



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - EE184801**

**DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI MINYAK  
MENGUNAKAN *LOOP ANTENNA***

Catur Andianto  
NRP 07111745000006

Dosen Pembimbing  
Danar Fahmi, ST.,MT.  
Dimas Anton Asfani, ST.,MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





**FINAL PROJECT - EE184801**

**DETECT *PARTIAL DISCHARGE* IN OIL INSULATION  
USING *LOOP ANTENNA***

Catur Andianto  
NRP 07111745000006

Advisor  
Danar Fahmi, ST.,MT.  
Dimas Anton Asfani, ST.,MT., Ph.D.

DEPARTEMEN OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Deteksi *Partial discharge* pada Isolasi Minyak Menggunakan *Loop antenna***" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 11 Juli 2019



Catur Andianto

NRP 07111745000006

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**DETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI MINYAK  
MENGUNAKAN LOOP ANTENNA**

**TUGAS AKHIR**

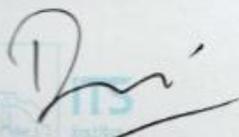
Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

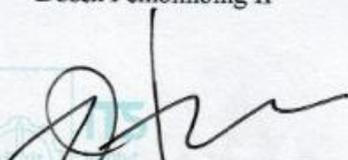
Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Damir Fahmi, ST., MT.  
NIP :198909252014041002



Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP :1981090520050011002



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI MINYAK MENGUNAKAN *LOOP ANTENNA***

**Nama** : Catur Andianto  
**Pembimbing 1**: Daniar Fahmi, ST., MT.  
**Pembimbing 2** : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

### **ABSTRAK**

*Partial discharge* merupakan suatu fenomena yang terjadi pada peralatan tegangan tinggi akibat pelepasan muatan listrik yang terjadi pada suatu bahan isolasi. Pada bahan isolasi minyak, aktivitas *partial discharge* menghasilkan panas, *arc*, dan gelembung. Aktivitas *partial discharge* lama kelamaan akan mengakibatkan *breakdown* pada bahan isolasi sehingga dapat merusak peralatan. Pada peralatan listrik, fenomena *partial discharge* tidak dapat terdeteksi secara visual. Gelombang elektromagnetik yang dihasilkan *partial discharge* dapat menembus peralatan listrik sehingga bisa dideteksi dengan suatu peralatan eksternal. Salah satu contoh peralatan yang dapat mendeteksi *partial discharge* adalah antena.

Pada tugas akhir ini akan membahas deteksi *partial discharge* pada isolasi minyak menggunakan *loop antenna*. Pembangkitan tegangan tinggi AC akan dihubungkan dengan elektroda *point to plate* yang direndam pada minyak isolasi dengan variasi jarak elektroda 1cm, 1,5cm, dan 2cm. Pengujian dilakukan pada kondisi belum bertegangan (normal), *pre-breakdown*, dan 1 detik sebelum *breakdown*. *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 HFCT. Hasil yang didapatkan adalah semakin jauh jarak elektroda maka tegangan *input* semakin tinggi. Semakin tinggi tegangan *input* menyebabkan semakin besarnya nilai muatan dan banyaknya pulsa *partial discharge*.

**Kata Kunci:** *Partial discharge, loop antenna, breakdown, HFCT.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ***DETECT PARTIAL DISCHARGE IN OIL INSULATION USING LOOP ANTENNA***

**Name** : Catur Andianto  
**Advisor 1** : Daniar Fahmi, ST., MT.  
**Advisor 2** : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

### ***ABSTRACT***

*Partial discharge is a phenomenon that occurs in high voltage equipment due to the release of electrical charges that occur in an insulating material. In oil insulating materials, partial discharge activity produces heat, arc, and bubbles. Partial discharge activities over time will result in breakdown of insulation materials so that it can damage equipment. In electrical equipment, the partial discharge phenomenon cannot be detected visually. Electromagnetic waves produced by partial discharge can penetrate electrical equipment so that it can be detected by an external device. One example of a device that can detect a partial discharge is an antenna.*

*In this final project, we will discuss the detection of partial discharge in oil isolation using loop antenna. The high voltage AC generation will be connected to the point to plate electrode soaked in insulating oil with variations in the electrode distance of 1cm, 1.5cm, and 2cm. Tests are carried out on a condition that has not been voltageed (normal), pre-breakdown, and 1 second before the breakdown. The antenna loop will be connected to an oscilloscope so that the signal output can be changed into a voltage value. The result of the signal will be processed so that it displays the Phase Resolved Partial discharge (PRPD) and is validated with the signal captured by the HFCT. The results obtained are the further the distance of the electrode, the higher the input voltage. The higher the input voltage causes the greater the value of the load and the number of partial discharge pulses.*

**Keywords:** *Partial discharge, loop antenna, breakdown, HFCT.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Sarjana-1 pada Bidang Studi Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul

Dalam proses penyusunannya penulis telah banyak dibantu oleh berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT karena telah memberikan kelancaran dan keselamatan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
2. Ibu Riani Sastri selaku ibu dari penulis yang selalu memberikan dukungan terbaiknya untuk penulis, baik dalam hal materil maupun non-materil serta doa yang selalu beliau panjatkan untuk kelancaran perkuliahan dan penyelesaian tugas akhir.
3. Saudara-saudara yang selalu memberikan dukungan moral dan lainnya, Mokhammad Eko Purwanto, Dimas Dwi Kristanto, dan Tri Ayu Wulandari.
4. Bapak Daniar Fahmi, ST., MT. selaku dosen pembimbing pertama dan Bapak Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing kedua dari laporan tugas akhir yang penulis tempuh dimana selalu memberikan dukungan, bimbingan dan pendampingan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
5. Teman yang selalu membantu penulis dalam hal-hal Teknis maupun non teknis dalam penulisan tugas akhir yaitu Faisal Ijlal Azmi, Adhestian Naufal Rizaldy, Derry Prakasa, dan Nabella Setya Yuliani.
6. Teman-teman kosan koala regency yang selalu memberikan dukungan lewat cacian serta hinaan yang katanya bersifat membangun.
7. Asisten laboratorium tegangan tinggi yang selalu bersedia direpoti dalam pengerjaan tugas akhir, Hadi Lizikri Al-Azmi dan Baasith Akbar Felayati.

8. Teman-teman lintas jalur 2017 yang selalu sedia memberikan dukungan dan bantuan sejak awal penulis kuliah hingga saat penulis menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, 11 Juli 2019

Penulis

# DAFTAR ISI

## HALAMAN

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
PENGESAHAN .....	vi
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
PENGESAHAN .....	xx
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Laporan .....	4
1.7 Relevansi.....	5
<b>BAB II FENOMENA PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI     CAIR DAN LOOP ANTENNA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Isolasi Cair .....	7
2.2 Kekuatan Dielektrik Isolasi Cair .....	8
2.3 Proses Kegagalan Dielektrik Cair .....	9
2.3.1 Kegagalan Zat Murni atau Kegagalan Elektronik .....	10
2.3.2 Kegagalan Gelembung Gas ( <i>Cavity Breakdown</i> ) .....	10
2.3.3 Kegagalan Bola Cair .....	12
2.4 Kegagalan pada Medan Non-Homogen.....	12
2.5 Fenomena <i>Pre-Breakdown</i> .....	13
2.6 Klasifikasi Frekuensi .....	14
2.7 <i>Loop antenna</i> .....	15
2.8 <i>High Frequency Current Transformer</i> .....	16

BAB III ALAT PENGUJIAN DAN METODE PENGAMBILAN DATA .....	18
3.1 Alat Pengujian .....	19
3.1.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC .....	21
3.1.2 Minyak Isolasi .....	22
3.1.3 Elektroda Uji .....	23
3.1.4 HFCT .....	24
3.1.5 Osiloskop .....	26
3.2 Rancangan <i>Loop antenna</i> .....	26
3.3 Pengambilan Data dan Akuisisi Data .....	27
3.3.1 Mekanisme Pengambilan Data .....	27
3.3.2 Akuisisi Data .....	29
3.3.3 Verifikasi Gelombang Partial Discharge .....	31
3.3.4 Pengolahan Data dalam Bentuk PRPD .....	32
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA .....	33
4.1 Perbandingan Bentuk Gelombang Antena, HFCT dan Sumber Tegangan sebagai Validasi Data Fenomena <i>Partial discharge</i> ..	33
4.2 Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Deteksi <i>Partial discharge</i> pada Isolasi Minyak. ....	36
4.3 Analisa Amplitudo Tegangan <i>Loop antenna</i> .....	39
4.4 Analisa PRPD .....	43
4.4.1 Analisa PRPD oleh <i>Loop antenna</i> dan HFCT Jarak Elektroda 1cm pada Isolasi Minyak. ....	43
4.4.2 Analisa PRPD oleh <i>Loop antenna</i> dan HFCT Jarak Elektroda 1,5cm pada Isolasi Minyak. ....	45
4.4.3 Analisa PRPD <i>Loop antenna</i> dan HFCT Jarak Elektroda 2cm pada Isolasi Minyak. ....	47
4.4.4 Analisa PRPD <i>Loop antenna</i> dan HFCT Terhadap Pengaruh Jarak Elektroda 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm pada Isolasi Minyak. ....	49
BAB V PENUTUP .....	53
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran .....	53
DAFTAR PUSTAKA .....	55
DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....	57

## DAFTAR GAMBAR

### HALAMAN

Gambar 2.1	Tingkat kegagalan Bahan Isolasi.....	8
Gambar 2.2	Orde Tingkat Kegagalan Material Isolasi.....	9
Gambar 2.3	Kegagalan Zat Murni atau Kegagalan Elektronik.....	10
Gambar 2.4	Kegagalan Gelembung Gas ( <i>Cavity Breakdown</i> ).....	11
Gambar 2.5	<i>Breakdown Voltage</i> pada Ketidakeragaman Medan.....	12
Gambar 2.6	Perambat gelombang elektromagnetik <i>partial discharge</i> .....	13
Gambar 2.7	Rangkaian pengganti HFCT .....	17
Gambar 3.1	Skema Pengujian yang Digunakan.....	20
Gambar 3.2	Peralatan Pengujian yang Digunakan .....	20
Gambar 3.3	Skema Pengujian Tegangan Tinggi AC .....	21
Gambar 3.4	Minyak Shell Diala B .....	22
Gambar 3.5	Elektroda Uji .....	24
Gambar 3.6	Desain iHFCT-54 .....	25
Gambar 3.7	Osiloskop SHS1000 Siglent Hanheld.....	26
Gambar 3.8	Desain <i>Loop antenna</i> .....	27
Gambar 3.9	Flowchart Pelaksanaan Pengujian .....	29
Gambar 3.10	Hasil Ploting pada Matlab 2017b untuk Gelombang Tanpa <i>Noise</i> .....	30
Gambar 3.11	Hasil ploting pada Matlab 2017b untuk gelombang dengan adanya <i>noise</i> .....	30
Gambar 3.12	Perbandingan Bentuk Gelombang Sumber Tegangan, HFCT, dan Loop Antenna untuk Validasi Partial Discharge .....	31
Gambar 3.13	Pola Gelombang PRPD .....	32
Gambar 4.1	Bentuk Gelombang Sumber Tegangan, HFCT, dan <i>Loop antenna</i> dengan jarak elektroda 1 cm. ....	34
Gambar 4.2	Bentuk Gelombang Sumber Tegangan, HFCT, dan <i>Loop antenna</i> dengan jarak elektroda 1,5 cm. ....	35
Gambar 4.3	Bentuk Gelombang Sumber Tegangan, HFCT, dan <i>Loop antenna</i> dengan jarak elektroda 2 cm. ....	36
Gambar 4.4	Gelombang yang Dideteksi Loop Antenna dengan Jarak Elektroda 1 cm dengan tegangan input 20kV .....	37

Gambar 4.5	Gelombang yang dideteksi Loop Antenna dengan Jarak Elektroda 1,5 cm dengan tegangan input 24kV.....	38
Gambar 4.6	Gelombang yang dideteksi Loop Antenna dengan Jarak Elektroda 2 cm dengan tegangan input 28kV.....	38
Gambar 4.7	Gelombang yang Dideteksi HFCT dengan Jarak Elektroda 1 cm dengan tegangan input 20kV.....	40
Gambar 4.8	Gelombang yang Dideteksi HFCT dengan Jarak Elektroda 1,5 cm dengan tegangan input 24kV.....	40
Gambar 4.9	Gelombang yang Dideteksi HFCT dengan Jarak Elektroda 2 cm dengan tegangan input 28kV.....	41
Gambar 4.10	Grafik Pembacaan Amplitudo Loop Antena Setiap Kenaikan Tegangan Suplai.....	42
Gambar 4.11	Pola ( $\phi$ -q-n) <i>Loop antenna</i> Tegangan 20 kV dengan jarak Elektroda 1 cm .....	44
Gambar 4.12	Pola ( $\phi$ -q-n) HFCT Tegangan 20 kV dengan jarak Elektroda 1 cm.....	44
Gambar 4.13	Pola ( $\phi$ -q-n) <i>Loop antenna</i> pada Tegangan 20 kV dengan jarak Elektroda 1,5 cm .....	46
Gambar 4.14	Pola ( $\phi$ -q-n) HFCT pada Tegangan 20 kV dengan jarak Elektroda 1.5 cm.....	46
Gambar 4.15	Pola ( $\phi$ -q-n) <i>Loop antenna</i> pada Tegangan 20 kV dengan jarak Elektroda 2cm .....	48
Gambar 4.16	Pola ( $\phi$ -q-n) HFCT pada Tegangan 20 kV dengan jarak Elektroda 2cm.....	48
Gambar 4.17	Pola ( $\phi$ -q-n) <i>Loop antenna</i> (a) Jarak elektroda 1cm, (b) Jarak elektroda 1,5cm, (c) Jelektroda 2cm dengan tegangan <i>input</i> 20kV .....	50
Gambar 4.18	Pola ( $\phi$ -q-n) HFCT (a) Jarak elektroda 1cm, (b) Jarak elektroda 1,5cm, (c) Jelektroda 2cm dengan tegangan <i>input</i> 20kV .....	50

## DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Perbedaan antara Rentang Frekuensi.....	14
Tabel 2.2 Spektrum Frekuensi Radio.....	15
Tabel 3.1 Spesifikasi Rangkaian Pembangkitan Tegangan Tinggi AC.	21
Tabel 3.2 Minyak Isolasi Shell Diala B[12].....	22
Tabel 3.3 Spesifikasi iHFCT-54.....	25
Tabel 4.1 Tabel jumlah titik PRPD.....	45
Tabel 4.2 Tabel jumlah titik PRPD.....	47
Tabel 4.3 Tabel jumlah titik PRPD.....	49
Tabel 4.4 Hubungan jarak elektroda dengan magnitudo PD dan jumlah titik PD.....	51

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Suatu peralatan listrik tegangan tinggi umumnya memiliki suatu isolasi yang digunakan untuk memisahkan serta melindungi bagian yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan. Bahan isolasi pada peralatan tegangan tinggi dibagi menjadi tiga yaitu padat, cair, dan gas. Pada isolasi cair, salah satu bahan yang sering digunakan pada peralatan tegangan tinggi yaitu berupa minyak. Minyak isolasi sebagai bahan isolasi cair umumnya digunakan untuk memadamkan busur api yang terjadi pada *circuit breaker* atau *transformator*. Selain itu minyak isolasi juga digunakan sebagai media pendingin. Minyak isolasi memiliki daya dielektrik yang tinggi dibandingkan bahan isolasi yang lain dan dapat memperbaiki diri sendiri (*self-healing*) apabila terjadi pelepasan muatan[1]

*Partial discharge* merupakan suatu fenomena yang terjadi pada peralatan tegangan tinggi akibat pelepasan muatan listrik yang terjadi pada bahan isolasi[2]. Pada isolasi minyak aktivitas *partial discharge* menghasilkan panas pada peralatan sehingga kualitas dielektrik minyak menurun. Sehingga dapat dikatakan bahwa *partial discharge* dapat dijadikan sebagai salah satu indikator menurunnya kekuatan dielektrik suatu bahan isolasi. Dengan menurunnya kekuatan dielektrik suatu bahan isolasi, maka akan mempengaruhi kinerja peralatan yang menggunakan bahan isolasi tersebut[3].

*Partial discharge* mengeluarkan fenomena berupa cahaya, panas, dan gelombang elektromagnetik. Pada peralatan listrik yang tertutup, fenomena *partial discharge* tidak dapat terdeteksi secara visual. Gelombang elektromagnetik yang dihasilkan *partial discharge* dapat menembus peralatan listrik sehingga bisa dideteksi dengan suatu peralatan eksternal. Salah satu contoh peralatan yang dapat mendeteksi *partial discharge* adalah antena[4].

Pada penelitian sebelumnya[4] telah menjelaskan deteksi *partial discharge* menggunakan *loop antenna*. Penelitian sebelumnya hanya membahas deteksi *partial discharge* pada isolasi gas dan tidak membahas adanya pengaruh jarak elektroda terhadap hasil deteksi.

Berdasarkan kondisi tersebut, tugas akhir ini akan membahas tentang mendeteksi *partial discharge* pada isolasi minyak menggunakan *loop antenna* dengan memperhatikan jarak elektroda yang digunakan

untuk pengujian. Variasi jarak elektroda yaitu 1cm, 1,5cm dan 2cm. Pengujian dilakukan dalam kondisi normal, *pre breakdown* dan 1 detik sebelum *breakdown*. Peralatan yang digunakan adalah pembangkitan tegangan tinggi AC dengan elektroda *point to plane* (jarum ke datar). *Loop antenna* akan dihubungkan dengan *Digital Source Oscilloscope* (DSO) sehingga hasil sinyal dapat diubah kedalam nilai tegangan dan sinyal tegangan yang dihasilkan dari *loop antenna* 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. Penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk mendeteksi *partial discharge* pada minyak isolasi dimasa mendatang.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini memiliki beberapa permasalahan diantaranya:

1. Bagaimana mendeteksi *partial discharge* menggunakan *loop antenna* pada isolasi minyak.
2. Bagaimana karakteristik sinyal yang dihasilkan *loop antenna* ketika terjadi *partial discharge* pada isolasi minyak.
3. Bagaimana pengaruh jarak elektroda terhadap fenomena *partial discharge* pada isolasi minyak.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Minyak yang digunakan adalah minyak mineral Shell Diala B dengan mengabaikan temperaturnya.
2. Suhu ruangan untuk pengujian *partial discharge* pada isolasi minyak diabaikan.
3. Desain *loop antenna* didapatkan berdasarkan referensi paper. Sehingga tidak dilakukannya pengujian lebih lanjut tentang *loop antenna*.
4. Gelombang sinyal yang diolah adalah gelombang murni yang ditangkap oleh *loop antenna* tanpa ada filter *noise* .

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah:

1. Terciptanya suatu alat yang bisa mendeteksi *partial discharge* pada isolasi minyak.

2. Mengetahui bagaimana karakteristik sinyal *partial discharge* yang dihasilkan dari *loop antenna* pada pengujian isolasi minyak.
3. Dapat menganalisa sinyal yang diterima oleh *loop antenna* saat terjadi *partial discharge* dan memvalidasi dengan HFCT.
4. Mengetahui pengaruh jarak elektroda terhadap sinyal *partial discharge*.

## 1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah :

### 1. Studi Literatur

Tahap pertama adalah mencari informasi, data dan referensi yang berkaitan dengan topik tugas akhir. Tujuan dari metode ini yaitu penguasaan materi terhadap topik yang akan dibahas pada tugas akhir.

### 2. Persiapan Media Pengujian

Tahap selanjutnya adalah melakukan persiapan media dan alat yang dipakai untuk pengujian tugas akhir. Untuk tugas akhir ini media dan alat yang digunakan adalah pembangkitan tegangan AC, Elektroda *point to plate*, minyak isolasi, *loop antenna* dan *Oscilloscope*.

### 3. Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dan pengambilan data dilakukan dengan modul pembangkitan tegangan tinggi AC yang telah disambungkan dengan elektroda *point to plate* yang direndam pada minyak isolasi. Selanjutnya menaikkan tegangan tinggi AC hingga mencapai nilai tertentu. Bunyi desis yang terjadi disekitar minyak isolasi dan elektroda menandai adanya *partial discharge*. *Loop antenna* yang dihubungkan dengan *Oscilloscope* diletakan pada jarak 20 cm dari elektroda akan menangkap sinyal *partial discharge*. Sinyal tersebut akan dilihat karakteristiknya sehingga bisa dianalisa lebih lanjut.

#### **4. Pengolahan Data**

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* Ms.Excel dan Matlab untuk mengolah sinyal tegangan yang dihasilkan *loop antenna*.

#### **5. Analisa dan Kesimpulan**

Pada tahap ini, dari pengujian yang dilakukan akan dianalisa sehingga bisa didapatkan suatu kesimpulan.

### **1.6 Sistematika Laporan**

Pembahasan Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima (5) Bab dengan sistematika sebagai berikut:

#### **Bab I Pendahuluan**

Bab ini meliputi latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, dan relevansi.

#### **Bab II Teori Dasar**

Bab ini akan membahas mengenai dasar teori yang digunakan sebagai penunjang dalam penyusunan penelitian ini. Pokok bahasan dalam bab ini antara lain isolasi cair, kekuatan dielektrik isolasi cair, proses kegagalan dielektrik cair, kegagalan pada medan non homogen, fenomena *pre breakdown*, klasifikasi frekuensi, *loop antenna*, dan HFCT.

#### **Bab III Alat Pengujian dan Metode Pengambilan data**

Pada bab ini akan dibahas mengenai peralatan apa saja yang akan diuji, desain *loop antenna*, metode pengambilan data,

#### **Bab IV Hasil Pengujian dan Analisa Data**

Pada bab ini akan membahas analisa pengaruh jarak elektroda terhadap deteksi *partial discharge* pada isolasi minyak, analisa amplitudo tegangan *loop antenna*, perbandingan bentuk gelombang antenna,

HFCT, dan sumber tegangan sebagai validasi data fenomena *partial discharge*, dan analisa PRPD

## **Bab V Penutup**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini.

### **1.7 Relevansi**

Tugas akhir ini dapat dimanfaatkan oleh beberapa pihak sebagai berikut:

1. Industri

Industri yang bergerak dibidang kelistrikan sistem tenaga dapat memanfaatkan metode pada tugas akhir ini untuk mendeteksi *partial discharge* pada peralatan. Hal tersebut dimaksudkan untuk mempermudah serta menekan biaya deteksi *partial discharge* yang saat ini masih kurang sempurna.

2. Peneliti

Hasil eksperimen pada buku tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi salah satu bahan referensi terhadap peneliti.

3. Mahasiswa

Penelitian pada buku tugas akhir ini dapat dimanfaatkan sebagai referensi penelitian serta disempurnakan lagi untuk menghasilkan metode deteksi terbaik.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **FENOMENA *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI CAIR DAN *LOOP ANTENNA***

#### **2.1 Isolasi Cair**

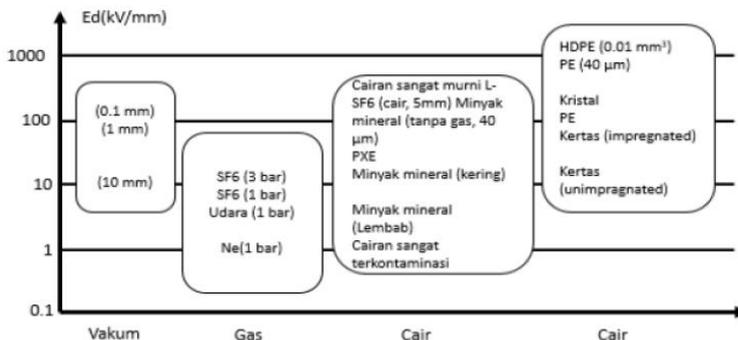
Isolasi cair merupakan suatu bahan isolasi berupa cairan yang digunakan untuk memisahkan bagian yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan. Isolasi cair memiliki sifat sebagai pemadam busur api dan digunakan sebagai media pendingin pada peralatan tegangan tinggi seperti *circuit breaker* dan transformator[5]. Salah satu contoh bahan isolasi cair adalah minyak. Sebagai bahan isolasi, minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak diharapkan akan mampu melindungi peralatan tegangan tinggi dari gangguan. Fungsi lain dari isolasi minyak adalah dapat melarutkan udara yang timbul, dan dapat meredam busur listrik yang terjadi saat gangguan.

Isolasi cair mempunyai beberapa sifat, diantaranya yaitu berupa *withstand breakdown*. Sifat tersebut memiliki arti bahwa minyak memiliki kemampuan mempertahankan kemampuan isolasi saat ada tekanan listrik yang tinggi saat beroperasi. Selain itu, sifat permitivitas relatif dari isolasi minyak ditentukan oleh kapasitansi listrik per unit volume. Berdasarkan IEC 60247, minyak memiliki disipasi yang baik jika faktor disipasinya tidak melebihi 0.005. Sifat isolasi cair juga memiliki ketentuan untuk nilai resistivitas  $> 10^9$  ohm-meter, dan untuk tegangan tinggi resistivitas  $> 10^{16}$  ohm-meter[6]

Kelebihan dari isolasi cair adalah isolasi cair memiliki kerapatan seribu kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi menurut hukum *Paschen*. Kelebihan dari isolasi cair lainnya, isolasi cair dapat memenuhi ruangan yang dilindungi melalui dirinya sendiri dan tersebar secara merata. Selain itu, isolasi cair juga memiliki sifat dapat memperbaiki kerusakan yang terjadi dalam isolasi tersebut atau yang biasa disebut sebagai *self-healing* saat terjadi *discharge*. Namun, isolasi cair memiliki kelemahan yaitu mudahnya terkontaminasi dari udara luar karena akibat peralatan yang dapat menimbulkan partikel luar masuk ke dalam isolasi cair, isolasi cair

juga membutuhkan ruang kedap air yang membutuhkan perawatan yang relatif lebih mahal dibandingkan isolasi gas.

Berdasarkan kemampuannya, isolasi cair lebih baik dibandingkan dengan isolasi udara namun isolasi cair masih dibawah isolasi padat. Perbandingan tingkat kegagalan bahan isolasi dapat dilihat pada Gambar 2.1 [2]



**Gambar 2.1** Tingkat kegagalan Bahan Isolasi

## 2.2 Kekuatan Dielektrik Isolasi Cair

Kekuatan dielektrik adalah kemampuan isolasi cair dalam menahan tegangan tinggi tanpa terjadinya kegagalan. Kekuatan dielektrik ini tergantung dari atom dan molekul yang terdapat pada isolasi cair. Dalam prakteknya kekuatan dielektrik tergantung dari material elektroda, suhu, tegangan yang diberikan, dan gas yang terdapat dalam isolasi cair. Kegagalan yang terjadi. Kekuatan dielektrik cair dapat dirumuskan sebagai :

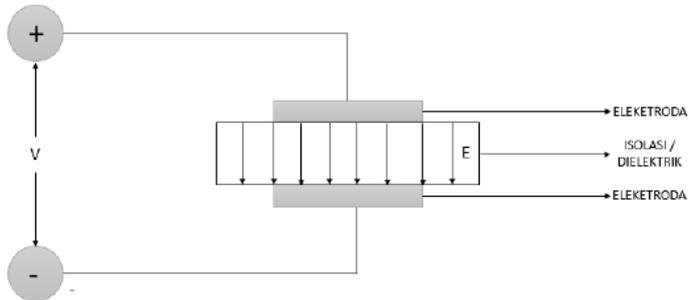
$$E = \frac{V}{d} \quad (2.1)$$

Keterangan :

E = Kuat medan elektrik

V = Tegangan tembus

d = Jarak elektroda



**Gambar 2.2** Orde Tingkat Kegagalan Material Isolasi

Gambar 2.2 merupakan ilustrasi kerja dari sebuah isolasi. Jadi, dapat diilustrasikan saat elektroda diberi tegangan ( $V$ ), maka timbul medan elektrik ( $E$ ) di dalam bahan isolasi. Medan elektrik ini memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Dengan kata lain, medan elektrik merupakan suatu beban yang menekan bahan isolasi agar berubah menjadi konduktor. Setiap bahan isolasi mempunyai batas kekuatan untuk memikul medan elektrik. Dalam hal ini disebut tembus listrik (*electrical breakdown*). Kuat medan elektrik tertinggi yang dapat dipikul suatu bahan isolasi tanpa menimbulkan bahan isolasi tersebut tembus listrik itulah yang dimaksud dengan kekuatan dielektrik

### 2.3 Proses Kegagalan Dielektrik Cair

Kegagalan isolasi cair memiliki beberapa bentuk diantaranya terdapat partikel padat, uap air, dan gelembung gas. Uap air terbentuk jika terdapat suatu dipol yang diakibatkan pelepasan molekul uap air. Partikel padat terbentuk oleh pemanasan dan tegangan lebih. Pada gelembung gas, diakibatkan oleh terbentuknya gelembung gas pada isolasi cair jadi dapat mengakibatkan kegagalan dielektrik cair.

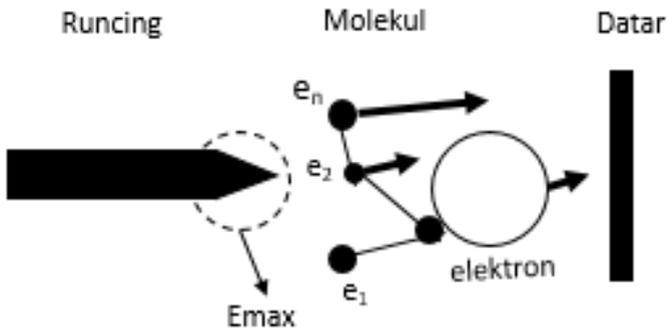
Penyebab kegagalan dielektrik cair yang paling utama adalah *lifetime* kerja suatu isolasi cair. Proses kegagalan (*breakdown*) yaitu ada suatu lintasan berbentuk cahaya dari anoda ke katoda, timbulnya gelembung udara dan bulir-bulir zat padat yang diakibatkan penguraian zat cair, adanya suara berupa letupan, dan elektroda akan mengalami kerusakan. Teori kegagalan isolasi cair memiliki tiga jenis, yaitu kegagalan zat murni (elektronik), kegagalan gelembung gas (*cavity*), dan kegagalan bola cair[7][2].

### 2.3.1 Kegagalan Zat Murni atau Kegagalan Elektronik

Proses kegagalan yang terjadi pada isolasi cair diakibatkan oleh adanya banjir elektron (*electron avalanche*). Dapat diasumsikan pancaran medan elektron dari katoda saling berlawanan dengan atom dielektrik cair. Jadi energi medan yang dihasilkan dari pergesekan antara medan electron dengan atom dielektrik cair cukup besar, maka sebagian electron akan terlepas dari atom dan akan bergerak menuju anoda bersama dengan elektron bebas. Peristiwa ini akan mengawali prosesnya kegagalan (*breakdown*).

$$chv = e E \lambda \quad (2.2)$$

Menurut persamaan 2.2,  $c$  disebut sebagai konstanta arbitrary, sedangkan  $hv$  adalah kuantum energi untuk mengionisasi molekul,  $e$  sebagai jumlah electron bebas,  $E$  adalah medan yang di terapkan, dan  $\lambda$  sebagai lintasan *free mean path*. Persamaan tersebut merupakan penulisan matematis dari penjelasan teori kegagalan elektronik, Gambar 2.3 menjelaskan proses kegagalan zat murni melalui ilustrasi.



Gambar 2.3 Kegagalan Zat Murni atau Kegagalan Elektronik

### 2.3.2 Kegagalan Gelembung Gas (*Cavity Breakdown*)

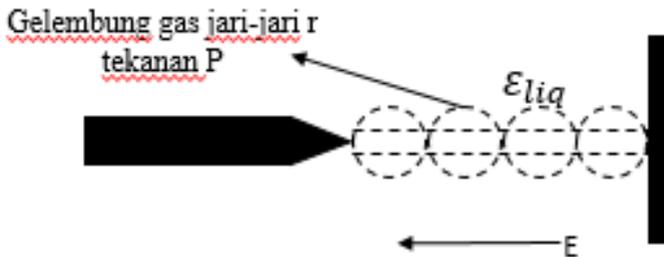
Gelembung gas (udara) pada isolasi cair terbentuk karena perubahan suhu dan tekanan, kantong gas pada permukaan elektroda tidak merata, dll. Gelembung gas pada cairan akan memanjang searah dengan medan. Tujuan dari gelembung gas memanjang searah dengan medan adalah gelembung gas berusaha membuat energi potensial minimum.

Gelembung gas yang semakin memanjang, akan saling menyambung sehingga dapat membuat kanal atau jembatan yang dapat mengakibatkan proses kegagalan.

Medan listrik yang berbentuk gelombang udara tersebut dapat dijadikan sebuah persamaan matematis, seperti pada persamaan 2.3.

$$E_b = \frac{3E_0}{\varepsilon_{liq} + 2} \quad (2.3)$$

Visualisasi kegagalan gelembung gas dapat dilihat pada Gambar 2.4. Nilai  $E_b$  (medan listrik pada gelembung udara) yang mencapai nilai sama dengan nilai medan batas dari ionisasi gas dapat mempercepat pembentukan gas karena adanya dekomposisi isolasi cair sesuai dengan persamaan 2.2.  $\varepsilon_{liq}$  merupakan permitivitas isolasi cair, dan  $E_0$  adalah medan listrik pada media cair tanpa gelembung.



**Gambar 2.4** Kegagalan Gelembung Gas (*Cavity Breakdown*)

Rumus kekuatan gagal medan pada udara ditunjukkan pada persamaan 2.4. Persamaan 2.4 menunjukkan bahwa volume gelembung yang berubah-ubah dan memanjang dapat diasumsikan konstan.

$$E_0 = \frac{1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \sqrt{\frac{2\pi\sigma(2\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{r}} \left[ \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{v_b}{2rE_0}} - 1 \right] \quad (2.4)$$

$\varepsilon_1$  sebagai permitivitas media cair,  $\varepsilon_2$  sebagai permitivitas gelembung,  $r$  sebagai jari-jari awal gelembung,  $\sigma$  adalah gaya tegangan

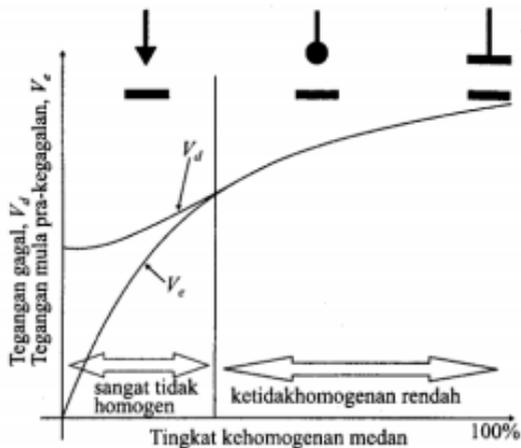
(*tension*) permukaan media cair, dan  $V_b$  sebagai jatuh tegangan dalam gelembung pada media isolasi cair.

### 2.3.3 Kegagalan Bola Cair

Kegagalan ini dapat terbentuk karena ada sebuah bola cair dari jenis cairan lain yang dapat mengakibatkan ketidakstabilan bola cair dalam medan listrik. Medan listrik dapat menyebabkan tetesan bola cair yang terdapat dalam minyak memanjang searah dengan arah medan, pada suatumedan yang tidak stabil tetesan menjadi tidak stabil. Bola cair yang tidak stabil akan memanjang, jika panjang dari bola cair mencapai dua per tiga celah elektroda maka saluran luruhan akan timbul sehingga akan timbul kegagalan total.

### 2.4 Kegagalan pada Medan Non-Homogen

Pada medan non-homogen tidak terjadi proses pra-peluahan, *pre-breakdown* langsung pada tahap kegagalan *streamer*[2]. Gambar 2.5 menunjukkan bahwa proses pra-peluahan terjadi saat ketidakseragaman medan tinggi. Pada tegangan yang lebih tinggi, proses pra-peluahan akan meningkat menuju peluahan dan berujung pada *breakdown*.

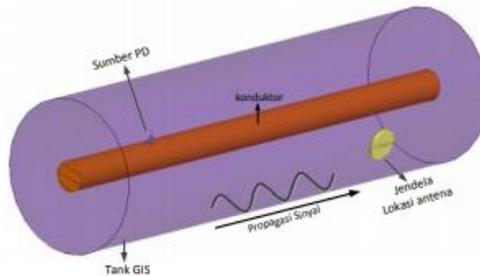


Gambar 2.5 Breakdown Voltage pada Ketidakseragaman Medan

## 2.5 Fenomena *Pre-Breakdown*

Fenomena *pre-breakdown* adalah suatu fenomena yang menunjukkan awal dari kegagalan suatu bahan isolasi. Kegagalan yang terjadi pada bahan isolasi yaitu berupa *breakdown voltage*.

*Partial discharge* merupakan salah satu dari fenomena *pre-breakdown* yang terjadi pada peralatan tegangan tinggi berupa pelepasan muatan listrik yang terjadi pada bahan isolasi maupun pada rongga karena ada suatu perbedaan potensial pada isolasi tersebut. *Partial discharge* timbul akibat kualitas bahan dielektrik yang menurun, ada suatu celah atau rongga dalam bahan dielektrik, serta kerusakan pada proses pengerjaan. *Partial discharge* yang terjadi pada isolasi minyak menghasilkan panas pada peralatan sehingga kualitas dielektrik minyak menurun. Sehingga dapat dikatakan bahwa *partial discharge* dapat dijadikan sebagai salah satu indikator menurunnya kekuatan dielektrik suatu bahan isolasi. Proses *partial discharge* terjadi akibat adanya proses ionisasi dalam minyak isolasi, yaitu elektron dan ion positif yang lepas dari sebuah atom netral. Elektron-elektron akan bergerak bebas karena disebabkan adanya pengaruh medan listrik. Hal ini mengakibatkan atom atau molekul akan berbenturan satu sama lainnya. Proses ini akan terus berlanjut sampai menghasilkan *electron avalanche*. Elektron-elektron tersebut dapat bergerak dari anoda menuju katoda.



**Gambar 2.6** Perambat gelombang elektromagnetik *partial discharge*

*Partial discharge* menghasilkan pulsa arus dalam orde nanodetik. Terbentuknya pulsa arus diikuti dengan perubahan medan listrik. Jika perubahan ini terjadi secara berkelanjutan maka akan terbentuk gelombang elektromagnetik yang merambat ke segala arah. Perambatan (propagasi) gelombang elektromagnetik sangat dipengaruhi oleh media

rambat dan bentuk geometri lingkungan sekitar[8]. Propagasi gelombang elektromagnetik dapat dimodelkan seperti gambar 2.6

Komponen frekuensi tinggi merambat sepanjang media perambatan dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya ( $c$ ). Propagasi gelombang pada media lain memiliki kecepatan yang berbeda tergantung pada nilai permitifitas relatif ( $\epsilon_r$ ), hubungan kecepatan propagsai ( $v$ ) dapat dilihat pada persamaan 2.5.

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.5)$$

## 2.6 Klasifikasi Frekuensi

Gelombang radio adalah sebuah gelombang elektromagnetik dengan kecepatan rambat 300.000km/detik dengan frekuensi kurang dari 3000GHz. Gelombang radio dapat diklasifikasikan dengan tiga macam frekuensi yaitu *low-frequency*, *medium frequency*, dan *high frequency*.

Tabel 2.1 menjelaskan tentang macam-macam perbedaan rentang frekuensi pada gelombang radio berdasarkan kelebihan dan kegunaan masing-masing rentang frekuensi. Berdasarkan ITU (*International Telecommunication Union*), frekuensi diklasifikasikan berdasarkan *range* frekuensi yang ditulis pada Tabel 2.2

**Tabel 2.1** Perbedaan antara Rentang Frekuensi

Rentang Frekuensi Perbedaan	<i>Low Frequency</i>	<i>Medium Frequency</i>	<i>High Frequency</i>
Kelebihan	Dapat merambat pada jarak yang jauh, dengan daya yang besar	Tidak rentan terhadap <i>noise</i>	Efisiensi tinggi
Kegunaan	Navigasi, komunikasi bawah laut	Jaringan radio AM	Sinyal televisi, radar, satelit

**Tabel 2.2** Spektrum Frekuensi Radio

Rentang Frekuensi	Jenis Band	Frekuensi (Hz)	Panjang Gelombang (km)
<i>Low Frequency</i>	<i>Extremely Low Frequency</i>	3-30	100.000-10.000
	<i>Super Low Frequency</i>	30-300	10.000-1000
	<i>Ultra Low Frequency</i>	300-3000	1000-100
	<i>Very Low Frequency</i>	3-30k	100-10
	<i>Low Frequency</i>	30-300k	10-1
<i>Medium Frequency</i>	<i>Medium Frequency</i>	300-3000k	1-0.1
<i>High Frequency</i>	<i>High Frequency</i>	3-30 M	0.1-0.01
	<i>Very High Frequency</i>	30-300 M	0.001-0.0001
	<i>Ultra High Frequency</i>	300-3000 M	0.00001-0.000001
	<i>Super High Frequency</i>	3-30 G	0.000001-0.0000001
	<i>Extremely High Frequency</i>	30-300 G	0.0000001-0.00000001

## 2.7 Loop antenna

*Loop antenna* adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik lalu diradiasikan ke udara begitu juga sebaliknya[9]. Definisi ini sesuai dengan standar definisi untuk antena yang dikeluarkan oleh IEEE. *Loop antenna* dirancang untuk dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik yang diinduksi *partial discharge* dalam rentang frekuensi tertentu dengan bandwidth yang lebih lebar. Frekuensi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan *partial discharge* tergantung dari struktur elektroda dan insulasi antara elektroda. *Loop antenna* memiliki kelebihan yaitu karakteristik yang baik, kecil, sederhana dan murah.

Antena loop adalah antena yang berupa *loop* terbuat dari kawat, tabung, atau konduktor listrik lain yang bagian ujungnya terkoneksi dengan saluran transmisi. Antena *loop* termasuk ke dalam antena omnidireksional, omnidireksional adalah antena yang memiliki pancaran ke berbagai arah dengan energi pada suatu bidang yang besar. Kelebihan dari antena *loop* adalah memiliki karakteristik yang baik, kecil, sederhana, dan murah.

Antena dapat mengirim dan menerima sinyal. Antena dapat dibuat dari lilitan yang dapat berfungsi sebagai *transmitter* dan *receiver* yang dapat menangkap induksi magnetik. Pada pengujian kali ini antena digunakan untuk menerima gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh *partial discharge*. Ketika medan magnet melewati kumparan pada antena, maka akan menghasilkan tegangan induksi yang melewati lilitan[10]. Berdasarkan hukum faraday, Medan magnet yang melewati permukaan yang dibatasi oleh jalur tertutup menginduksi tegangan di sekitar loop seperti yang dinyatakan oleh persamaan 2.6 dan 2.7.

$$V_{ind} = -N \frac{d\Psi}{dt} \quad (2.6)$$

$$\Psi = \int B \times dS \quad (2.7)$$

Dimana:

$N$  = Banyaknya lilitan

$\Psi$  = Fluks Magnet

$B$  = Induksi Magnet

$S$  = Area Permukaan

## 2.8 High Frequency Current Transformer

HFCT adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengubah arus menjadi tegangan dengan karakteristik yang sama. Pada tegangan tinggi. HFCT juga dapat digunakan untuk mendeteksi sinyal *partial discharge*. Arus sekunder menghasilkan karakteristik yang sama dengan arus primer, sehingga *partial discharge* yang terjadi pada arus primer dapat dideteksi pada alat pengukur. HFCT digunakan sebagai sensor *partial discharge* yang terjadi pada kabel ataupun perelatan tegangan tinggi yang terhubung pada trafo. HFCT diletakan pada kabel ground yang terletak pada switchgear, peralatan tegangan tinggi, atau kotak terminal pada trafo[11].

HFCT terbuat dari bahan ferit dan lilitan sekunder yang dilapisi dengan aluminium. Kabel yang akan diukur dilewatkan ditengah tengah

inti HFCT. HFCT bekerja dengan prinsip elektromagnetik. Arus kabel primer menghasilkan fluks elektromagnetik. Fluks magnet diterima oleh inti ferit. Fluks magnet menghasilkan nilai arus dan tegangan.

$$V_o = \frac{Z_m \times Z_b}{n \times (R_2 + jX_2 + Z_b + Z_m)} \times I_1 \quad (2.5)$$

Dimana:

$V_o$  = Tegangan *Output*

$I_1$  = Arus Primer

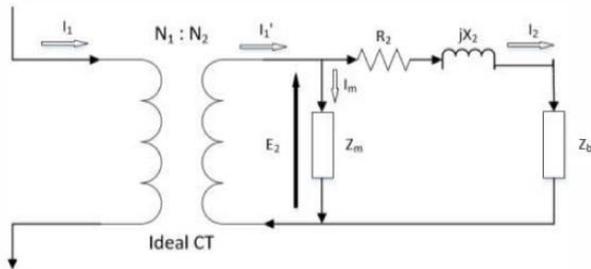
$N$  = Jumlah lilitan sisi sekunder

$R_2$  = Tahanan sisi sekunder

$L_2$  = Induktansi sisi sekunder

$Z_m$  = Impedansi magnetisasi

$Z_b$  = Impedansi beban



**Gambar 2.7** Rangkaian pengganti HFCT

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB III**

### **ALAT PENGUJIAN DAN METODE PENGAMBILAN DATA**

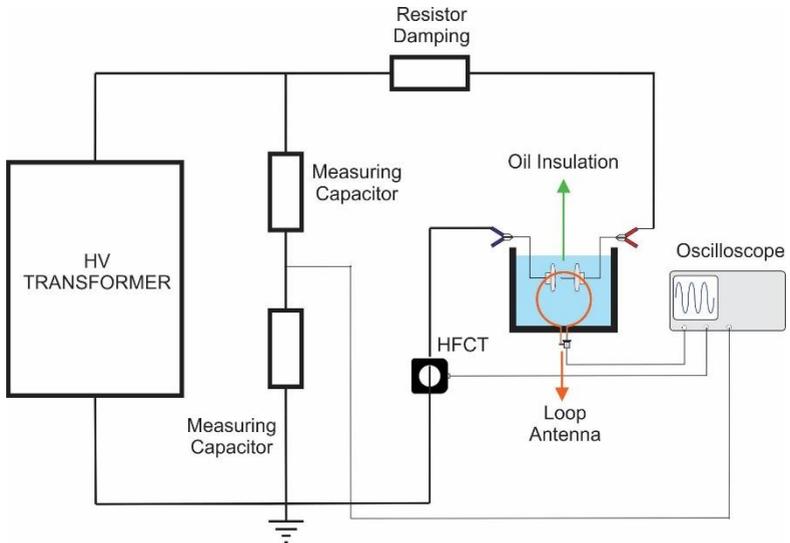
Pada bab ini akan membahas tentang peralatan yang akan digunakan pada saat pengujian untuk mendapatkan fenomena *partial discharge* yang ditangkap oleh *loop antenna* pada minyak isolasi. Selanjutnya akan membahas tentang desain dari *loop antenna* dan proses akuisisi data.

#### **3.1 Alat Pengujian**

Untuk mendeteksi fenomena *partial discharge* pada isolasi minyak menggunakan *loop antenna* dibutuhkan beberapa peralatan uji yang berupa perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras digunakan untuk pengujian dan pengambilan data sedangkan perangkat lunak digunakan untuk mengolah hasil data yang telah didapatkan.

Perangkat keras yang digunakan adalah pembangkitan tegangan tinggi AC, elektroda *point to plane*, isolasi minyak, *loop antenna*, HFCT dan *Oscilloscope*. Sedangkan perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data adalah Ms..Excel 2016 dan Matlab 2017b.

Pembangkitan tegangan tinggi AC akan dihubungkan dengan elektroda *point to plane* yang telah direndam pada isolasi minyak. *Loop antenna* akan diletakan dengan jarak tertentu didekat isolasi minyak untuk mendeteksi fenomena *partial discharge*. HFCT akan digunakan untuk mendeteksi sinyal *partial discharge*. *Loop antenna* dan HFCT akan dihubungkan dengan *oscilloscope* untuk mendapatkan nilai fasa yang sama. Sinyal yang didapatkan akan disimpan dalam *flashdisk* sehingga datanya bisa diolah melalu *software* Ms. Excel dan Matlab. 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.



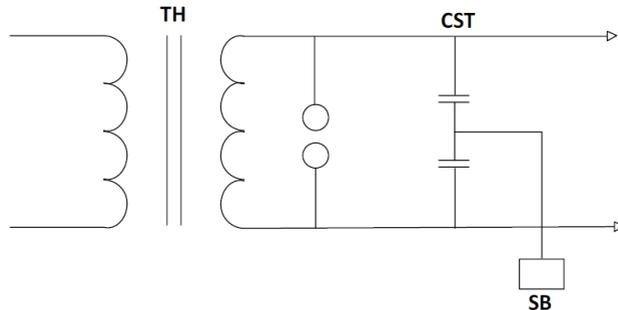
**Gambar 3.1** Skema Pengujian yang Digunakan



**Gambar 3.2** Peralatan Pengujian yang Digunakan

### 3.1.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Pembangkitan tegangan tinggi AC yang digunakan adalah pembangkit tegangan tinggi model Hafley yang berada pada Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro ITS. Terdapat 4 komponen utama pembangkit tegangan tinggi model Hafley



**Gambar 3.3** Skema Pengujian Tegangan Tinggi AC

yaitu *High Voltage Transformer* (TH) 80kV, *Capacitive Voltage Transformer* (CST), *Control Box* (SB) dan *Grounding*. *High Voltage Transformer* berfungsi untuk menaikkan tegangan keluaran. *High Voltage Transformer* memiliki perbandingan tegangan sebesar 220v/80kV yang artinya jika tegangan *input* sebesar 220 V maka tegangan *output* sebesar 80kV. *Capacitive Voltage Transformer* merupakan 2 buah kapasitor yang berfungsi sebagai rangkaian pembagi tegangan untuk menurunkan tegangan ekstra tinggi menjadi tegangan rendah sehingga bisa dibaca oleh *control box*. *Control Box* berfungsi sebagai pengatur besarnya tegangan yang dikeluarkan oleh trafo. Tegangan dapat diatur dari 0 – 80kV. Pada Gambar 3.3 menampilkan skema pembangkitan tegangan tinggi AC. Secara rinci spesifikasi rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC pada pengujian ini terdapat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Spesifikasi Rangkaian Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

High Voltage Transformer (TH)	80 kV rms, 5kVA
Capacitor Divider (CST)	80kV rms, 400 kV Impuls, 500 pF
Measuring resistor with test jack	200 kV DC, 800 M $\Omega$

### 3.1.2 Minyak Isolasi

Pada tugas akhir ini minyak isolasi yang digunakan adalah minyak shell diala b dengan kondisi minyak yang baru. Minyak shell diala b merupakan jenis minyak mineral yang sering digunakan untuk bahan isolasi pada transformator. Minyak shell diala b memiliki sifat dielektrik yang baik serta memiliki transfer panas yang efisien. Minyak yang digunakan sebanyak 2 Liter dan dimasukkan dalam wadah berbentuk kubus yang terbuat dari bahan akrilik setebal 3mm dengan dimensi 14x14x15 cm. Gambar 3.4 menunjukkan dokumentasi gambar minyak shell diala b.



**Gambar 3.4** Minyak Shell Diala B

**Tabel 3.2** Minyak Isolasi Shell Diala B[12]

<b>Properties</b>	<b>ASTM Method</b>	<b>Spesification</b>	<b>Typical Values</b>
Appearance	-	Clear Sediment Free ParticularFree	Clear Sediment Free ParticularFree
Density, kg/dm <sup>3</sup> @20°C	ISO 3675	0,895 max	0,866
PMCC Flash Point, °C	ISO 2719	143 min	146

**Tabel lanjutan dari Tabel 3.2**

<b>Properties</b>	<b>ASTM Method</b>	<b>Spesification</b>	<b>Typical Values</b>
Interfacial Tension, dynes/cm @25°C	ISO 6295	40 min <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup> 40 max bulk <sup>3</sup>	25 16
Anti-oxidant Content	IEC 666	ND <sup>4</sup>	ND <sup>4</sup>
<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 *point to plane* (jarum ke datar) dengan diameter jarum sebesar 1mm. Bahan dari elektroda adalah *stainless steel*. Dalam

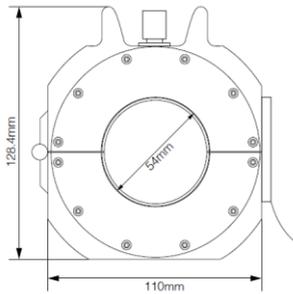
pengujian elektroda jarum dihubungkan dengan sumber positif dan elektroda datar dihubungkan pada sumber negatif. Jarak antara elektroda jarum dan datar untuk pengujian adalah 1 cm, 1,5 cm, dan 2cm. Hal ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh jarak elektroda terhadap fenomena *partial discharge* pada isolasi minyak. Gambar 3.5 adalah gambar elektroda yang dugunkan dalam pengujian ini.



**Gambar 3.5** Elektroda Uji

#### 3.1.4 HFCT

HFCT adalah suatu peralatan yang digunakan untuk keperluan pengukuran dalam sistem tenaga listrik tenaga tinggi. HFCT yang digunakan adalah iHFCT-54 yang diproduksi oleh Innovit. HFCT dirancang khusus untuk mendeteksi fenomena *partial discharge* dalam bentuk sinyal arus yang mengalir pada kabel pentanahan (*earth conductor*). HFCT terbuat dari bahan ferit yang kokoh dan dilapisi dengan bodi aluminium sehingga memberikan ketahanan terhadap *Radio Frequency* sehingga HFCT bisa bekerja optimal dalam keadaan yang memiliki *noise* banyak sekalipun. HFCT didesain dengan engsel dan kait pelepas sehingga bisa lebih mudah dan lebih cepat dalam pemasangannya. Pada Gambar 3.6 menunjukkan desain dari HFCT. Spesifikasi HFCT bisa dilihat pada Tabel 3.2.



**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	$I_{pp} \mathbf{1\ mA\ (P - P)}, V_{out} \geq \mathbf{16\ mV\ (P - P)}$
Load Impedance	50 $\Omega$
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

Osiloskop merupakan alat ukur elektronika yang digunakan untuk memproyeksikan suatu sinyal listrik dan frekuensi menjadi bentuk gelombang sehingga mudah untuk dianalisa dan dipelajari. Pada pengujian kali ini osiloskop yang digunakan adalah osiloskop digital model SHS1000 Siglent Hanheld. Osiloskop ini mampu melakukan pembacaan sampling sebesar 1 GSa/s. Pada pengujian kali ini osiloskop dihubungkan dengan *loop antenna*, HFCT dan pembangkit tegangan AC sehingga bisa menangkap aktivitas *partial discharge* dalam bentuk gelombang sehingga bisa dipelajari dan dianalisa. Hasil gelombang akan disimpan dalam format .csv sehingga bisa diolah lebih lanjut.



**Gambar 3.7** Osiloskop SHS1000 Siglent Hanheld

### 3.2 Rancangan Loop Antenna

*Loop antenna* didesain untuk bisa mendeteksi fenomena *partial discharge* yang terjadi pada isolasi minyak. Berdasarkan referensi jurnal, fenomena *partial discharge* terjadi pada rentang frekuensi 50-800 MHz [13]. Berdasarkan referensi jurnal yang ada dan setelah melakukan pertimbangan lebih lanjut maka *Loop antenna* didesain pada frekuensi 200 Mhz. *Loop antenna* terbuat dari bahan tembaga dengan diameter sebesar 1mm. Pada persamaan 3.1 menunjukkan hubungan antara frekuensi, panjang gelombang dan kecepatan koefisien cahaya.

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

Dengan menggunakan persamaan 3.1, panjang gelombang sinyal 200 MHz dapat dengan mudah diperoleh 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* umumnya memiliki keliling kurang dari sepersepuluh dari panjang gelombang, dalam hal ini akan ada distribusi arus yang relatif konstan di sepanjang konduktor, sehingga 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*

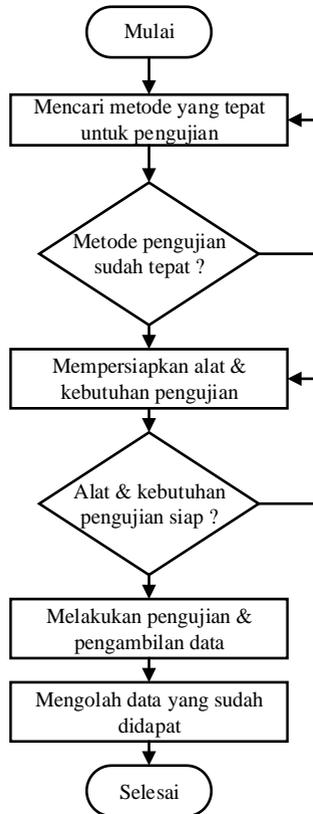
### 3.3 Pengambilan Data dan Akuisisi Data

#### 3.3.1 Mekanisme Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro, ITS. Pengambilan data dilakukan dengan merangkai pembangkit tegangan tinggi AC yang dihubungkan dengan elektroda *point to plane* yang direndam dalam minyak isolasi. *loop antenna*, HFCT dan sumber tegangan akan dihubungkan dengan

osiloskop dengan nilai *attenuation probe 10x*. Variasi jarak elektroda yaitu 1 mm, 1,5 mm, dan 2mm. Pemilihan elektroda bertujuan untuk memperlihatkan pengaruh jarak elektroda terhadap aktivitas *partial discharge*.

Proses pengambilan data dilakukan pada kondisi normal, *pre breakdown*, dan 1 detik sebelum *breakdown*. Kondisi normal yaitu ketika pembangkitan tegangan tinggi AC pertama kali dihidupkan dan belum terjadinya fenomena *partial discharge*. Kondisi *pre breakdown* adalah kondisi dimana pertama kali terjadinya aktivitas *partial discharge* yang ditandai dengan terdengarnya bunyi desis yang berasal dari kedua elektroda. Kondisi 1 detik sebelum *breakdown* adalah kondisi dimana fenomena *partial discharge* yang terjadi yaitu suara desis yang terdengar semakin keras diikuti dengan timbulnya gelembung dan cahaya (*corona*) disekitar elektroda. Pada kondisi ini menandakan isolasi minyak hampir tidak mampu lagi untuk menahan tegangan yang diberikan. Setelah melakukan setup objek pengujian seperti yang dijelaskan pada sub bab 3.1 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 3.9



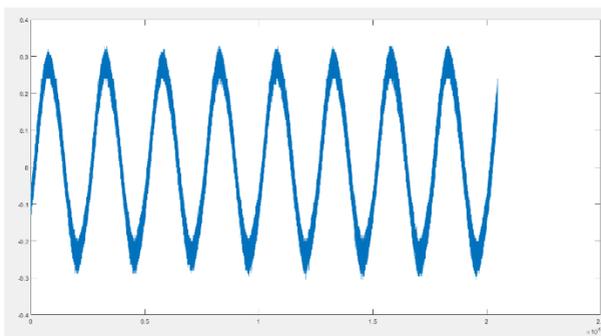
**Gambar 3.9** Flowchart Pelaksanaan Pengujian

### 3.3.2 Akuisisi Data

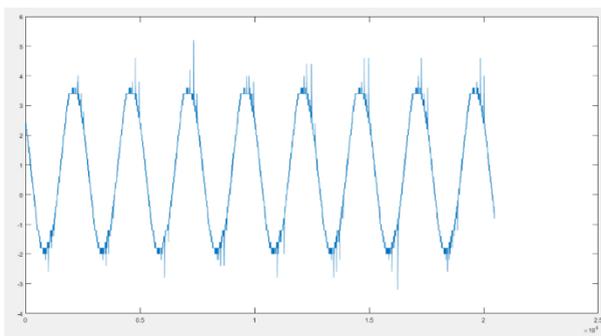
Proses akuisisi data merupakan serangkaian pemrosesan data dari data mentah yang telah disimpan osiloskop menjadi sebuah data yang bisa ditampilkan dalam bentuk gelombang. Proses akuisisi data menggunakan software Ms. Excel 2016 dan Matlab 2017b.

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 SHS yang merupakan penamaan *default* dari osiloskop. Format file .csv berisikan data dari sumber tegangan, HFCT, dan *loop*

*antenna* dengan deretan angka sebanyak 20480 data. Langkah selanjutnya adalah menggabungkan file SHS menjadi satu file dengan tipe format *.xlsx* sehingga akan lebih mudah melakukan *ploting* pada software Matlab 2017b. Setelah data dipilih maka data akan ditampilkan pada *workspace* software Matlab 2017b. Selanjutnya data yang telah di *import* dijadikan kedalam bentuk gelombang sehingga data bisa dianalisa lebih lanjut. Hasil *ploting* dari matlab dapat dilihat pada gambar 3.10 dan gambar 3.11. Gambar 3.10 menunjukkan gelombang tanpa adanya *noise* dan Gambar 3.11 menunjukkan gelombang dengan adanya *noise*.



**Gambar 3.10** Hasil *Ploting* pada Matlab 2017b untuk Gelombang Tanpa *Noise*

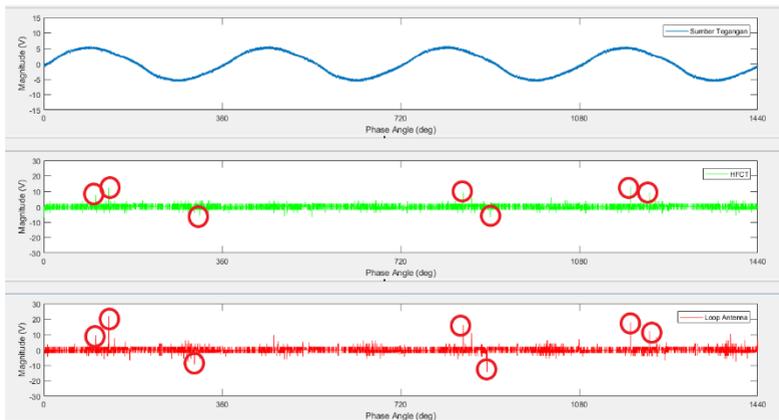


**Gambar 3.11** Hasil *ploting* pada Matlab 2017b untuk gelombang dengan adanya *noise*

### 3.3.3 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 3.12 *noise* yang dihasilkan oleh sumber tegangan terletak pada sudut fasa yang berbeda dengan *noise* yang ada pada HFCT. Jadi *noise* pada sumber tegangan bukan merupakan fenomena *partial discharge*. *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*.



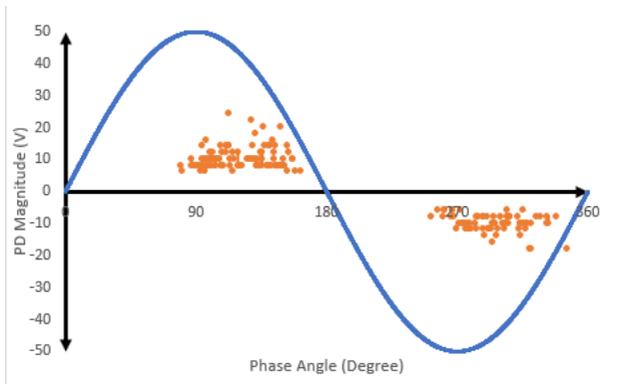
**Gambar 3.12** Perbandingan Bentuk Gelombang Sumber Tegangan, HFCT, dan Loop Antenna untuk Validasi Partial Discharge

### 3.3.4 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 2017b.

Pulsa pulsa PD pada hasil pengujian direpresentasikan dengan pola  $\phi$ -q-n. Simbol  $\phi$  adalah sudut *fasa* dimana PD terjadi, q adalah muatan PD, dan n adalah jumlah pulsa PD. Sumbu x menyatakan sudut fasa 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. Gambar 3.13 merupakan gelombang yang sudah diolah dalam bentuk gelombang PRPD.



**Gambar 3.13** Pola Gelombang PRPD

## BAB IV

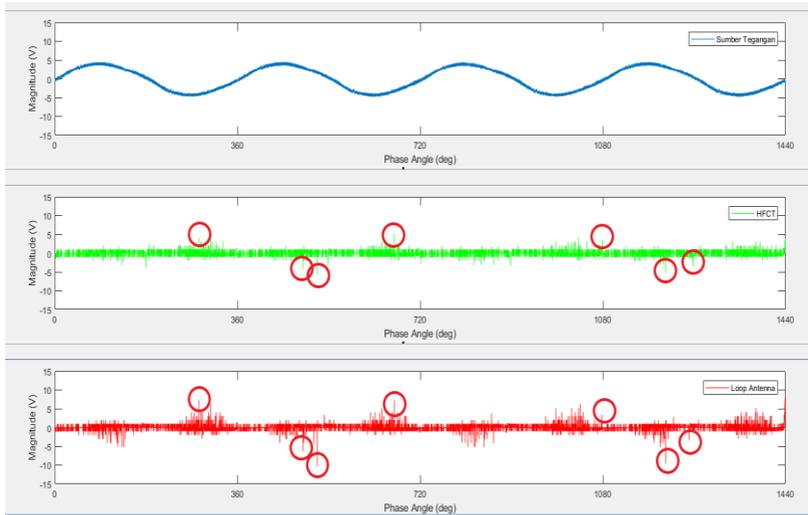
### HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

#### 4.1 Perbandingan Bentuk Gelombang Antena, HFCT dan Sumber Tegangan sebagai Validasi Data Fenomena *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*. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak elektroda 1cm, 1,5cm, dan 2cm dengan masing masing tegangan input yaitu 20kV, 24kV, dan 28kV.

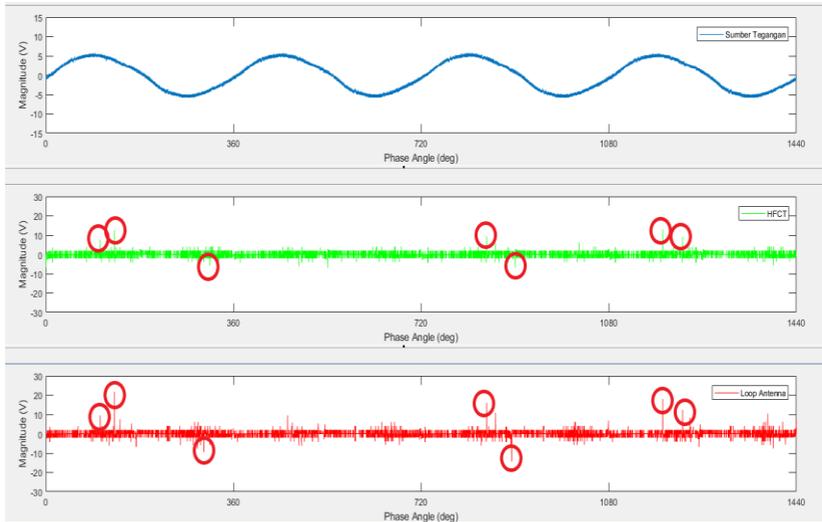
Bentuk gelombang dari sumber tegangan akan dijadikan sebagai acuan bahwa pada gelombang tersebut tidak ada *partial discharge* yang terjadi. Gelombang yang ditangkap oleh HFCT akan dijadikan sebagai acuan bahwa pada gelombang tersebut terjadi fenomena *partial discharge*. Bentuk gelombang dari *loop antenna* akan dibandingkan dengan gelombang sumber tegangan dan HFCT untuk memvalidasi apakah *loop antenna* mampu untuk menangkap fenomena *partial discharge*.

Pada gambar 4.1 pengujian dilakukan dengan jarak elektroda sejauh 1cm dengan tegangan input 20kV. Terlihat pada gelombang sumber tegangan (gelombang biru) memiliki magnitudo sebesar 4,4 Volt dan tidak terlihat adanya *noise* yang terjadi. Pada gelombang yang ditangkap oleh HFCT (gelombang hijau) mendeteksi adanya *noise* yang terjadi dengan nilai magnitudo tertinggi sebesar 5.58 Volt. Pada gelombang yang ditangkap *loop antenna* (gelombang merah) memiliki nilai magnitudo tertinggi sebesar 10,46 Volt. Bentuk gelombang yang ditangkap oleh HFCT dan *loop antenna* memiliki pola gelombang yang hampir sama dan posisi terjadinya *noise* terletak pada sudut fasa yang sama.



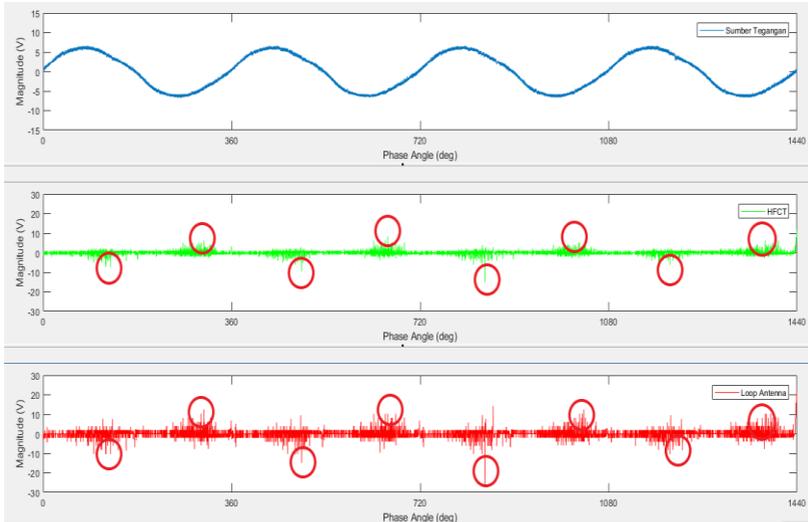
**Gambar 4.1** Bentuk Gelombang Sumber Tegangan, HFCT, dan *Loop antenna* dengan jarak elektroda 1 cm.

Pada gambar 4.2 pengujian dilakukan dengan jarak elektroda sejauh 1,5cm dengan tegangan input 24kV. Terlihat pada gelombang sumber tegangan (gelombang biru) memiliki magnitudo sebesar 5,8 Volt dan tidak terlihat adanya *noise* yang terjadi. Pada gelombang yang ditangkap oleh HFCT (gelombang hijau) mendeteksi adanya *noise* yang terjadi dengan nilai magnitudo tertinggi sebesar 12,96 Volt. Pada gelombang yang ditangkap *loop antenna* (gelombang merah) memiliki nilai magnitudo tertinggi sebesar 21,79 Volt. Bentuk gelombang yang ditangkap oleh HFCT dan *loop antenna* memiliki pola gelombang yang hampir sama dan posisi terjadinya *noise* terletak pada sudut fasa yang sama.



**Gambar 4.2** Bentuk Gelombang Sumber Tegangan, HFCT, dan *Loop antenna* dengan jarak elektroda 1,5 cm.

Pada gambar 4.3 pengujian dilakukan dengan jarak elektroda sejauh 2cm dengan tegangan input 28kV. Terlihat pada gelombang sumber tegangan (gelombang biru) memiliki magnitudo sebesar 6,6 Volt dan tidak terlihat adanya *noise* yang terjadi. Pada gelombang yang ditangkap oleh HFCT (gelombang hijau) mendeteksi adanya *noise* yang terjadi dengan nilai magnitudo tertinggi sebesar 15,19 Volt. Pada gelombang yang ditangkap *loop antenna* (gelombang merah) memiliki nilai magnitudo tertinggi sebesar tertinggi 26,1 Volt. Bentuk gelombang yang ditangkap oleh HFCT dan *loop antenna* memiliki pola gelombang yang hampir sama dan posisi terjadinya *noise* terletak pada sudut fasa yang sama.



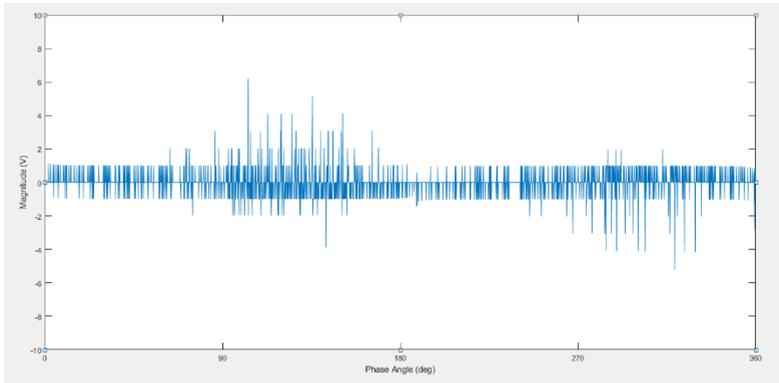
**Gambar 4.3** Bentuk Gelombang Sumber Tegangan, HFCT, dan *Loop antenna* dengan jarak elektroda 2 cm.

Berdasarkan pengujian yang ditampilkan pada gambar 4.1, gambar 4.2, dan gambar 4.3 *Noise* yang terlihat pada gelombang yang dihasilkan HFCT dan *loop antenna* terlihat pada sudut *fasa* yang sama. Dari ketiga 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*.

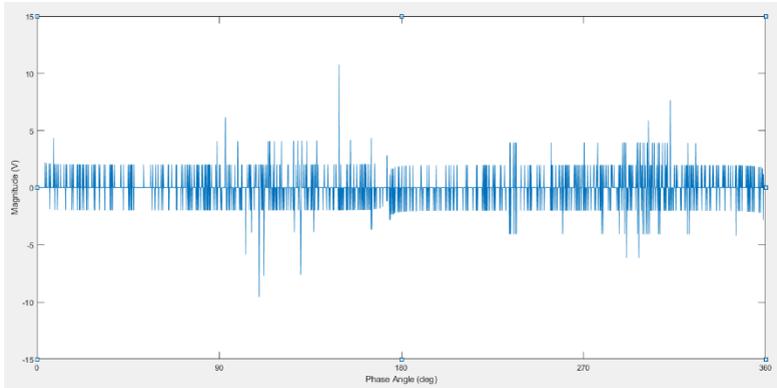
#### **4.2 Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Deteksi *Partial discharge* oleh Loop Antenna.**

*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.

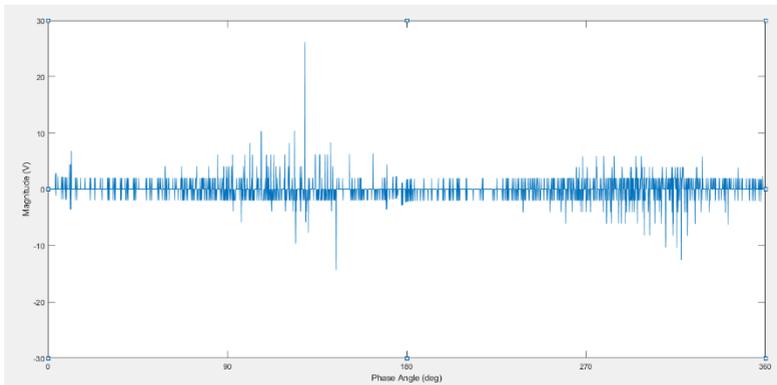
Pada Gambar 4.4 pengujian dilakukan dengan jarak elektroda sejauh 1cm. Berdasarkan pengujian nilai tegangan *input* maksimum yang bisa diberikan adalah 20 kV. Nilai magnitudo tertinggi yang ditangkap oleh *loop antenna* sebesar 6,2 Volt. Pada Gambar 4.5 pengujian dilakukan dengan jarak elektroda sejauh 1,5cm. Berdasarkan pengujian nilai tegangan *input* maksimum yang bisa diberikan adalah 24 kV. Nilai magnitudo tertinggi yang ditangkap oleh *loop antenna* sebesar 10,75 Volt. Pada Gambar 4.6 pengujian dilakukan dengan jarak elektroda sejauh 2cm. Berdasarkan pengujian nilai tegangan *input* maksimum yang bisa diberikan adalah 28 kV. Nilai magnitudo tertinggi yang ditangkap oleh *loop antenna* sebesar 26,1 Volt.



**Gambar 4.4** Gelombang yang dideteksi *Loop Antenna* dengan Jarak Elektroda 1cm dengan tegangan *input* 20kV



**Gambar 4.5** Gelombang yang dideteksi *Loop Antenna* dengan Jarak Elektroda 1,5cm dengan tegangan *input* 24kV



**Gambar 4.6** Gelombang yang dideteksi *Loop Antenna* dengan Jarak Elektroda 2cm dengan tegangan *input* 28kV

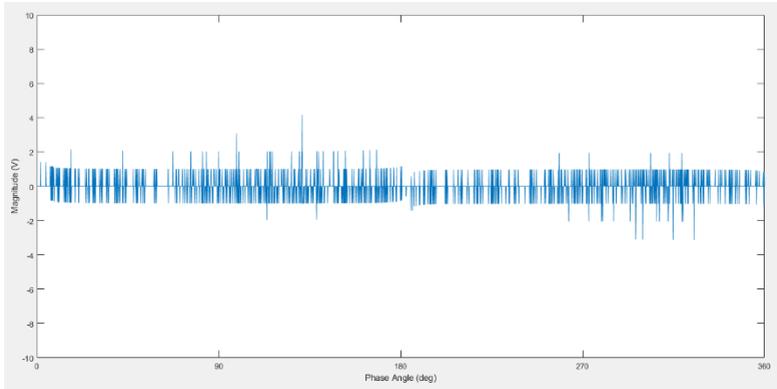
Dari hasil sinyal gelombang yang ditangkap oleh *loop antenna* pada gambar 4.4, gambar 4.5, dan gambar 4.6 menampilkan hubungan antara tegangan *input* dengan amplitudo gelombang tegangan yang dideteksi oleh *loop antenna* pada isolasi minyak. Semakin jauh jarak elektroda semakin besar juga tegangan *input* sehingga magnitudo tegangan yang dideteksi oleh *loop antenna* semakin besar. Kenaikan nilai magnitudo

pada gelombang disertai dengan adanya *noise*. Munculnya *noise* pada sinyal gelombang menandakan terjadinya fenomena *partial discharge*. Seiring dengan peningkatan tegangan *input* maka *noise* yang terlihat semakin banyak. *Noise* yang semakin banyak diikuti timbulnya gelembung dan cahaya (*corona*) disekitar elektroda. Pada kondisi ini menandakan isolasi minyak hampir tidak mampu lagi untuk menahan tegangan yg diberikan.

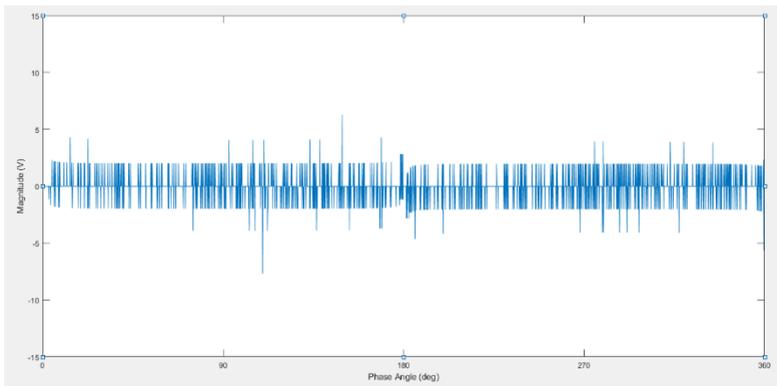
#### **4.3 Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Deteksi *Partial discharge* oleh HFCT.**

*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. Pada saat tegangan input semakin besar maka arus bocor yang terjadi juga semakin besar. Deteksi *partial discharge* dapat dilakukan dengan cara mendeteksi arus bocor dengan menggunakan HFCT.

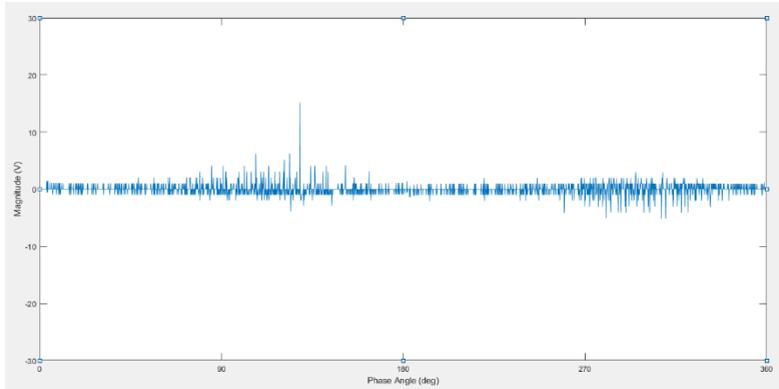
Pada Gambar 4.7 pengujian dilakukan dengan jarak elektroda sejauh 1cm. Berdasarkan pengujian nilai tegangan *input* maksimum yang bisa diberikan adalah 20 kV. Nilai magnitudo tertinggi yang ditangkap oleh loop antenna sebesar 4,16 Volt. Pada Gambar 4.8 pengujian dilakukan dengan jarak elektroda sejauh 1,5cm. Berdasarkan pengujian nilai tegangan *input* maksimum yang bisa diberikan adalah 24 kV. Nilai magnitudo tertinggi yang ditangkap oleh loop antenna sebesar 7,7 Volt. Pada Gambar 4.9 pengujian dilakukan dengan jarak elektroda sejauh 2cm. Berdasarkan pengujian nilai tegangan *input* maksimum yang bisa diberikan adalah 28 kV. Nilai magnitudo tertinggi yang ditangkap oleh loop antenna sebesar 15,19 Volt.



**Gambar 4.7** Gelombang yang dideteksi HFCT dengan Jarak Elektroda 1 cm dengan tegangan *input* 20kV



**Gambar 4.8** Gelombang yang dideteksi HFCT dengan Jarak Elektroda 1,5 cm dengan tegangan *input* 24kV



**Gambar 4.9** Gelombang yang dideteksi HFCT dengan Jarak Elektroda 2 cm dengan tegangan *input* 28kV

Dari hasil sinyal gelombang yang ditangkap oleh HFCT pada gambar 4.7, gambar 4.8, dan gambar 4.9 menampilkan hubungan antara tegangan input dengan amplitude gelombang tegangan yang dideteksi oleh HFCT pada isolasi minyak. Semakin besar tegangan input maka semakin besar pula arus bocor yang terjadi. Nilai arus bocor akan dirubah kedalam bentuk tegangan oleh HFCT. Kenaikan nilai magnitudo pada gelombang disertai dengan adanya *noise*. Munculnya *noise* pada sinyal gelombang menandakan terjadinya fenomena *partial discharge*. Seiring dengan peningkatan tegangan input maka *noise* yang terlihat semakin banyak. *Noise* yang semakin banyak diikuti timbulnya gelembung dan cahaya (*corona*) disekitar elektroda. Pada kondisi ini menandakan isolasi minyak hampir tidak mampu lagi untuk menahan tegangan yg diberikan.

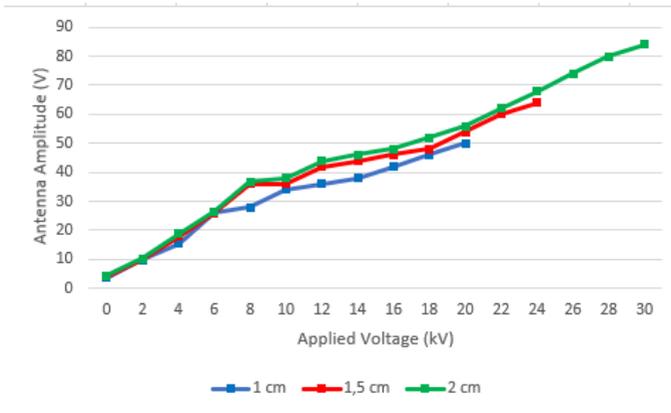
#### 4.4 Analisa Magnitudo Tegangan *Loop antenna*

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 *point to plane* yang telah direndam kedalam minyak isolasi. Jarak elektroda yang digunakan adalah 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm. Antena 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* dapat dilihat pada Gambar 4.10. 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



**Gambar 4.10** Grafik Pembacaan Amplitudo Loop Antena Setiap Kenaikan Tegangan Suplai

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.

## 4.5 Analisa PRPD

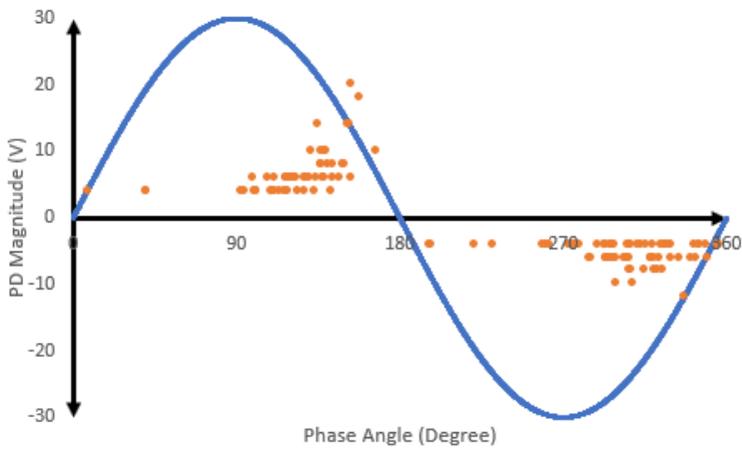
Analisa PRPD (*Phase Resolved Partial discharge*) adalah suatu metode yang mengukur dan merekam sinyal *partial discharge* pada siklus fasa tegangan yang berbeda. Analisa PRPD ini digunakan dalam menghitung jumlah peluahan yang terjadi selama periode waktu tertentu. Analisa ini dilakukan dengan cara merepresentasikan bentuk pulsa gelombang menjadi bentuk titik sehingga memudahkan dalam menganalisa. Analisa PRPD hanya dapat dilakukan pada kondisi *pre breakdown*. Pada saat tegangan dinaikan maka elektron akan semakin banyak berkumpul pada ujung elektroda jarum sehingga lama kelamaan isolasi minyak tidak mampu lagi menahan dan terjadi *breakdown*. Pada ujung elektroda akan terjadi proses ionisasi. *Streamer* positif dan *streamer* negatif akan dibentuk berdasarkan polaritas tegangan yang diberikan. *Streamer* tersebut merupakan *corona discharge*. *Corona discharge* tetap terjadi hingga *transient activity* berhenti dimana *discharge* tersebut menjadi *self sustained* dan cahaya akan muncul mendekati anoda [7]. Pada saat tegangan dinaikan, jumlah *streamer* akan berkembang lebih banyak dan saluran *streamer* dapat tumbuh lebih lama. Medan listrik yang mengelilingi pada ujung elektroda runcing akan meningkat seiring dengan tegangan yang diberikan sehingga menyebabkan terjadinya lebih banyak pulsa PD.

### 4.5.1 Analisa PRPD oleh *Loop antenna* dan HFCT Jarak Elektroda 1cm pada Isolasi Minyak.

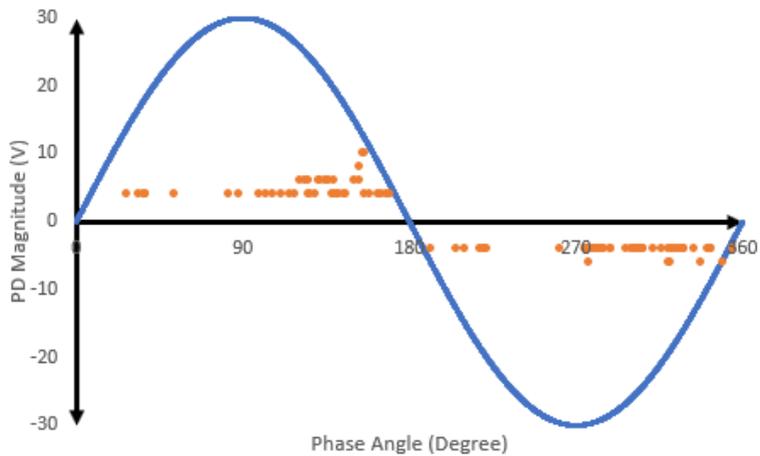
Pulsa pulsa PD pada hasil pengujian direpresentasikan dengan pola  $\phi$ -q-n. Simbol  $\phi$  adalah sudut fasa dimana PD terjadi, q adalah muatan PD, dan n adalah jumlah pulsa PD. Sumbu x menyatakan sudut fasa dan sumbu y menyatakan magnitudo PD. Pola PD ini didapatkan dari 7 cycle gelombang dimana setiap titik mempresentasikan pulsa PD.

Gambar 4.11 menunjukkan pola PD yang ditangkap *loop antenna* pada jarak elektroda 1 cm dengan tegangan 20kV. *Corona discharge* siklus positif terjadi pada sudut fasa  $8^\circ$  sampai  $167^\circ$  sedangkan siklus negatif terjadi pada sudut fasa  $197^\circ$  sampai  $345^\circ$ . Nilai pulsa PD tertinggi yaitu 20 Volt dengan jumlah titik PRPD adalah 119.

Gambar 4.12 menunjukkan pola PD yang ditangkap oleh HFCT pada jarak elektroda 1 cm dengan tegangan 20kV. *Corona discharge* siklus positif terjadi pada sudut fasa  $27^\circ$  sampai  $170^\circ$  sedangkan siklus negatif terjadi pada sudut fasa  $191^\circ$  sampai  $350^\circ$ . Nilai pulsa PD tertinggi yaitu 10 Volt dengan jumlah titik PRPD adalah 93.



**Gambar 4.11** Pola ( $\phi$ -q-n) *Loop antenna* Tegangan 20 kV dengan jarak Elektroda 1 cm



**Gambar 4.12** Pola ( $\phi$ -q-n) HFCT Tegangan 20 kV dengan jarak Elektroda 1 cm

**Tabel 4. 1** Tabel jumlah titik PRPD

<b>Peralatan</b>	<b>Jumlah Titik PD</b>	<b>Magnitudo Tertinggi</b>
<i>Loop antenna</i>	119	20 Volt
HFCT	93	10 Volt

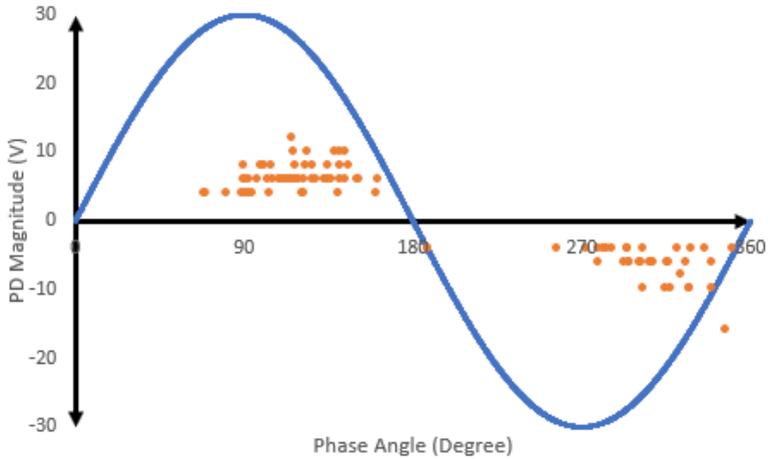
Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada gambar 4.11 dan gambar 4.12 jumlah titik PD dan nilai magnitudo antara *loop antenna* dan HFCT memiliki nilai yang berbeda. Hal ini dikarenakan impedansi dari HFCT lebih besar dibandingkan dengan *loop antenna*. Gelombang elektromagnetik yang disalurkan *loop antenna* lebih besar dari HFCT sehingga hasil pengolahan data jumlah titik PD dan magnitudo PD lebih banyak *loop antenna*.

#### **4.5.2 Analisa PRPD oleh *Loop antenna* dan HFCT Jarak Elektroda 1,5cm pada Isolasi Minyak.**

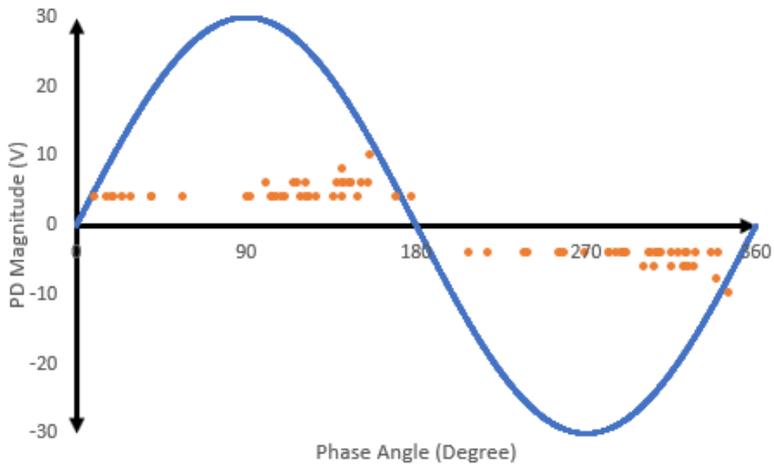
Pulsa pulsa PD pada hasil pengujian direpresentasikan dengan pola  $\phi$ -q-n. Simbol  $\phi$  adalah sudut *fasa* dimana PD terjadi, q adalah muatan PD, dan n adalah jumlah pulsa PD. Sumbu x menyatakan sudut phasa dan sumbu y menyatakan magnitudo PD. Pola PD ini didapatkan dari 7 cycle gelombang dimana setiap titik mempresentasikan pulsa PD.

Gambar 4.13 menunjukkan pola PD yang ditangkap oleh *loop antenna* pada isolasi minyak pada jarak elektroda 1,5 cm dengan tegangan 20kV. Corona discharge siklus positif terjadi pada sudut fasa 70° sampai 161° sedangkan siklus negatif terjadi pada sudut fasa 187° sampai 350°. Nilai pulsa PD tertinggi yaitu 16 Volt dan jumlah titik PRPD adalah 90.

Gambar 4.14 menunjukkan pola PD yang ditangkap oleh HFCT pada isolasi minyak pada jarak elektroda 1,5 cm dengan tegangan 20kV. Corona discharge siklus positif terjadi pada sudut fasa 16° sampai 178° sedangkan siklus negatif terjadi pada sudut fasa 208° sampai 346°. Nilai pulsa PD tertinggi yaitu 10 Volt jumlah titik PRPD adalah 76.



**Gambar 4.13** Pola ( $\varphi$ -q-n) *Loop antenna* pada Tegangan 20 kV dengan jarak Elektroda 1,5 cm



**Gambar 4.14** Pola ( $\varphi$ -q-n) HFCT pada Tegangan 20 kV dengan jarak Elektroda 1.5 cm

**Tabel 4. 2** Tabel jumlah titik PRPD

<b>Peralatan</b>	<b>Jumlah Titik PRPD</b>	<b>Magnitudo Tertinggi</b>
<i>Loop antenna</i>	90	16 Volt
HFCT	76	10 Volt

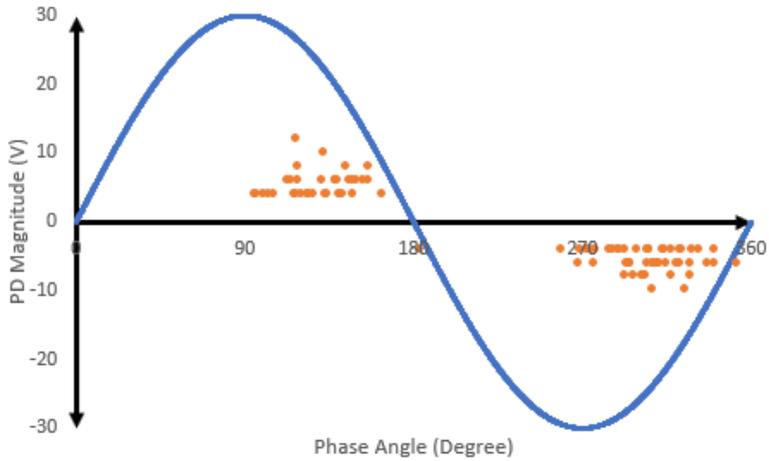
Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada gambar 4.13 dan gambar 4.14 jumlah titik PD dan nilai magnitudo antara *loop antenna* dan HFCT memiliki nilai yang berbeda. Hal ini dikarenakan impedansi dari HFCT lebih besar dibandingkan dengan *loop antenna*. Gelombang elektromagnetik yang disalurkan *loop antenna* lebih besar dari HFCT sehingga hasil pengolahan data jumlah titik PD dan magnitudo PD lebih banyak *loop antenna*.

#### **4.5.3 Analisa PRPD *Loop antenna* dan HFCT Jarak Elektroda 2cm pada Isolasi Minyak.**

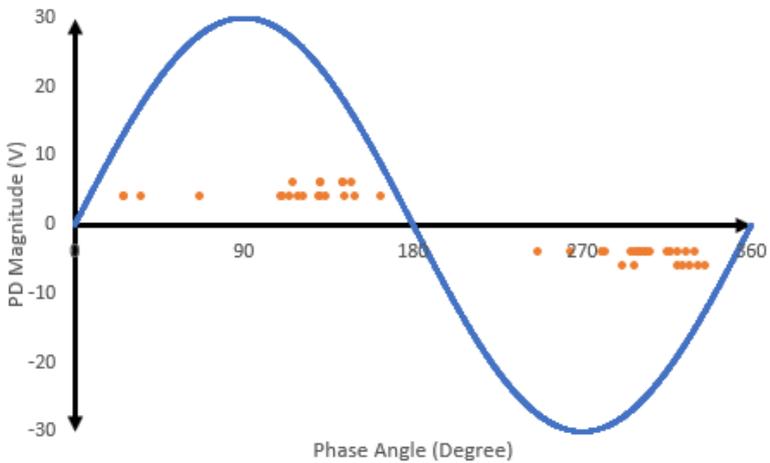
Pulsa pulsa PD pada hasil pengujian direpresentasikan dengan pola  $\phi$ -q-n. Simbol  $\phi$  adalah sudut *fasa* dimana PD terjadi, q adalah muatan PD, dan n adalah jumlah pulsa PD. Sumbu x menyatakan sudut phasa dan sumbu y menyatakan magnitudo PD. Pola PD ini didapatkan dari 7 cycle gelombang dimana setiap titik mempresentasikan pulsa PD.

Gambar 4.15 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  $96^\circ$  sampai  $163^\circ$  sedangkan siklus negatif terjadi pada sudut fasa  $258^\circ$  sampai  $352^\circ$ . Nilai pulsa PD tertinggi yaitu 12 Volt jumlah titik PRPD adalah 85.

Gambar 4.16 menunjukkan pola PD yang ditangkap oleh HFCT pada isolasi minyak pada jarak elektroda 2 cm dengan tegangan 20 kV. Corona discharge siklus positif terjadi pada sudut fasa  $26^\circ$  sampai  $163^\circ$  sedangkan siklus negatif terjadi pada sudut fasa  $246^\circ$  sampai  $336^\circ$ . Nilai pulsa PD tertinggi yaitu 6 Volt jumlah titik PRPD adalah 45.



**Gambar 4.15** Pola ( $\phi$ -q-n) *Loop antenna* pada Tegangan 20 kV dengan jarak Elektroda 2cm



**Gambar 4.16** Pola ( $\phi$ -q-n) HFCT pada Tegangan 20 kV dengan jarak Elektroda 2cm

**Tabel 4. 3** Tabel jumlah titik PRPD

<b>Peralatan</b>	<b>Jumlah Titik PRPD</b>	<b>Magnitudo Tertinggi</b>
<i>Loop antenna</i>	85	12 Volt
HFCT	45	6 Volt

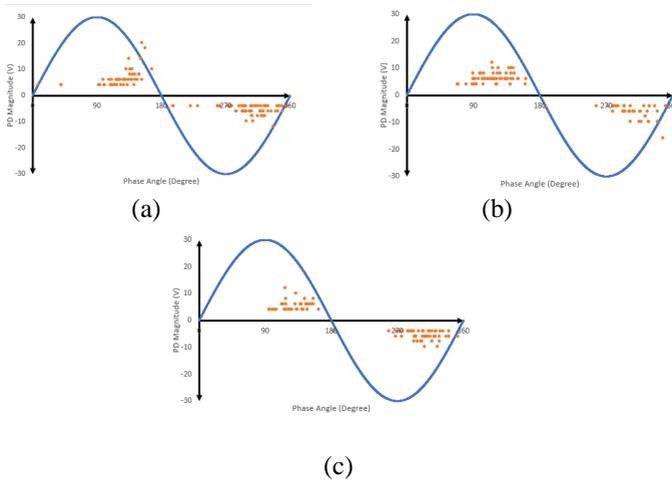
Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada gambar 4.15 dan gambar 4.16 jumlah titik PD dan nilai magnitudo antara *loop antenna* dan HFCT memiliki nilai yang berbeda. Hal ini dikarenakan impedansi dari HFCT lebih besar dibandingkan dengan *loop antenna*. Gelombang elektromagnetik yang disalurkan *loop antenna* lebih besar dari HFCT sehingga hasil pengolahan data jumlah titik PD dan magnitudo PD lebih banyak *loop antenna*.

#### **4.5.4 Analisa PRPD *Loop antenna* dan HFCT Terhadap Pengaruh Jarak Elektroda 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm pada Isolasi Minyak.**

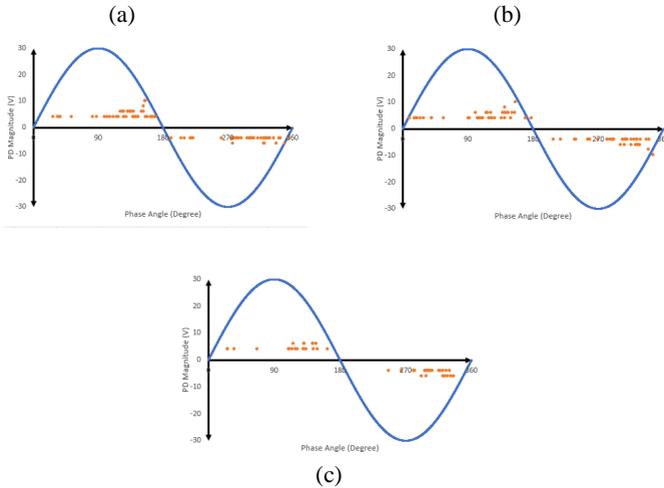
Jarak elektroda yang semakin jauh dapat meningkatkan nilai tegangan tembus pada isolasi minyak. Hal ini dikarenakan pada saat jarak elektroda semakin jauh maka medan pergerakan elektron memerlukan energi yang lebih besar untuk bisa bergerak menuju katoda. Dikarenakan jarak elektroda semakin jauh, maka medan elektromagnetik yang terkumpul pada ujung elektroda juga semakin besar.

Pada analisa PRPD, jarak elektroda mempengaruhi jumlah titik PD dan besarnya magnitudo PD. Pada gambar 4.17 menunjukkan pola PRPD oleh *loop antenna*. Untuk jarak elektroda 1cm jumlah titik PD adalah 119 dengan nilai magnitudo teritinggi adalah 20 Volt, jarak elektroda 1,5cm jumlah titik PD adalah 90 dengan nilai magnitudo teritinggi adalah 16 Volt, dan jarak elektroda 2 cm jumlah titik PD adalah 85 dengan nilai magnitudo teritinggi adalah 12 Volt.

Pada gambar 4.18 menunjukkan pola PRPD oleh HFCT. Untuk jarak elektroda 1cm jumlah titik PD adalah 93 dengan nilai magnitudo tertinggi adalah 10 Volt, jarak elektroda 1,5cm jumlah titik PD adalah 76 dengan nilai magnitudo teritinggi adalah 10 Volt, dan jarak elektroda 2 cm jumlah titik PD adalah 45 dengan nilai magnitudo teritinggi adalah 65 Volt. Data rangkuman bisa dilihat pada Tabel 4.4.



**Gambar 4.17** Pola ( $\phi$ -q-n) *Loop antenna* (a) Jarak elektroda 1cm, (b) Jarak elektroda 1,5cm, (c) Jelektroda 2cm dengan tegangan *input* 20kV



**Gambar 4.18** Pola ( $\phi$ -q-n) HFCT (a) Jarak elektroda 1cm, (b) Jarak elektroda 1,5cm, (c) Jelektroda 2cm dengan tegangan *input* 20kV

**Tabel 4. 4** Hubungan jarak elektroda dengan magnitudo PD dan jumlah titik PD

<b>Peralatan</b>	<b>Jarak Elektroda</b>	<b>Jumlah Titik PD</b>	<b>Magnitudo Tertinggi</b>
Antena	1 cm	119	20 Volt
	1,5 cm	90	16 Volt
	2 cm	85	12 Volt
HFCT	1 cm	93	10 Volt
	1,5 cm	76	10 Volt
	2 cm	45	6 Volt

Berdasarkan hasil pengujian yang diperlihatkan pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 jumlah titik PD paling banyak terjadi pada jarak elektroda 1 cm. Hal ini disebabkan karena pada jarak 1 cm aktivitas *partial discharge* sudah memasuki tahap terbetuknya *streamer* dan minyak isolasi hampir *breakdown* sehingga titik PD yang dihasilkan terlihat lebih banyak daripada jarak 1,5 cm dan 2 cm.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **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. Semakin jauh jarak dari elektroda tegangan *breakdown* pada isolasi minyak akan semakin tinggi. Pada jarak elektroda 1cm, 1,5cm, dan 2cm *breakdown* terjadi pada tegangan 22kV, 26kV, dan 30kV.
2. Semakin tinggi tegangan *input* mempengaruhi karakteristik dari bentuk gelombang dan banyaknya pulsa PD yang ditangkap oleh *loop antenna*.
3. Pada analisa pola PRPD jumlah titik PD dan muatan PD dipengaruhi oleh jarak elektroda. Semakin dekat jarak elektroda jumlah titik PD semakin banyak dan muatan PD semakin besar.
4. Gelombang yang dihasilkan HFCT dan sumber tegangan menjadi acuan untuk memvalidasi sinyal *partial discharge* yang ditangkap *loop antenna*.

#### **5.2 Saran**

Pada tugas akhir selanjutnya mempunyai beberapa saran, sebagai berikut:

1. Suhu mempengaruhi nilai *breakdown* dari isolasi minyak. Oleh karena itu dimasa mendatang bisa dilakukan penelitian terhadap gelombang *loop antenna* terhadap pengaruh suhu.
2. 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.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. M. Salvatierra, L. I. Kovalevski, P. L. D. Quiña, I. M. Irurzun, and E. E. Mola, "Self-healing during Electrical Treeing: A Feature of the Two-phase Liquid-solid Nature of Silicone Gels," vol. 23, no. 2, pp. 757–767, 2016.
- [2] M. Yulistya, *Teknik Tegangan Tinggi*. 2013.
- [3] A. Bhure, E. G. Strangas, and E. Lansing, "Partial Discharge Detection In Medium Voltage Stators Using an Antenna."
- [4] U. Khayam and F. I. Fatoni, "Design and application of loop antenna for partial discharge induced electromagnetic wave detection," *Proc. 2017 6th Int. Conf. Electr. Eng. Informatics Sustain. Soc. Through Digit. Innov. ICEEI 2017*, vol. 2017–Novem, pp. 1–6, 2018.
- [5] K. S. Widyaningrum *et al.*, "Pengaruh Variasi Suhu Destilasi Terhadap Karakteristik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair pada Transformator Daya."
- [6] CEI IEC 60247, *International Standard Insulating Liquids Measurement of Relative Permittivity*. 2004.
- [7] E. Kuffel; W.S. Zaengl; J. Kuffel, *High Voltage Engineering*. 2000.
- [8] H. Andre, U. Andalas, and U. Khayam, "Antena Kupu - Kupu Sebagai Sensor Ultra High Frequency ( UHF ) Untuk Mendeteksi Partial Discharge Pada Gas Insulation Substation ANTENA KUPU - KUPU SEBAGAI SENSOR ULTRA HIGH FREQUENCY ( UHF ) UNTUK MENDETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA GAS INSULATION SUBSTATION," no. March 2016, 2013.
- [9] F. Rozi and U. Khayam, "Design of circle shaped loop antenna as partial discharge sensor," *Proc. 2014 Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. ICEECS 2014*, no. November, pp. 349–352, 2014.
- [10] F. Rozi and U. Khayam, "Design of Circle Shaped Loop Antenna as Partial Discharge Sensor," no. November, pp. 349–352, 2014.
- [11] B. M. Amna, "DESIGN AND SIMULATION OF HIGH FREQUENCY CURRENT TRANSFORMER," pp. 135–139, 2016.
- [12] P. Features, S. Precautions, and P. Specifications, "Shell Diala Oil B," vol. 148, 1998.
- [13] H. Mohamed *et al.*, "Partial Discharge Detection Using Low Cost

RTL-SDR Model for Wideband Spectrum Sensing,” pp. 2–6, 2016.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama lengkap penulis adalah Catur Andianto, dan biasa dipanggil Catur. Penulis lahir di Sidoarjo pada tanggal 13 November 1994. Penulis memiliki riwayat pendidikan, sebagai berikut: pada tahun 2001 sampai 2007 bersekolah di SD Negeri Kalijaten. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Taman pada tahun 2007 hingga 2010. Penulis kemudian menempuh pendidikan di SMA Negeri 18 Surabaya tahun 2010 sampai 2013. Penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikan di program studi D3 Teknik Elektro Industri ITS – DISNAKERTRANSDUK, jurusan D3 Teknik Elektro ITS. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Strata-1 pada program Lintas Jalur Teknik Elektro ITS program studi Teknik Sistem Tenaga. Kritik dan saran serta pertanyaan mengenai tugas akhir tersebut dapat langsung menghubungi penulis melalui email penulis, [andiantocr@gmail.com](mailto:andiantocr@gmail.com).