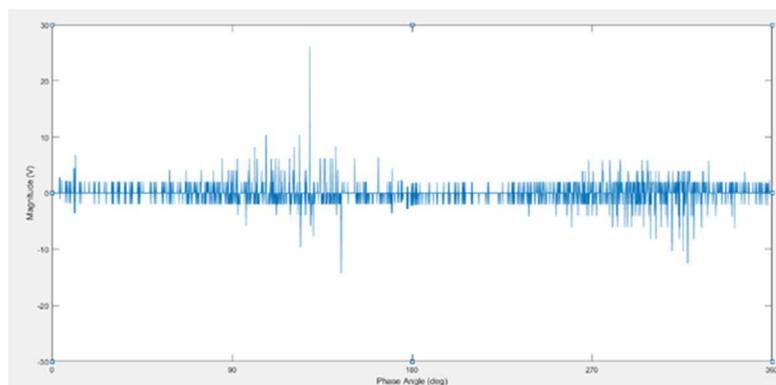
Pada pengujian *deteksi partial discharge* dengan *loop antenna* pada isolasi udara didapatkan hasil yang ditunjukkan oleh gambar 4.10. Pengujian jarak elektroda 1 cm dengan tegangan input maksimum sebesar 20 kV didapatkan nilai magnitudo tertinggi yang ditangkap oleh *loop antenna* sebesar 6,2 Volt. Sedangkan, pada pengujian jarak elektroda 1,5 cm dengan tegangan input maksimum 24 kV didapatkan nilai magnitudo tertinggi yang ditangkap oleh *loop antenna* sebesar 10,75 Volt yang ditunjukkan oleh gambar 4.11. Pada gambar 4.12, Pengujian jarak elektroda 2 cm dengan tegangan input maksimum sebesar 28 kV didapatkan nilai magnitudo tertinggi yang ditangkap oleh *loop antenna* sebesar 6,2 Volt.



Gambar 4. 10 Gelombang yang Dideteksi Loop Antenna dengan Jarak Elektroda 1cm dan Tegangan Input 20 kV



Gambar 4. 11 Gelombang yang Dideteksi *Loop Antenna* dengan Jarak Elektroda 1,5 cm dan Tegangan *input* 24 kV



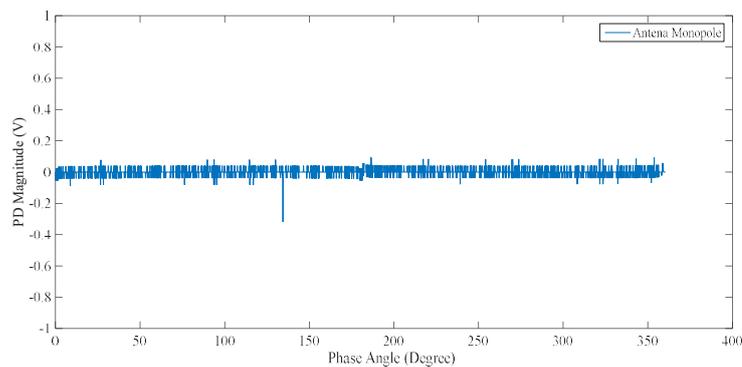
Gambar 4. 12 Gelombang yang dideteksi Loop Antenna dengan Jarak Elektroda 2 cm dan Tegangan Input 28 kV

Hasil pengujian pada sinyal gelombang yang ditangkap oleh *loop antenna* yang ditunjukkan oleh gambar 4.10, 4.11 dan 4.12 didapatkan hubungan antara tegangan input dan amplitudo gelombang tegangan yang dideteksi oleh *loop antenna*. Jarak yang semakin jauh antara elektroda akan memperbesar tegangan input sumber tegangan sehingga mengakibatkan magnitudo gelombang yang terdeteksi akan semakin besar. Seiring dengan meningkatnya nilai magnitudo yang ada akan disertai dengan munculnya *noise*. Oleh karena itu, munculnya

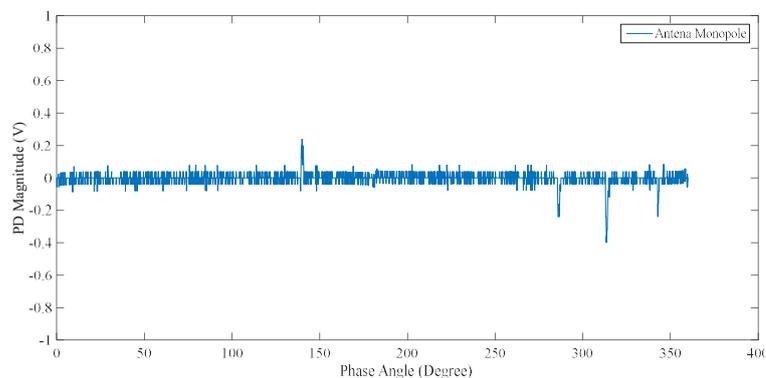
noise karena semakin meningkatnya *input tegangan* pada sinyal gelombang adalah salah satu ciri *partial discharge*. Hal ini, akan menyebabkan munculnya gelembung dan *corona discharge* disekitar elektroda yang menandakan bahwa isolasi minyak sudah hampir tidak mampu menahan tegangan yang *diinputkan*.

4.2.2 Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Deteksi *Partial discharge* oleh Loop Antenna pada isolasi udara

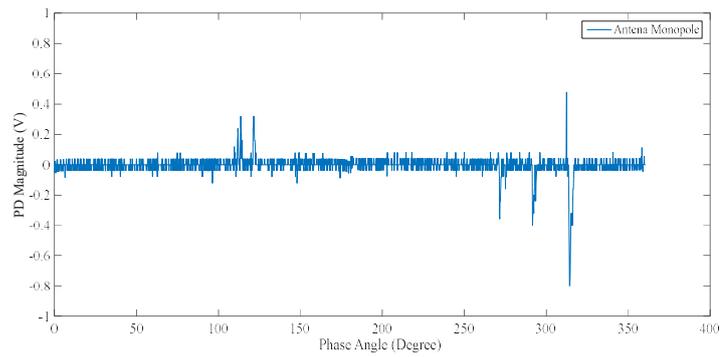
Hasil pengujian pengaruh jarak elektroda terhadap deteksi *partial discharge* pada isolasi udara menggunakan *loop antenna* ditunjukkan oleh Gambar 4.13 hingga 4.15. Pengujian ini menunjukkan *partial discharge* yang telah terjadi pada jarak elektroda 1 cm dengan tegangan input maksimum 7 kV, jarak elektroda 1,5 cm dengan tegangan input maksimum 10 kV, dan jarak elektroda 2 cm dengan tegangan input maksimum 13 kV. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar jarak antar elektroda maka tegangan *input* yang diberikan akan semakin tinggi. Saat tegangan yang *diinputkan* semakin tinggi maka dapat meningkatkan jumlah *streamer* dan saluran *streamer* dapat tumbuh lebih lama. Selain itu, amplitudo tegangan *applied* akan meningkatkan medan listrik yang mengelilingi ujung elektroda jarum sehingga akan terjadi *partial discharge* yang lebih banyak.



Gambar 4.13 Gelombang yang Dideteksi Loop Antenna dengan Jarak Elektroda 1 cm dan Tegangan Input 7 kV



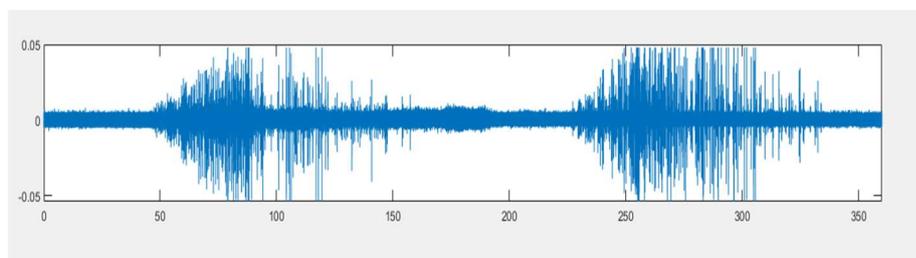
Gambar 4.14 Gelombang yang dideteksi *Loop Antenna* dengan Jarak Elektroda 1,5 cm dan Tegangan *input* 10 kV



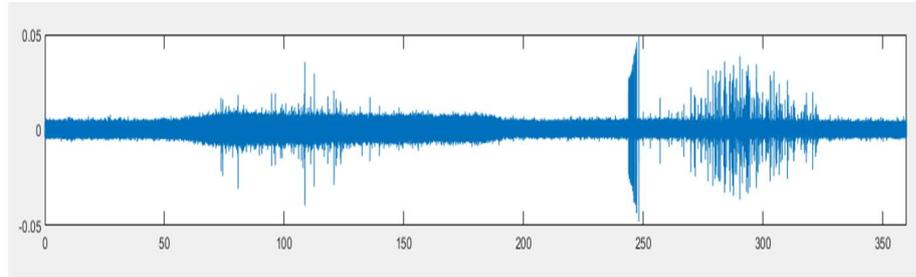
Gambar 4. 15 Gelombang yang dideteksi *Loop Antenna* dengan Jarak Elektroda 2 cm dan Tegangan *input* 13Kv

4.2.3 Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Deteksi Partial discharge oleh Microstrip Antena

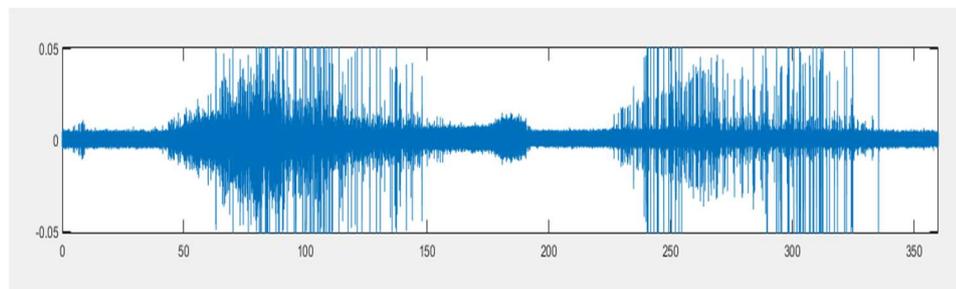
Hasil pengujian pengaruh jarak elektroda terhadap deteksi *partial discharge* pada isolasi udara menggunakan *loop antenna* ditunjukkan oleh Gambar 4.16 hingga 4.18 Pengujian ini menunjukkan *partial discharge* yang telah terjadi pada jarak elektroda 1 cm dengan tegangan input maksimum 7 kV, jarak elektroda 1,5 cm dengan tegangan input maksimum 10 kV, dan jarak elektroda 2 cm dengan tegangan input maksimum 13 kV. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar jarak antar elektroda maka tegangan *input* yang diberikan akan semakin tinggi. Saat tegangan yang *diinputkan* semakin tinggi maka dapat meningkatkan jumlah *streamer* dan saluran *streamer* dapat tumbuh lebih lama. Selain itu, amplitudo tegangan *applied* akan meningkatkan medan listrik yang mengelilingi ujung elektroda jarum sehingga akan terjadi *partial discharge* yang lebih banyak. Selain itu, Jarak yang semakin jauh antara elektroda akan memperbesar tegangan input sumber tegangan sehingga mengakibatkan magnitude gelombang yang terdeteksi akan semakin besar.



Gambar 4. 16 Gelombang yang dideteksi Microstrip Antenna dengan Jarak Elektroda 1 cm dengan Tegangan input 7 kV



Gambar 4. 17 Gelombang yang dideteksi *Microstrip Antenna* dengan Jarak Elektroda 1,5 cm dan Tegangan Input 10 kV

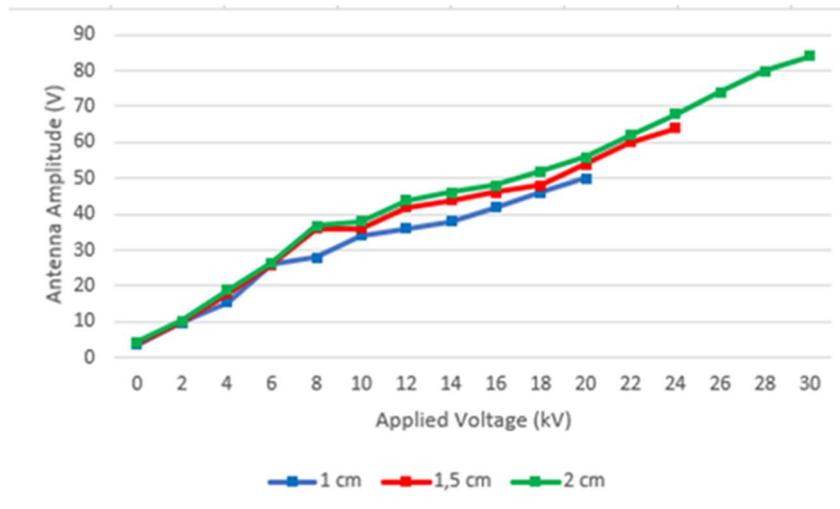


Gambar 4. 18 Gelombang yang dideteksi *Microstrip Antenna* dengan Jarak Elektroda 2 cm dan tegangan *Input* 13 kV

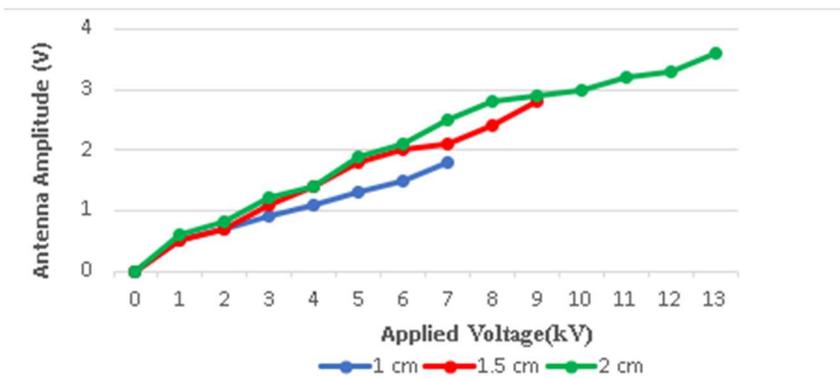
4.3 Analisa Magnitudo

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai magnitudo yang ditangkap oleh *loop antenna* terhadap pengaruh jarak elektroda. Pada pengujian kali ini pembangkitan tenaga tinggi AC dihubungkan dengan elektroda *needle to plane* yang telah direndam kedalam minyak isolasi pada pengujian isolasi minyak dan elektroda *needle to plane* pada isolasi udara. Jarak elektroda yang digunakan adalah 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm dan antenna diposisikan pada jarak 20 cm dari elektroda. Pengujian dilakukan dengan cara menaikkan pembangkitan tegangan tinggi AC secara perlahan. Pengujian dihentikan ketika terdengar bunyi desis yang sangat keras dan terlihat adanya kilatan cahaya yang berasal dari kedua elektroda. Setiap kenaikan 2 kV, data yang tertampil pada osiloskop akan disimpan kedalam *flashdisk* dengan format *.csv*. Selanjutnya data yang disimpan akan diolah dengan menggunakan *software MS Excel* untuk mengetahui nilai amplitudo yang ditangkap *loop antenna*.

Grafik pembacaan amplitudo *loop antenna* pada isolasi minyak dapat dilihat pada Gambar 4.19. Pada jarak elektroda 1 cm tegangan maksimum yang bisa diberikan adalah 20kV, untuk jarak elektroda 1,5 cm tegangan maksimum yang bisa diberikan adalah 24kV dan jarak elektroda 2 cm tegangan maksimum yang bisa diberikan adalah 28 kV. Sedangkan pada isolasi udara dapat dilihat pada gambar 4.20. Pada jarak elektroda 1 cm tegangan maksimum yang bisa diberikan adalah 7kV, untuk jarak elektroda 1,5 cm tegangan maksimum yang bisa diberikan adalah 10kV dan jarak elektroda 2 cm tegangan maksimum yang bisa diberikan adalah 13 kV. Pada percobaan *microstrip antenna* pada isolasi udara, peletakan jarak elektroda dan tegangan input yang diberikan adalah sama dengan isolasi udara menggunakan *loop antenna*.



Gambar 4. 19 Grafik Pembacaan Amplitudo *Loop Antena* Setiap Kenaikan Tegangan Suplai Pada Isolasi Minyak



Gambar 4. 20 Grafik Pembacaan Amplitudo *Loop Antena* Setiap Kenaikan Tegangan Suplai Pada Isolasi Udara

Berdasarkan pengujian yang dilakukan diketahui bahwa semakin jauh jarak elektroda maka tegangan yang bisa diberikannya juga semakin besar. Besar tegangan yang diberikan berpengaruh terhadap magnitudo tegangan yang diterima oleh *loop antenna*. Semakin besar tegangan *input* maka semakin besar juga medan elektromagnetik yang diterima antena. Dari hasil analisa tersebut dapat dikatakan bahwa sensitivitas *loop antenna* dalam menangkap medan elektromagnetik sangat baik.

4.4 Analisa PRPD

Partial discharge (PD) dapat diketahui melalui amplitudo tegangan yang diterima oleh antena. Berdasarkan pengujian diketahui bahwa semakin tinggi tegangan suplai pada elektroda maka tegangan yang diterima oleh antena juga meningkat. Hal tersebut dikarenakan oleh medan elektromagnetik yang muncul diantara kedua elektroda semakin kuat juga.

Metode yang digunakan untuk mengukur dan merekam sinyal partial discharge pada siklus fasa tegangan yang berbeda adalah PRPD (*Phase Resolved Partial Discharge*). Untuk

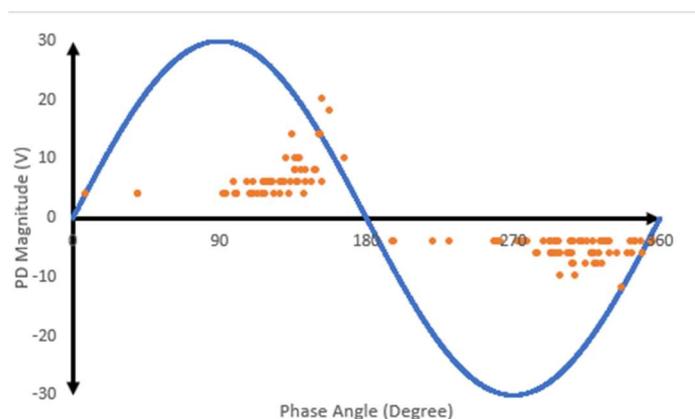
menghitung banyaknya jumlah peluahan sebagian yang terjadi dalam waktu tertentu dapat menggunakan PRPD. Analisa dari PRPD hanya dapat dilakukan saat kondisi pre-breakdown. Setiap titik merepresentasikan sebuah pulsa partial discharge, semakin tinggi titik berarti semakin besar muatan pulsa partial discharge yang terjadi, begitu juga semakin padat jumlah titiknya semakin banyak partial discharge yang terjadi. Hasil dari analisa PRPD dapat terpengaruh oleh *noise* (gangguan sinyal). Pengujian dilakukan menggunakan isolasi udara, dengan menggunakan elektroda jarum-datar, dengan diameter elektroda jarum 1 mm dan 2 mm. Sedangkan jarak antar elektroda 1 cm, 1.5 cm, 2 cm untuk masing masing elektroda jarum.

Ionisasi disekitar elektroda runcing terjadi saat tegangan applied elektroda runcing melebihi batas kekuatan breakdown udara. Polaritas tegangan applied akan membentuk corona discharge yang berupa streamer positif dan streamer negatif. Ketika tegangan *applied* meningkat, dapat meningkatkan jumlah streamer dan saluran streamer dapat tumbuh lebih lama.

4.4.1 Analisa PRPD oleh Loop antenna pada Isolasi Minyak

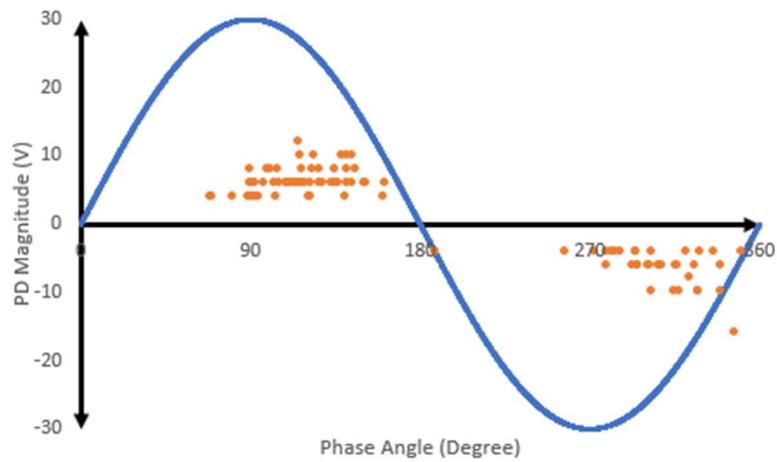
Pulsa *partial discharge* pada hasil pengujian direpresentasikan dengan pola ϕ -q-n. Simbol ϕ adalah sudut fasa dimana *partial discharge* terjadi, q adalah muatan *partial discharge*, dan n adalah jumlah pulsa *partial discharge*. Sumbu x menyatakan sudut phasa dan sumbu y menyatakan magnitudo PD.

Gambar 4.21 menunjukkan pola PD yang ditangkap loop antenna pada jarak elektroda 1 cm dengan tegangan 20kV. Corona discharge siklus positif terjadi pada sudut fasa 8° sampai 167° sedangkan siklus negatif terjadi pada sudut fasa 197° sampai 345° . Nilai pulsa PD tertinggi yaitu 20 Volt dengan jumlah titik PRPD adalah 119.



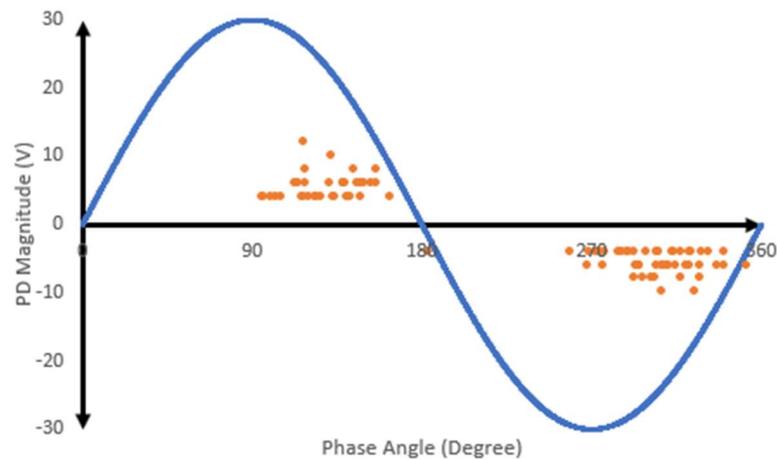
Gambar 4. 21 Pola (ϕ -q-n) *Loop antenna* pada Tegangan 20 kV dengan Jarak Elektroda 1 cm

Gambar 4.22 menunjukkan pola PD yang ditangkap loop antenna pada jarak elektroda 1 cm dengan tegangan 20kV. Corona discharge siklus positif terjadi pada sudut fasa 8° sampai 167° sedangkan siklus negatif terjadi pada sudut fasa 197° sampai 345° . Nilai pulsa PD tertinggi, yaitu 20 Volt dengan jumlah titik PRPD adalah 90.



Gambar 4. 22 Pola (ϕ -q-n) *Loop Antenna* pada Tegangan 24 kV dengan Jarak Elektroda 1, 5 cm

Gambar 4.23 menunjukkan pola PD yang ditangkap oleh loop antenna pada isolasi minyak pada jarak elektroda 2 cm dengan tegangan 20 kV. Corona discharge siklus positif terjadi pada sudut fasa 96° sampai 163° sedangkan siklus negatif terjadi pada sudut fasa 258° sampai 352° . Nilai pulsa PD tertinggi yaitu 12 Volt jumlah titik PRPD adalah 85.



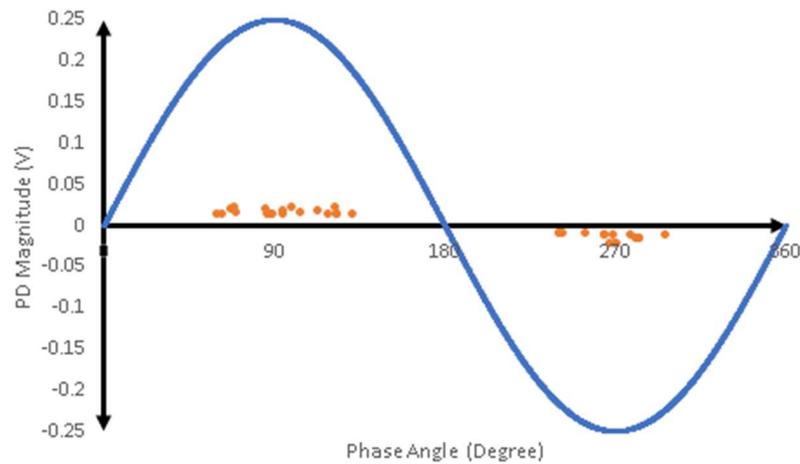
Gambar 4. 23 Pola (ϕ -q-n) *Loop Antenna* pada Tegangan 28kV dengan Jarak Elektroda 2 cm

Tabel 4.4 Jumlah Titik PRPD Isolasi Minyak

Jarak Antar Elektroda (cm)	Jumlah Titik PRPD
1 cm	119
1,5 cm	90
2 cm	85

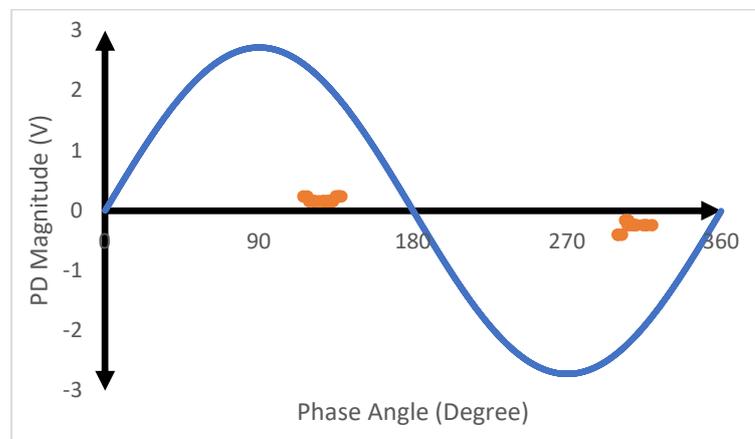
4.4.2 Analisa PRPD oleh Loop antenna pada Isolasi Udara

Hasil pengujian Analisa PRPD pada isolasi udara menggunakan *loop antenna* ditunjukkan oleh gambar 4.24. sampai dengan 4.26. Pulsa *partial discharge* pada hasil pengujian direpresentasikan dengan pola ϕ -q-n. Gambar 4.24 menunjukkan pola *partial discharge* yang ditangkap loop antenna pada jarak elektroda 1 cm dengan tegangan 7kV. Corona discharge siklus positif terjadi pada sudut fasa 84° sampai 154° sedangkan, siklus negatif terjadi pada sudut fasa 240° sampai 315° . Nilai pulsa PD tertinggi yaitu 0.34 Volt dengan jumlah titik PRPD adalah 32.



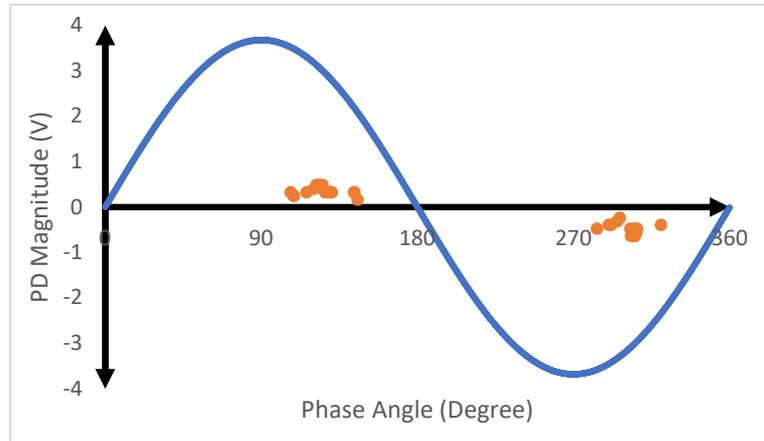
Gambar 4. 24 Pola (ϕ -q-n) *Loop antenna* pada Tegangan 7 kV dengan Jarak Elektroda 1 cm

Pulsa *partial discharge* pada hasil pengujian direpresentasikan dengan pola ϕ -q-n. Gambar 4.25 menunjukkan pola *partial discharge* yang ditangkap loop antenna pada jarak elektroda 1,5 cm dengan tegangan 10kV. Corona discharge siklus positif terjadi pada sudut fasa 118° sampai 138° sedangkan, siklus negatif terjadi pada sudut fasa 301° sampai 319° . Nilai pulsa PD tertinggi yaitu 0.28 Volt dengan jumlah titik PRPD adalah 38.



Gambar 4. 25 Pola (ϕ -q-n) *Loop antenna* pada Tegangan 10 kV dengan Jarak Elektroda 1, 5 cm

Pulsa *partial discharge* pada hasil pengujian direpresentasikan dengan pola ϕ -q-n. Gambar 4.26 menunjukkan pola *partial discharge* yang ditangkap loop antenna pada jarak elektroda 2 cm dengan tegangan 13kV. Corona discharge siklus positif terjadi pada sudut fasa 108° sampai 145° sedangkan, siklus negatif terjadi pada sudut fasa 283° sampai 320°. Nilai pulsa PD tertinggi yaitu 0.48 Volt dengan jumlah titik PRPD adalah 30.



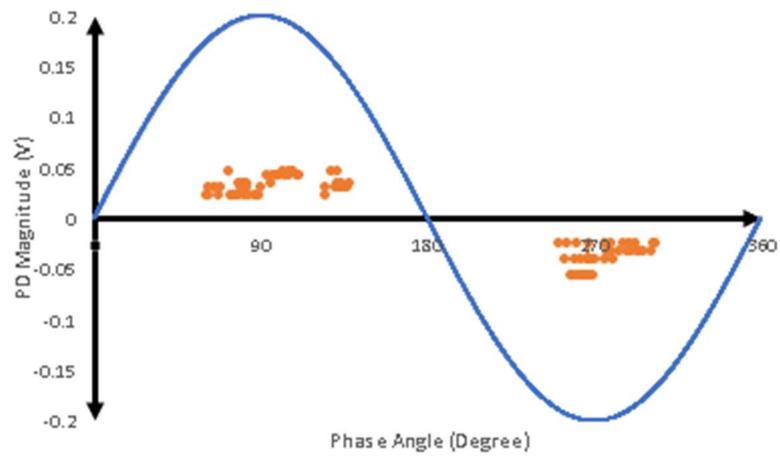
Gambar 4. 26 Pola (ϕ -q-n) *Loop antenna* pada Tegangan 13kV dengan Jarak Elektroda 2 cm

Tabel 4.5 Jumlah PRPD Isolasi Udara

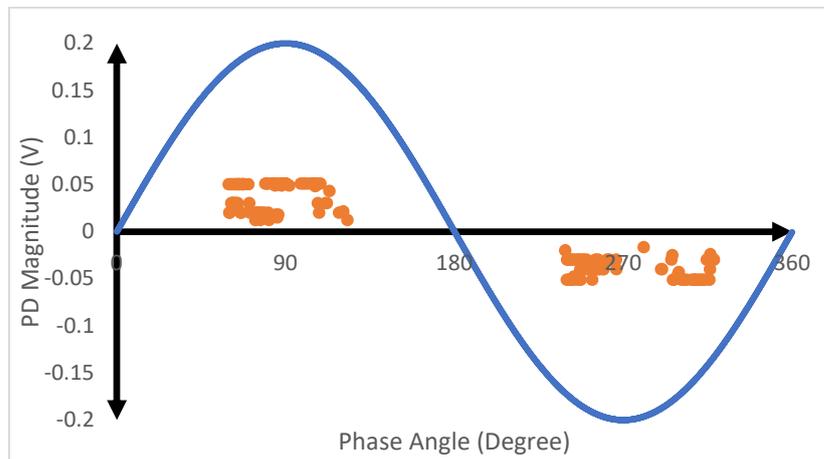
Jarak Antar Elektroda (cm)	Jumlah Titik PRPD
1 cm	32
1,5 cm	38
2 cm	30

4.4.3 Analisa PRPD oleh *Microstrip antenna* pada Isolasi Udara

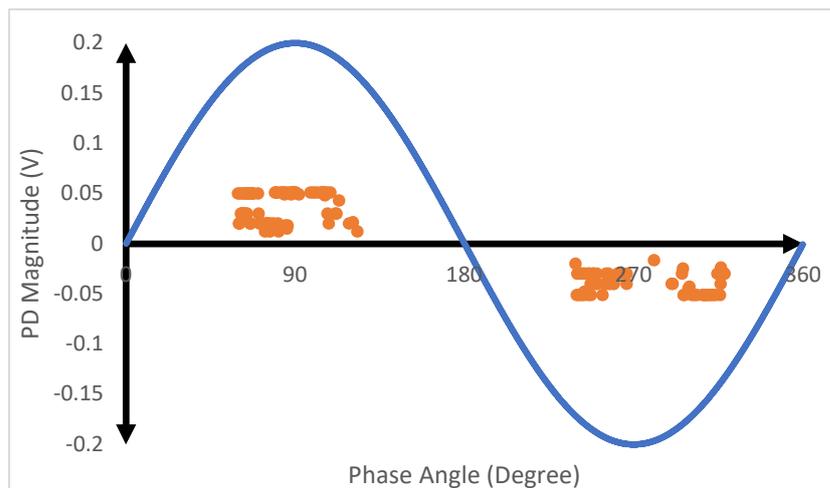
Hasil pengujian Analisa PRPD pada isolasi udara menggunakan *microstrip antenna* ditunjukkan oleh gambar 4.27. sampai dengan 4.29. Pulsa *partial discharge* pada hasil pengujian direpresentasikan dengan pola ϕ -q-n. Gambar 4.27 menunjukkan pola *partial discharge* yang ditangkap *microstrip antenna* pada jarak elektroda 1 cm dengan tegangan 7kV. *Corona discharge* siklus positif terjadi pada sudut fasa 63° sampai 168° sedangkan, siklus negatif terjadi pada sudut fasa 239° sampai 318°. Nilai pulsa PD tertinggi yaitu 0.05 Volt dengan jumlah titik PRPD adalah 117. Gambar 4.28 menunjukkan pola *partial discharge* yang ditangkap *microstrip antenna* pada jarak elektroda 1,5 cm dengan tegangan 10kV. *Corona discharge* pada jarak 1,5 cm, siklus positif terjadi pada sudut fasa 61° sampai 123° sedangkan, siklus negatif terjadi pada sudut fasa 246° sampai 318°. Nilai pulsa PD tertinggi yaitu 0.048 Volt dengan jumlah titik PRPD adalah 91. Pada jarak elektroda 2 cm yang ditunjukkan oleh gambar 4. 29, deteksi *microstrip antenna* dengan tegangan 13 kV, siklus positif terjadi pada sudut fasa 60° sampai 124° sedangkan, siklus negatif terjadi pada sudut fasa 239° sampai 320°.



Gambar 4. 27 Pola (ϕ -q-n) *microstrip antenna* Pada Tegangan 7 kV dengan Jarak Elektroda 1 cm



Gambar 4. 28 Pola (ϕ -q-n) *microstrip antenna* pada Tegangan 10 kV dengan Jarak Elektroda 1, 5 cm



Gambar 4. 29 Pola (φ -q-n) *microstrip antenna* pada Tegangan 13 kV dengan Jarak Elektroda 2 cm

Tabel 4.6 Jumlah Titik PRPD Isolasi Udara *Microstrip Antenna*

Jarak Antar Elektroda (cm)	Jumlah Titik PRPD
1 cm	87
1,5 cm	91
2 cm	141

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa tentang deteksi partial discharge pada isolasi minyak dengan menggunakan loop antenna mempunyai beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Jarak elektroda akan mempengaruhi tegangan breakdown pada kedua isolasi. Pada isolasi minyak terjadi breakdown pada tegangan 20(1 cm), 24(1,5 cm), 28(2cm). Sedangkan, pada isolasi udara terjadi pada 7 kV(1cm), 10 kV (1,5 cm), dan 13 kV (2 cm).
2. loop antenna yang digunakan pada pengujian ini dapat mendeteksi partial discharge saat fenomena *pre-breakdown* hingga fenomena *breakdown* berlangsung. Hal tersebut telah dibuktikan dengan perbandingan hasil loop antenna dan HFCT, anomali sinyal terletak pada sudut fasa yang sama
3. Jumlah Titik PRPD paling banyak ditemukan pada deteksi *partial discharge* menggunakan *microstrip antenna* dengan jumlah titik PRPD yang terdeteksi adalah 87 (1 cm), 91 (1,5 cm), dan 141 (2 cm).
4. Pada kedua media isolasi, semakin tinggi tegangan *input* pada elektroda, tegangan yang diterima oleh antena juga meningkat.
5. Pada deteksi *partial discharge* isolasi minyak, jumlah titik PRPD akan semakin sedikit ketika jarak elektroda terus dijauhkan. Pada elektroda jarak 1 cm dengan tegangan 7 kV dideteksi jumlah PD sebanyak 119 titik, sedangkan saat jarak elektroda menjadi 1,5 cm dideteksi jumlah PD sebanyak 90.
6. *Microstrip antenna* dapat mendeteksi *partial discharge* lebih baik daripada *loop antena* karena memiliki pita frekuensi yang lebih lebar, terlihat dari pengukuran return loss.
7. HFCT mampu mendeteksi titik PRPD dikarenakan memiliki rentang fekuensi yang lebih lebar dibandingkan *loop Antenna*

5.2 Saran

Pada tugas akhir selanjutnya mempunyai beberapa saran, sebagai berikut:

1. Analisa PRPD sangat dipengaruhi oleh adanya noise pada gelombang yang akan diolah. Sebaiknya pada penelitian selanjutnya perlu adanya filter untuk menghilangkan noise sehingga analisa PRPD terhadap sinyal partial discharge yang ditangkap bisa lebih baik.
2. Pengujian sebaiknya dilakukan dalam kondisi ruang yang ideal, antara lain suhu, kelembapan, dan tekanan udara tidak berubah.

DAFTAR PUSTAKA

- al., W. F. (2016). Comparison study of partial discharge detection methods for switchgears. *2016 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)* (pp. 319-323). Xi'an: IEEE.
- Allen, N. L., & Mikropoulos, P. N. (2001). Surface profile effect on streamer propagation and breakdown in air. *IEEE Trans. Dielect. Electr. Insul.*, 812-817.
- Amna, B. M., & Khayam, U. (2016). *DESIGN AND SIMULATION OF HIGH FREQUENCY CURRENT*. IEEE.
- Aulia Irsyad, D. E. (2016). *BREAKDOWN VOLTAGE ANALYSIS OF MIXED OIL AS*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- AVIVA. (2021). *Partial Discharge Testing and*. Perth.
- Balanis, C. A. (2005). *Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd Edition*.
- Bartnikas, R. (2002). Partial Discharges Their Mechanism, Detection and Measurement. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 763-808.
- Bestowan, E. (2019). *DETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI UDARA DENGAN MENGGUNAKAN LOOP ANTENNA*.
- Cecilia, F. (2008). *Modelling of cavity partial discharges at variable applied frequency*. KTH, School of Electrical Engineering (EES), Electromagnetic Engineering.
- Chou, C. J., & Chen, C. H. (2018). Measurement and analysis of partial discharge of high and medium voltage power equipment. *7th Int. Symp. Next-Generation Elektron. ISNE 2018* (pp. 1-4). Taipei: IEEE.
- Contin, A. (2015). Diagnostics of insulation systems by means of partial discharges. *IEEE 10th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)*, 191-197.
- Duan, F. (2015). *Induction motor parameters estimation and faults diagnosis using optimisation algorithms*. Adelaide: University of Adelaide.
- Ediriweera, W. E., Priyanayana, K. S., Rajakaruna, R. M., Ranasinghe, R. A., Lucas, J. R., & Samarasinghe, R. (2017). Microstrip Patch Antenna for Partial Discharge detection as a condition monitoring tool of power system assets. *2017 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCOn)* (pp. 368-372). Moratuwa: IEEE.
- Fauziah, M. D. (2021). *DETEKSI PELUAHAN SEBAGIAN PADA ISOLASI MINYAK*.
- H. Illias, T. S. (2012). Partial discharge patterns in high voltage insulation. *2012 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)* (pp. 750-755). IEEE.
- IEC. (2000). *IEC Patent No. 60270:2000*.
- IEC, 6. C. (2004). *International Standard Insulating Liquids Measurement of Relative Permittivity*. IEC.

- Illias, H., Chen, G., & Lewin, P. L. (2002). Pulse Sequence Analysis - a diagnostic tool based on the physics behind partial discharges. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 25-32.
- Illias, H., Yuan, T. S., Bakar, A. H., Mokhlis, H., Chen, G., & Lewin, P. L. (2012). Partial discharge patterns in high voltage insulation. *2012 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*, 750-755.
- Junaidi, A., Imbarothurmowaviq, M., & Putri, T. W. (2021). Pengukuran dan Analisis High Frequency Current Transformer Pendeteksi Partial Discharge. *KILAT*, 53-59.
- Khayam, U., & Fatoni, F. I. (2017). Design and application of loop antenna for partial . *6th Int. Conf. Electr. Eng. Informatics Sustain. Soc. Through Digit. Innov.* (pp. 1-6). Langkawi: IEEE.
- Khayam, U., & Fatoni, F. I. (2017). Design and application of loop antenna for partial discharge induced electromagnetic wave detection. *6th Int. Conf. Electr. Eng. Informatics Sustain. Soc. Through Digit. Innov. ICEEI 2017* (pp. 1-6). Yogyakarta: IEEE.
- Khayam, U., & Kasnalestari, T. (2016). System of wavelet transform on partial discharge signal denoising. *2016 2nd International Conference of Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering* (pp. 79-83). Yogyakarta: IEEE.
- Kuffel, E., Zaengl, W., & Kuffel, J. (2000). *High Voltage Engineering*.
- Luo, H., Cheng, P., Liu, H., Kang, K., Yang, F., & Q. Yang. (2016). Research on the UHF Microstrip Antenna for Partial Discharge Detection in High Voltage Switchgear. *Przegląd Elektrotechniczny* (pp. 90-93). Warszawa: Wydawnictwo SIGMA - N O T Sp. z o.o.
- Mohamed, H., Lazaridis, P., Upton, D., Khan, U., Saeed, B., Jaber, A., . . . Glover, I. A. (2016). Partial discharge detection using low cost RTL-SDR model for wideband spectrum sensing. *2016 23rd International Conference on Telecommunications (ICT)*, 1-5.
- Niasar, M. (2012). *Partial Discharge Signatures of Defects in Insulation Systems Consisting of Oil and Oil-impregnated Paper*. KTH Electrical Engineering.
- Ohmura, N., & Ogino, S. (2014). Optimized shielding pattern of RF faraday Cage. *IEICE*, 765-768.
- Pompili, M., & Bartnikas, R. (2012). On partial discharge measurement in dielectric liquids. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 1476-1481.
- Pozar, D. M. (2012). *Microwave Engineering*. Amherst: University of Massachusetts Amherst.
- Qinchuan, Z., Wuhuang, H., & Hao, Z. (2017). Study on enhancing features of digital oscilloscope to analyze the envelope of signal. *2017 IEEE 13th International Conference on Electronic Measurement & Instruments* , 30-34.
- Ra, N., & Khayam, U. (2015). Partial discharge measurement of 4 types of electrodes configuration in air insulation using high frequency current transformer sensor. *Proceedings of the Joint International Conference on Electric Vehicular Technology*

- and Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering (ICEVT & IMECE) (pp. 100-105). Surakarta: IEEE.
- Refaat, S. S., Sayed, M., Shams, M. A., & Mohamed, A. (2018). A Review of Partial Discharge Detection Techniques in Power Transformers. *Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)* (pp. 1020-1025). Assiut: IEEE.
- Rozi, F., & Khayam, U. (2014). Design of circle shaped loop antenna as partial discharge sensor. *Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. ICEECS 2014* (pp. 349-352). Bali: IEEE.
- Rozi, F., & Khayam, U. (2015). Design of circle shaped loop antenna as partial discharge sensor. *ICEECS* (pp. 349–352). IEEE.
- Schwarz, M. a. (2006). Partial discharge measurement as a Diagnostic Tool for HV-Equipments. *2006 IEEE 8th International Conference on Properties & applications of Dielectric Materials* (pp. 195-198). Bali: IEEE.
- Shady S. Refaat, M. A. (2018). A review of partial discharge detection, diagnosis techniques in high voltage power cables. *2018 IEEE 12th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG 2018)* (pp. 1-5). Doha: IEEE.
- Speight, J. G. (2020). Monomers, polymers, and plastics. *Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes*, 597-649.
- Suwarno. (2014). Partial discharges in high voltage insulations: Mechanism, patterns and diagnosis. *2014 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS)* (pp. 369-375). Denpasar: IEEE.
- Warne, D. F., & Haddad, A. (2004). *Advance In High Voltage Engineering Institution Of Electrical Engineers*. London.
- Werner, H. (1996). An exact integration procedure for vector potentials of thin circular loop antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 157-165.
- Widjaja, C. D., Fahren, A. A., Khayam, U., & Hidayat, S. (2020). Design of Loop Antenna as Partial Discharge Sensor on Metal-Enclosed Power Apparatus. *IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)*, 1506-1510.
- Widyaningrum, K. S., Setiawan, D. K., & Kaloko, B. S. (2017). Pengaruh Variasi Suhu Destilasi Terhadap Karakteristik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair pada Transformator Daya. *BERKALA SAINSTEK* (pp. 41-44). Jember: Universitas Jember (UNEJ).
- Yulistya, M. (2013). *Teknik Tegangan Tinggi*. Surabaya.

N. L. Allen, & P. N. Mikropoulos. (2001). *Surface profile effect on streamer propagation and breakdown in air.*

LAMPIRAN

The image displays two screenshots of the MATLAB software interface. The top screenshot shows the 'compare.m' script in the editor, and the bottom screenshot shows the 'PRPDbaru.m' script.

Top Screenshot: Editor - C:\Olah Data\FIX\Microstripppp\FIX\licccc\compare.m

```
1 - clear;
2 - c1c;
3 - %% OsiLoskop
4 - %% Antena
5 - A=[];
6 - T=1e-6;
7 - td=25000*T;
8 - cycle=1/(T*50);
9 - t=[];
10 - for ii=1:20
11 -     file=['C:\Olah Data\FIX\UDARRAAA\1\0000011\Channel 2\DS00' num2str(ii) '.csv'];
12 -     data=csvread(file,16,1);
13 -     PD=data(:,1);
14 -     dt(1)=360/cycle;
15 -     for xx=2:length(PD)
16 -         dt(xx)=dt(xx-1)+360/cycle;
17 -     end
18 -     t=[t;dt'];
19 -     A=[A;PD];
20 -     for aa=1:length(t)
21 -         if t(aa)>360
22 -             t(aa)=t(aa)-360;
23 -         else
24 -             t(aa)=t(aa);
25 -         end
26 -     end
27 - end
```

Bottom Screenshot: Editor - C:\Olah Data\FIX\Microstripppp\FIX\licccc\PRPDbaru.m

```
7 - A=[];
8 - T=1e-6;
9 - td=25000*T;
10 - cycle=1/(T*50);
11 - t=[];
12 - for ii=1:20
13 -     file=['C:\Olah Data\FIX\UDARRAAA\1\0000011\Channel 2\DS00' num2str(ii) '.csv'];
14 -     %file=['1 cm.csv']
15 -     data=csvread(file,16,1);
16 -     PD=data(:,1);
17 -     threshold=0.02;
18 -     PD(abs(PD)<threshold)=NaN;
19 -     dt(1)=360/cycle;
20 -     for xx=2:length(PD)
21 -         dt(xx)=dt(xx-1)+360/cycle;
22 -     end
23 -     t=[t;dt'];
24 -     A=[A;PD];
25 -     for aa=1:length(t)
26 -         if t(aa)>360
27 -             t(aa)=t(aa)-360;
28 -         else
29 -             t(aa)=t(aa);
30 -         end
31 -     end
32 - end
```

```

Editor - C:\Olah Data\FIX\Microstr\pppp FIX\icccro\PRPDbaru.m
kodingannya.m Micro1cm.m compare.m PRPDbaru.m +
31 - end
32 - end
33 - subplot(2,1,1)
34 - hold on
35 - ref=plot(3/2*(max(abs(PD)))*sin(pi/180*(0:360)));
36 - antena=plot(t,A, 'r');
37 - legend(antena,'Antena')
38 - xlabel('Sudut Fase (deg)')
39 - ylabel('Magnitude (V)')
40 - xlim([0 360])
41 - set(gca, 'xtick', 0:60:360);
42 - hold off
43 - count1=nnz(~isnan(A))
44 - %% HFCT
45 - B=[];
46 - T=1e-6;
47 - td=25000*T;
48 - cycle=1/(T*50);
49 - t=[];
50 - for ii=1:20
51 -     file=['C:\Olah Data\FIX\UDARRAAA\1\0000011\Channel 3\DS00' num2str(ii) '.csv'];
52 -     %file=['1 cm.csv']
53 -     data=csvread(file,16,1);
54 -     PD=data(:,1);
55 -     threshold=0.003;
56 -     %Plot (PDF)

```

Channel 2	10/06/2022 0:28	File folder	
Channel 3	10/06/2022 0:32	File folder	
Channel 4	10/06/2022 0:30	File folder	
DS0001.CSV	09/06/2022 19:57	Microsoft Excel C...	606 KB
DS0001.PNG	09/06/2022 19:56	PNG File	45 KB
DS0002.CSV	09/06/2022 19:57	Microsoft Excel C...	603 KB
DS0002.PNG	09/06/2022 20:03	PNG File	31 KB
DS0003.CSV	09/06/2022 19:57	Microsoft Excel C...	607 KB
DS0003.PNG	09/06/2022 20:03	PNG File	37 KB
DS0004.CSV	09/06/2022 19:57	Microsoft Excel C...	607 KB
DS0004.PNG	09/06/2022 20:04	PNG File	34 KB
DS0005.CSV	09/06/2022 19:57	Microsoft Excel C...	607 KB
DS0005.PNG	09/06/2022 20:04	PNG File	42 KB
DS0006.CSV	09/06/2022 19:57	Microsoft Excel C...	606 KB
DS0007.CSV	09/06/2022 19:57	Microsoft Excel C...	607 KB
DS0008.CSV	09/06/2022 19:57	Microsoft Excel C...	607 KB
DS0009.CSV	09/06/2022 19:57	Microsoft Excel C...	605 KB

	A	B	C
19	-1.13E-02		6.40E-01
20	-1.13E-02		5.80E-01
21	-1.13E-02		6.40E-01
22	-1.13E-02		5.80E-01
23	-1.13E-02		6.40E-01
24	-1.13E-02		5.80E-01
25	-1.13E-02		6.40E-01
26	-1.13E-02		5.80E-01
27	-1.13E-02		6.00E-01
28	-1.13E-02		6.40E-01
29	-1.13E-02		6.40E-01
30	-1.13E-02		5.80E-01
31	-1.13E-02		6.40E-01
32	-1.13E-02		5.80E-01
33	-1.13E-02		6.40E-01
34	-1.13E-02		5.80E-01
35	-1.13E-02		5.80E-01
36	-1.13E-02		6.40E-01
37	-1.13E-02		5.80E-01
38	-1.13E-02		6.40E-01

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kuala Lumpur, 7 November 2000 merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di, SD Madina Islamic School, SMPN 115 Jakarta dan SMAN 68 Jakarta. Setelah lulus dari SMAN tahun 2018, Penulis diterima di Departemen Teknik Elektro FTEIC-ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 07111840000223.

Di Departemen Teknik Elektro Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Departemen, Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro, dan aktif sebagai Asisten laboratorium Tegangan Tinggi ITS.