

**DESAIN DAN PEMBUATAN SENSOR *MICRO-STRIP ELLIPTICAL*
MONOPOLE UNTUK MENDETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA
TRANSFORMATOR**

(Skripsi)

Oleh

MAHENDRA PANCA HAGANTA S MELIALA

NPM 2115031080



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2025

ABSTRAK

DESAIN DAN PEMBUATAN SENSOR *MICRO-STRIP ELLIPTICAL MONOPOLE* UNTUK MENDETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA TRANSFORMATOR

Oleh

Mahendra Panca Haganta S Meliala

Partial discharge adalah fenomena pelepasan muatan listrik sebagian yang terjadi secara lokal pada sistem isolasi listrik bertegangan tinggi yang dapat merusak peralatan. *Partial discharge* yang terjadi terus menerus pada suatu bahan isolasi dapat mengakibatkan tegangan tembus (*breakdown*). Penelitian ini bertujuan merancang antenna yang dapat digunakan sebagai sensor dalam mendeteksi adanya *partial discharge* pada transformator. Sensor yang dibuat adalah sensor *ultra high frequency* (UHF) dengan dua jenis yaitu *micro-strip elliptical monopole single layer* dan *double layer* dan untuk penempatan sensor ini diletakkan pada saluran pembuangan minyak. Antena didesain menggunakan software cst microwave studio dengan berbagai ukuran dan dicari hasil yang terbaik. Setelah itu, dilakukan pengujian sensitivitas dan pengujian *partial discharge*. Pada pengujian sensitivitas mendapatkan hasil tertinggi pada antenna *double layer* sebesar 73,6 mV, sedangkan untuk antenna *single layer* sebesar 40,8 mV. Lalu pengujian *partial discharge* berdasarkan jarak menunjukkan semakin jauh jarak antenna dengan sumber semakin kecil nilai magnitudo yang ditangkap oleh antenna. Sementara pengujian *partial discharge* berdasarkan sudut menunjukkan antenna *single layer* dan *double layer* menunjukkan hasil yang sama yaitu pada sudut 90° dan 270°.

Kata Kunci : *Partial discharge*, *ultra high frequency* (UHF), *micro-strip elliptical monopole*

ABSTRACT

DESIGN AND MANUFACTURE OF MICRO-STRIP ELLIPTICAL MONOPOLE SENSORS FOR DETECTING PARTIAL DISCHARGE IN TRANSFORMERS

By

Mahendra Panca Haganta S Meliala

Partial discharge is a phenomenon involving the localized release of electrical charge that occurs in high-voltage electrical insulation systems and can damage equipment. Continuous partial discharge in an insulating material can deteriorate the insulation strength thus reduce the breakdown voltage. This study aims to design an antenna that can be used as a sensor to detect partial discharge in transformers. The sensor developed is an ultra-high-frequency (UHF) sensor with two types: a microstrip elliptical monopole single-layer and a double-layer design. The sensor is placed in the oil drainage channel. The antenna was designed using CST Microwave Studio software with various sizes, and the best results were identified. Sensitivity testing and partial discharge testing were then conducted. In the sensitivity test, the highest result was obtained for the double-layer antenna at 73.6 mV, while the single-layer antenna yielded 40.8 mV. In the partial discharge test based on distance, it was observed that as the distance between the antenna and the source increased, the magnitude captured by the antenna decreased. Meanwhile, the partial discharge test based on angle showed that both the single-layer and double-layer antennas yielded the same results at angles of 90° and 270°.

Keyword : *Partial discharge, ultra high frequency (UHF), micro-strip elliptical monopole*

DESAIN DAN PEMBUATAN SENSOR *MICRO-STRIP ELLIPTICAL MONOPOLE* UNTUK MENDETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA TRANSFORMATOR

Oleh

MAHENDRA PANCA HAGANTA S MELIALA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2025

Judul Skripsi

: **DESAIN PEMBUATAN SENSOR MICRO-STRIP ELLIPTICAL MONOPOLE UNTUK MENDETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA TRANSFORMATOR**

Nama Mahasiswa

: **Mahendra Panca Haganta S Mellala**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2115031080**

Jurusan

: **Teknik Elektro**

Fakultas

: **Teknik**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Dr. Herman Halomoan S, S.T,M.T.
NIP. 19711130 199903 1 003

Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T,M.T.
NIP. 19740422 200012 2 001



2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Herlinawati, S.T,M.T.
NIP. 19710314 199903 2 001

Sumadi, S.T,M.T.
NIP. 19731104 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Herman Halomoan S, S.T,M.T.

Sekretaris : Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T,M.T

Penguji : Dr. Eng. Diah Permata, S.T,M.T

Bukan Pembimbing

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T.,M.Sc.

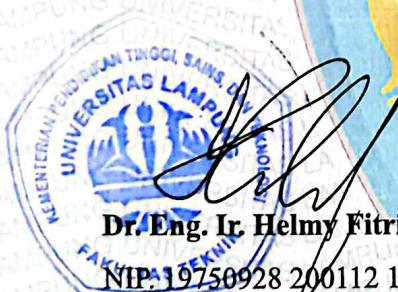
NIP.19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 20 Agustus 2025

Helmi

Purwasih

Diah P.



SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mahendra Panca Haganta S Meliala

NPM : 2115031080

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi saya yang berjudul : **Desain Dan Pembuatan Sensor Micro-Strip Elliptical Monopole Untuk Mendeteksi Partial Discharge Pada Transformator**

Adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Selanjutnya, apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 September 2025



Mahendra Panca Haganta S Meliala
NPM 2115031080

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Metro pada tanggal 10 november 2002. Penulis merupakan anak ketiga dari pasangan Bapak Rombongan Meliala dan Ibu Elita Bettiwati Ginting.

Riwayat Pendidikan penulis dimulai dari SDN 4 Metro Timur pada tahun 2009 hingga 2015, SMPN 4 Metro pada tahun 2015 hingga 2018, dan SMAN 5 Metro pada tahun 2018 hingga 2021.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis berkesempatan bergabung dalam keanggotaan asisten Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi pada tahun 2024 dan dipercayakan menjadi asisten praktikum mata kuliah Teknik Tegangan Tinggi pada tahun 2024. Selain itu, penulis juga tergabung dalam organisasi intra kampus Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai anggota Departemen Kewirausahaan selama 1 periode pada tahun 2022 dan sebagai anggota Departemen Sosial selama 1 periode pada tahun 2023. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari didesa Makarti Tama, Kecamatan Gedung Aji Baru, Kabupaten Tulang Bawang. Penulis juga melaksanakan kerja praktik di PT. PLN (Persero) ULTG pagelaran dan mengangkat judul, **“Analisis Pengujian Tahanan Isolasi, Pengujian Tangen Delta, dan Pengujian Tahanan Pentanahan pada Transformator Arus 150 Kv pada Gardu Induk Sribawono Bay Penghantar Seputih Banyak 2”** pada tahun 2024. Selain itu, penulis juga berkesempatan melaksanakan magang mandiri di PT. GMF AeroAsia Tbk. pada bidang *Electro Mechanical Planning Engineer* (TCC -3) dan melanjutkan membuat laporan magang yang berjudul, **“Perancangan dan Pemodelan 3D Test Stand Steam Oven Menggunakan SolidWork Di Unit TCC 4, PT GMF Aeroasia Tbk.**

Karya ini kupersembahkan untuk
Bapak dan Mamak Tersayang
Rombongan Meliala dan
Elita Bettiwati Ginting

Serta Kakak-kakak saya :

Andre Gantina S Meliala

Enda Ngapulisa S Meliala

Grace Eka Novelia Ginting

Dean Amadeo Damenta S Meliala

*Keluarga Besar, Dosen, Teman
dan Almamater*

MOTTO

"Sebab Aku ini, Tuhan Allahmu, memegang tangan kananmu dan berkata kepadamu: Jangan takut, Akulah yang menolong engkau."

(YESAYA 41 : 13)

“Janganlah kita jemu-jemu berbuat baik, karena apabila sudah datang waktunya, kita akan menuai jika kita tidak menyerah.”

(GALATIA 6 : 9)

Langkah pertama adalah kunci, jangan ragu untuk mencoba ataupun melangkah.

SANWACANA

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang memberikan berkat berkelebihan dan kebijakan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ *DESAIN DAN PEMBUATAN SENSOR MICRO-STRIP ELLIPTICAL MONOPOLE UNTUK MENDETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA TRANSFORMATOR*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
3. Bapak Sumadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Herman Halomoan S, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama atas waktu, tenaga, dan pikiran yang diluangkan untuk membimbing penulis. Terimakasih atas setiap arahan, ilmu, bimbingan, saran serta masukan yang diberikan kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi.
5. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua atas waktu, tenaga, dan pikiran yang diluangkan untuk membimbing penulis. Terimakasih atas setiap arahan, ilmu, bimbingan, saran serta masukan yang diberikan kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi.
6. Ibu Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama dalam proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas ilmu, nasihat, saran, kritik, serta

motivasi selama proses penyusunan skripsi ini dan selama penulis menjadi mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung.

7. Ibu Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan dengan baik dan tulus kepada penulis selama perkuliahan.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan pengajaran dan pandangan hidup selama perkuliahan.
9. Staff administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
10. Kepada bapak dan mamak ku yang selalu senantiasa menemani penulis dan dukungan yang tak pernah habisnya meskipun terhalang oleh jarak. Serta yang selalu mempercayai setiap proses yang penulis jalani selama berkuliah dan untuk jerih payah yang dikeluarkan untuk dapat memfasilitasi perkuliahan penulis meskipun sedang mengalami kondisi yang berat. Dan kepada Bang Andre, Kak Grace, Dean, Kak Enda, dan Bude Kasdiah yang selalu memberikan kebahagiaan, dukungan moral dan tempat bertukar pikiran kepada penulis semasa berkuliah.
11. Kepada keluarga “Kuliah Buat Lulus” yaitu Eikel Suranta, Fawwaz Islam, Serly Ulya, Ananda Saputri dan Dona Eliza atas setiap bantuan yang diberikan, waktu yang diluangkan, momen tak terlupakan, dukungan, motivasi, serta pengalaman baru bagi penulis selama perkuliahan.
12. Kepada keluarga “Anak Anak Baik” yaitu Irfan Amin, Alfina Damayanti, Indira, Aricha Kesuma dan Dinda Fitrika atas setiap bantuan yang diberikan, waktu yang diluangkan, momen tak terlupakan, dukungan, motivasi, serta pengalaman baru bagi penulis selama perkuliahan.
13. M. Rizki Febrian teman seperbimbingan skripsi penulis, terimakasih atas bantuan, diskusi dan kerja sama yang baik dari awal hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
14. Teruntuk keluarga besar TTT, Asisten 2021 (Rika, Rispeb, Afdhal, Fikri, Yozi, Serly, Rijal) atas waktu, kerjasama dan pengalaman baru bagi penulis menjadi

Asisten Laboratorium serta seluruh Asisten 2022 dan juga Pak Sugi atas bantuan, doa dan semangat kepada penulis.

15. Segenap Keluarga Besar Angkatan 2021 (EXCALTO) dan keluarga besar Himatro Universitas Lampung.
16. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu oleh penulis yang telah banyak membantu dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi secara langsung maupun tidak langsung.
17. Diri sendiri, Mahendra Panca Haganta S Meliala yang tetap bertahan dan berhasil melewati ditengah banyak kesulitan yang ia hadapi dan selalu meyakinkan diri untuk bisa terhadap proses yang sedang dialami.

Bandar Lampung, 15 September 2025

Mahendra Panca Haganta S Meliala
NPM 2115031080

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Hipotesis	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Partial discharge</i> pada Transformator	5
2.2 Metode Pendeteksian <i>Partial discharge</i>	7
2.3 Karakteristik Peluahan	8
2.4 Sensor Untuk Mendeteksi <i>Partial discharge</i>	10
2.5 Sensor <i>Micro-strip elliptical monopole</i>	12
2.6 <i>Transverse Electromagnetic Cell</i> (TEM Cell)	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Metode Penelitian	17
3.3.1 Desain sensor.....	17

3.3.2 Pengujian sensitivitas sensor <i>micro-strip</i>	19
3.3.3 Pengujian Pendeteksian <i>Partial discharge</i>	21
3.4 Diagram Alir Penelitian	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Perancangan <i>Elliptical Microstrip</i> Menggunakan <i>Software CST Studio</i>	26
4.1.2 Hasil Gelombang Desain <i>Elliptical Microstrip</i>	27
4.1.3 <i>Radiation Pattern</i>	30
4.1.4 Surface Current	32
4.2 Pengujian Sensitivitas	33
4.2.1 Data Hasil Pengujian Sensitivitas	35
4.3 Pengujian <i>Partial discharge</i>	37
4.3.1 Analisis gelombang antenna <i>monopole</i> dan HFCT sebagai validasi data fenomena <i>partial discharge</i>	37
4.3.2 Data Hasil Pengujian <i>Partial discharge</i> pada Medium Udara	42
4.4 Pengujian <i>Partial discharge</i> Berdasarkan Sudut	47
4.4.1 Analisis Gelombang Antena <i>Monopole</i> dan HFCT sebagai Validasi Data Fenomena <i>Partial discharge</i> berdasarkan Sudut	47
4.4.2 Data Hasil Pengujian <i>Partial discharge</i> Berdasarkan Sudut	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis-jenis peluahan sebagian (partial discharge). (a) Peluahan sebagian permukaan (surface discharge), (b) Peluahan rongga (discharge void), (c) Peluahan korona (corona discharge)	6
Gambar 2.2	FFT Peluahan Sebagian [7].....	9
Gambar 2.3	Durasi waktu peluahan sebagian [8].....	9
Gambar 2.4	Sensor Micro-strip Monopole	12
Gambar 2.5	Struktur Tem-Cell [13].....	14
Gambar 2.6	Tem-Cell Tipe Tertutup[13]	14
Gambar 3.1	Tampilan CST Microwave Studio	18
Gambar 3.2	Titik koordinat kurva x dan y.....	18
Gambar 3.3	Bentuk kurva elliptical monopole.....	19
Gambar 3.4	Elliptical yang terhubung dengan port.....	19
Gambar 3.5	Diagram pengujian sensitivitas sensor.....	20
Gambar 3.6	Diagram pengujian pendeteksian partial discharge	21
Gambar 3.7	Isi File Osiloskop	23
Gambar 3.8	Data partial discharge yang telah di impor ke matlab.....	23
Gambar 3.9	Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 4.1	Desain Antena Micro-strip elliptical monopole (a) 4x9 single layer, (b) 4x12 double layer.....	26
Gambar 4.2	Hasil Gelombang S11 Micro-strip elliptical monopole Single layer	27
Gambar 4.3	Hasil Gelombang S11 Micro-strip elliptical monopole Double layer	27
Gambar 4.4	Hasil Gelombang VSWR Micro-strip elliptical monopole Single layer	28
Gambar 4.5	Hasil Gelombang VSWR Micro-strip elliptical monopole Double layer	29

Gambar 4.6 Radiation Pattern Antenna Micro-strip elliptical monopole Single layer	30
Gambar 4.7 Radiation Pattern Antenna Micro-strip elliptical monopole Double layer	31
Gambar 4.8 Surface Current Antenna Micro-strip elliptical monopole Single layer	32
Gambar 4.9 Surface Current Antenna Micro-strip elliptical monopole Double layer	33
Gambar 4.10 Rangkaian Pengujian Sensitivitas	34
Gambar 4.11 Sinyal gelombang yang dideteksi sensor (a) 4x9 single layer, (b) 4x12 double layer	36
Gambar 4.12 Rangkaian Pengujian Partial discharge	37
Gambar 4.13 Gelombang corona discharge (a) 4x9 single layer, (b) 4x12 double layer	38
Gambar 4.14 Gelombang void discharge (a) 4x9 single layer, (b) 4x12 double layer	40
Gambar 4.15 Gelombang surface discharge (a) 4x9 single layer, (b) 4x12 double layer	41
Gambar 4.16 Grafik karakterisik perbandingan nilai magnitudo PD pada pengujian corona discharge	43
Gambar 4.17 Grafik karakterisik perbandingan nilai magnitudo PD pada pengujian void discharge	44
Gambar 4.18 Grafik karakterisik perbandingan nilai magnitudo PD pada pengujian surface discharge	46
Gambar 4.19 Gelombang partial discharge berdasarkan sudut (a) 4x9 single layer, (b) 4x12 double layer	48
Gambar 4.20 Grafik karakterisik perbandingan nilai magnitudo PD berdasarkan sudut	49
Gambar L 1 desain sensor micro-strip elliptical monopole	57
Gambar L 2 desain sensor micro-strip elliptical monopole setelah dicetak	57
Gambar L 3 pengambilan data pengujian sensitivitas	58

Gambar L 4 (a) gelombang hasil pengujian sensitivitas antenna single layer, (b) gelombang hasil pengujian sensitivitas antenna double layer	59
Gambar L 5 pengambilan data pengujian partial discharge	60
Gambar L 6 pengambilan data didalam tangki transformator antenna single layer	60
Gambar L 7 (a) gelombang corona discharge jarak 50cm single layer, (b) gelombang corona discharge jarak 70cm single layer, (c) gelombang corona discharge jarak 100cm single layer	61
Gambar L 8 pengambilan data didalam tangki transformator antenna double layer	62
Gambar L 9 (a) gelombang corona discharge jarak 50cm double layer, (b) gelombang corona discharge jarak 70cm double layer, (c) gelombang corona discharge jarak 100cm double layer.....	63
Gambar L 10 pengambilan data berdasarkan sudut antenna single layer	63
Gambar L 11 (a) gelombang corona discharge sudut 60° single layer, (b) gelombang corona discharge sudut 60° double layer	64

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu Penelitian.....	15
Tabel 4.1 Data hasil pengolahan nilai magnitudo gelombang TEM Cell	35
Tabel 4.2 Data hasil pengolahan nilai magnitudo gelombang corona <i>discharge</i> ..	42
Tabel 4.3 Data hasil pengolahan nilai magnitudo gelombang void <i>discharge</i>	44
Tabel 4.4 Data hasil pengolahan nilai magnitudo gelombang surface <i>discharge</i> .	45
Tabel 4.5 Data hasil pengolahan nilai magnitudo gelombang berdasarkan sudut	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Transformator merupakan komponen penting yang digunakan dalam proses mentransformasikan tegangan listrik dari satu tingkat ke tingkat yang lain. Terdapat bagian-bagian pada transformator seperti kumparan, inti transformator dan isolator. Saat beroperasi, isolator transformator berfungsi sebagai pendingin kumparan primer dan kumparan sekunder. Transformator yang beroperasi secara terus menerus dapat menurunkan kualitas minyak isolasi sehingga dapat mengakibatkan timbulnya *partial discharge*. Timbulnya *partial discharge* yang terjadi terus menerus dapat menyebabkan pemburukan pada sistem isolasi transformator serta dapat terjadinya breakdown. Sehingga sensor pendeteksian dan identifikasi adanya *partial discharge* perlu dilakukan untuk mencegah atau mengurangi resiko kerusakan pada transformator.

Salah satu metode pendeteksian *partial discharge* yang dapat dilakukan adalah dengan metode *Ultra High Frequency (UHF)* yang mendeteksi sinyal elektromagnetik pada frekuensi 300 MHz – 3000 MHz dan untuk mendeteksi sinyal *Ultra High Frequency (UHF)* bisa dilakukan menggunakan sensor *microstrip*. Dengan menggunakan sensor ini, sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh *partial discharge* dapat terdeteksi. Hal ini memungkinkan kita untuk mengetahui kondisi fisik isolasi pada transformator. Dengan demikian, kita dapat menentukan tindakan yang tepat jika kondisi transformator terindikasi kurang optimal.

Sensor *microstrip* mempunyai banyak tipe salah satunya ialah elliptical *monopole* yang dirancang untuk dipasang pada saluran pembuangan minyak isolasi transformator, dengan ukuran yang telah disesuaikan agar pas di dalam saluran

tersebut. Sensor ini tersedia dalam berbagai bentuk, seperti *circular*, *zig-zag*, dan plat, serta dibuat dari bahan *Fiberglass Epoksi (FR4)* yang umum digunakan dalam pembuatan *PCB (Printed Circuit Board)*. Dalam penelitian ini, *microstrip monopole circular* dipilih karena bahan pembuatannya mudah ditemukan, dan desainnya yang ringkas memudahkan proses pemasangan ke dalam saluran pembuangan tanpa perlu modifikasi tambahan.

Pada penelitian ini akan menganalisis respon sensor dalam mendeteksi sinyal elektromagnetik yang dipancarkan dari sumber peluahan. Desain pembuatan sensor menggunakan aplikasi *CST Microwave Studio* yang dimana dimensi dan jenis pelat sensor akan dibuat dari bahan PCB FR4. kemudian sensor diuji sensitivitasnya menggunakan *Transverse Electromagnetic Cell (TEM-cell)*. Lalu setelah diuji sensitivitasnya sensor diuji untuk mendeteksi *partial discharge*. Sinyal elektromagnetik yang ditangkap sensor akan menampilkan magnitude sinyal elektromagnetik sebagai bentuk frekuensi.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendesain Sensor *Microstrip* yang digunakan untuk mendeteksi *partial discharge*.
2. Menguji sensitivitas Sensor *Microstrip* menggunakan *Transverse Electromagnetic Cell (TEM-Cell)*.
3. Menguji Kemampuan prototipe sensor untuk mendeteksi *partial discharge* pada tangki transformator.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain sensor yang baik untuk digunakan dalam mendeteksi *partial discharge* pada transformator menggunakan metode *ultra high frequency (UHF)*.

2. Bagaimana sensitivitas sensor dalam mendeteksi sinyal elektromagnetik didalam *Transverse Electromagnetic Cell* (TEM-Cell)
3. Bagaimana respon sensor dalam menangkap sinyal elektromagnetik pada tangki transformator menggunakan osiloskop

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini ada sebagai berikut:

1. Sensor yang dibuat merupakan antenna *micro-strip elliptical monopole*.
2. Sensor yang dibuat bekerja pada rentan frekuensi 0.3 GHz – 3 GHz.
3. Pengujian sensitivitas sensor menggunakan *Transverse Electromagnetic Cell Tertutup* (TEM-Cell).
4. Dalam pengujian *partial discharge* dilakukan didalam tangki transformator, dimana sumber *partial discharge* menggunakan isolasi udara dan menggunakan tegangan input 4 Kv.
5. Dalam pembuatan desain sensor menggunakan dimensi lubang pembuangan minyak transformator tetapi pengujiannya dilakukan didalam tangki transformator.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kegunaan sensor Microstrip untuk menangkap sinyal elektromagnetik yang dipancarkan oleh *partial discharge*.
2. Mengetahui sensitivitas sensor tersebut dalam mendeteksi sinyal elektromagnetik yang dipancarkan *Transverse Electromagnetic Cell* (TEM-Cell)
3. Mengetahui kondisi *partial discharge* pada tangki transformator sehingga ditentukan tindakan perbaikan yang harus dilakukan.

1.6 Hipotesis

Sensor dengan jenis Antenna *Micro-strip elliptical monopole* adalah sensor yang bekerja dengan mendeteksi sinyal elektromagnetik yang dihasilkan sumber peluahan sebagian (*partial discharge*). Pada sensor dilakukan pengujian menggunakan TEM-Cell agar dapat mengetahui karakteristik sensitivitas dari sensor *micro-strip elliptical* agar dapat lebih efektif dalam melakukan pendeteksian peluahan sebagian di tangki transformator.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, tujuan masalah, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis serta sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang teori-teori mengenai *partial discharge*, metode pendeteksian *partial discharge*, sensor pendeteksian, sensor Microstrip dan TEM-Cell

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi uraian untuk menyelesaikan penelitian ini, yaitu waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, metode yang diusulkan serta diagram alir yang diusulkan.

DAFTAR PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

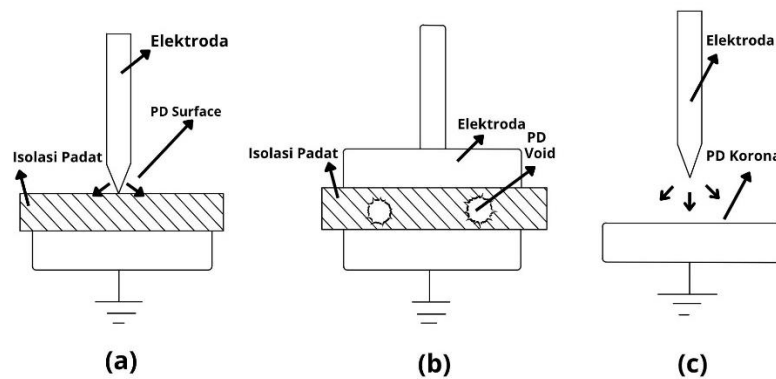
Penelitian ini membahas desain sensor microstrip, pengujian sensitivitas sensor serta pengujian sensor untuk mendeteksi *partial discharge* pada tangki transformator. Sensor yang didesain merupakan bagian dari pengembangan material listrik yang dapat dipergunakan untuk pengujian tak merusak (*non destructive testing*).

2.1 *Partial discharge* pada Transformator

Partial discharge adalah suatu fenomena pelepasan elektrik yang terjadi diantara dua elektroda yang berbeda tegangan tetapi hanya menghubungkan Sebagian isolasi diantara dua konduktor. Jika *partial discharge* yang terjadi dibiarkan berlangsung dalam jangka waktu yang lama, maka terjadi pemburukan yang sangat parah dan mengakibatkan sistem isolasi dapat gagal memisahkan konduktor-konduktor yang berbeda tegangan. Jika hal ini terjadi maka isolasi akan mengalami *breakdown*. Walau tidak dapat terjadi langsung antara *partial discharge* dengan *breakdown*, terkadang *breakdown* dapat terjadi tanpa diawali oleh *partial discharge*. *Partial discharge* yang terjadi secara terus menerus dapat mengakibatkan penurunan kekuatan isolasi dan dapat memicu terjadinya *breakdown* [1].

Kegagalan isolasi dapat terjadi karena factor internal yaitu adanya aktivitas *partial discharge* pada transformator. Aktivitas *partial discharge* yang terjadi secara terus menerus dapat mengakibatkan *breakdown* pada isolasi transformator. Kerusakan ini dapat berakibat fatal yaitu mengakibatkan kebakaran pada transformator. [2]

Secara umum *partial discharge* pada isolasi peralatan listrik dikategorikan menjadi 3 jenis, yaitu peluahan permukaan (*surface discharge*), rongga (*void discharge*) dan korona (*corona*). Berikut jenis *partial discharge*.



Gambar 2. 1 Jenis-jenis peluahan sebagian (*partial discharge*). (a) Peluahan sebagian permukaan (*surface discharge*), (b) Peluahan rongga (*discharge void*), (c) Peluahan korona (*corona discharge*)

Peluhan permukaan (*surface discharge*) merupakan peluahan yang terjadi pada permukaan bahan dielektrik. Ketika elektroda mengalami tekanan medan listrik yang sangat tinggi yang melewati ambang batas isolasi, maka peluahan permukaan dapat terjadi. Kekuatan permukaan bahan dielektrik yang lebih kecil daripada kekuatan isolasi sehingga mengakibatkan terjadinya peluahan dipermukaan elektroda[3].

Peluhan rongga (*discharge void*) adalah peluahan yang diakibatkan oleh adanya gelembung udara yang terdapat pada sebuah bahan dielektrik. Saat suatu bahan dielektrik padat mengalami tekanan listrik, gelembung udara tersebut akan memikul tekanan medan listrik yang lebih besar dibanding isolasi padat. Jika tekanan listrik pada rongga udara tersebut melebihi kemampuan isolasinya, maka akan terjadi peluahan didalam rongga dielektrik[3].

Peluhan korona (*corona discharge*) adalah pelepasan listrik statis yang terjadi ketika udara atau gas di sekitar konduktor menjadi terionisasi. Hal ini terjadi saat tegangan listrik pada konduktor tersebut melebihi batas tertentu, namun belum cukup kuat untuk menyebabkan loncatan listrik atau busur listrik. Korona menyebabkan rugi-rugi daya dan mengakibatkan kekuatan dielektrik bahan isolasi turun akibat adanya reaksi kimia yang dihasilkan oleh aktivitas korona. Magnitude korona dipengaruhi oleh polaritas tegangan. Ketika tegangan positif korona akan timbul dalam bentuk lapisan yang berwarna putih kebiruan di permukaan elektroda

dan saat tegangan negatif korona akan timbul dalam bentuk bintik-bintik cahaya kemerahan yang berada di seluruh kawat konduktor[4].

2.2 Metode Pendeteksian *Partial discharge*

Pendeteksian *partial discharge* bertujuan untuk mengidentifikasi kerusakan dini pada isolasi peralatan tegangan tinggi, seperti trafo. Metode untuk melakukan pendeteksian *partial discharge*, terdapat dua metode yaitu metode konvensional dan metode non-konvensional.

1. Metode secara konvensional

Metode konvensional ini merupakan metode yang menggunakan standar IEC 60270, yaitu untuk mendeteksi *partial discharge* dengan metode pengukuran secara langsung. Namun metode ini memiliki kekurangan yaitu terdapat *noise* yang relatif tinggi.

2. Metode Non-konvensional

Pada metode ini tidak mengikuti standard IEC 60270. Pendeteksian *partial discharge* pada metode ini menggunakan tiga jenis yaitu:

1. Pendeteksian Elektromagnetik

Sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh *partial discharge*. Sinyal ini memiliki frekuensi yang tinggi sehingga ditangkap menggunakan sensor khusus seperti antena *High Frequency* (3 MHz – 300 MHz) dan *Ultra High Frequency* (300 MHz – 3000 MHz)

2. Pendeteksian emisi suara (10 kHz - 300 kHz)

3. Pendeteksian secara optik

Metode pendeteksian UHF atau dengan rentang frekuensi tinggi ini lebih dikenal sebagai metode elektromagnetik (UHF). Keunggulan dari metode elektromagnetik (UHF) selain memiliki harga *noise* yang rendah juga memiliki tingkat sensitifitas yang lebih besar dibandingkan metode konvensional dalam mendeteksi timbulnya peluahan sebagai. Metode ini pertama kali digunakan untuk mendeteksi peluahan sebagian pada GIS (*Gas Insulated Switchgear*)[5].

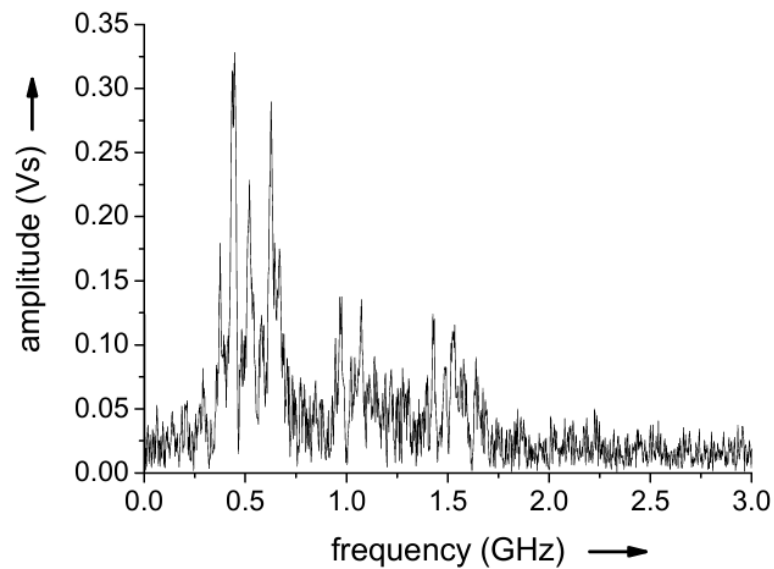
Metode elektromagnetik saat ini mulai diterapkan pada transformator daya untuk menguji kekuatan isolasi minyak. Pengujian dilakukan pada saat trafo sedang dioperasikan untuk mengetahui secara langsung peristiwa peluahan sebagian yang terjadi. Terdapat penelitian yang menggunakan dua sensor elektromagnetik dan ditempatkan didalam sebuah trafo melalui lubang dielektrik yang terdapat pada trafo. Sensor yang ditempatkan pada trafo harus sesuai dengan kondisi trafo yang digunakan. Penempatan sensor ke dalam trafo bertujuan untuk memantau peristiwa peluahan sebagian yang terjadi pada isolasi minyak selama proses pengoperasian trafo. Dari pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa metode elektromagnetik dapat diterapkan pada sebuah trafo untuk mendeteksi timbulnya peluahan sebagian serta dapat memonitoring keadaan trafo itu sendiri. Hal ini berdasarkan data kondisi bahan isolasi selama pengoperasian yang direkam oleh spektrum analyzer [6].

2.3 Karakteristik Peluahan

Karakteristik dari sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh peluahan sebagian tergantung pada jenis sumber peluahan sebagian dan medium terjadinya peluahan sebagian tersebut. Sinyal elektromagnetik yang ditangkap oleh sensor akan ditampilkan pada osiloskop. Karakteristik sinyal peluahan dapat ditentukan dari beberapa parameter yaitu:

1. Frekuensi sinyal peluahan sebagian

Frekuensi merupakan salah satu parameter yang dapat menentukan karakteristik sinyal peluahan sebagian. Frekuensi menunjukkan jumlah sinyal peluahan sebagian yang terjadi dalam waktu satu detik. Frekuensi dari peluahan sebagian dapat ditentukan dengan fungsi *FFT (Fast Fourier Transform)* dengan mengubah gelombang domain waktu menjadi domain frekuensi [7].

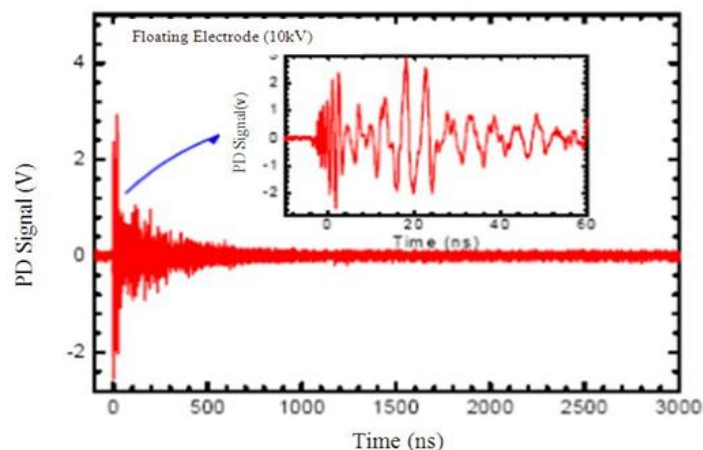


Gambar 2. 2 FFT Peluhan Sebagian [7]

Gambar 2.2 menunjukkan besarnya nilai frekuensi dari sinyal peluhan sebagian dengan menggunakan fungsi FFT. Amplitudo tertinggi dinyatakan sebagai frekuensi dominan. Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa frekuensi dominan berada pada 600 MHz.

2. Lama durasi sinyal

Parameter lain yang digunakan untuk menentukan karakteristik dari peluhan sebagian adalah lama durasi sinyal. Cara ini dilakukan dengan mendeteksi durasi waktu peluhan yang ditentukan dengan mengasumsikan adanya perubahan amplitudo pada gelombang muka dan diakhiri dengan adanya ekor gelombang [8].



Gambar 2. 3 Durasi waktu peluhan sebagian [8]

Gambar 2.3 menunjukkan gelombang peluahan yang dihasilkan dengan menggunakan floating electrode. Pada gambar di atas ditunjukkan bahwa amplitudo tertinggi dimulai pada titik 0 sampai titik 60, yang berarti bahwa durasi peluahan sebagian berlangsung selama 60 ns. Karakteristik peluahan sebagian dapat juga dilihat dari frekuensi saat terjadinya peluahan[8][7].

Suatu radiasi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan sebagian merupakan suatu bentuk energi yang dapat digunakan sebagai parameter dalam menentukan adanya peristiwa peluahan sebagian. Energi yang dihasilkan ini dapat digunakan untuk menentukan waktu tiba gelombang elektromagnetik. Hal ini dapat membantu dalam menentukan tingkat sensitivitas dari suatu sensor elektromagnetik dalam mendeteksi terjadinya peluahan sebagian.

2.4 Sensor Untuk Mendeteksi *Partial discharge*

Untuk mendeteksi *partial discharge* dapat menggunakan metode *Ultra High Frequency* (UHF) bisa digunakan dengan sensor yang berfungsi untuk menangkap ataupun mendeteksi sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh *partial discharge*. Pemantauan kondisi isolasi meliputi pendeteksian dan pengidentifikasian peluahan sebagian sampai dengan penentuan lokasi terjadinya peluahan sebagian tersebut. Untuk mendeteksi peluahan sebagian dibutuhkan sebuah sensor yang berfungsi untuk menangkap sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh sumber peluahan. Pada metode pendeteksian sinyal elektromagnetik terdapat beberapa jenis antena yang digunakan sebagai sensor yaitu antena *straight wire*, *trapezoidal wire*, *flat plate*, dan *conical* [5]. Bentuk dan struktur antena sangat berpengaruh terhadap hasil sinyal gelombang elektromagnetik yang ditangkap.

Hasil gelombang elektromagnetik peluahan sebagian yang akan diperoleh sangat dipengaruhi oleh pemilihan sensor yang digunakan. Pada penelitiannya T. Pinpart membandingkan tiga jenis sensor yang digunakan dalam mendeteksi peluahan sebagian. Ketiga jenis sensor yang digunakan adalah antena dengan tipe *disc*, *monopole* dan *spiral*. Sumber peluahan sebagian menggunakan sumber peluahan buatan yang jaraknya terhadap sensor divariasikan. Sensor dengan tipe *monopole* mampu menangkap bentuk gelombang dengan waktu tunda yang relatif kecil. Hal

ini dikarenakan ukuran yang kecil dan struktur dari antenanya yang sederhana. Untuk sensor dengan tipe *disc*, memiliki kemampuan yang lebih sensitif dalam mendeteksi energi yang dipancarkan oleh radiasi gelombang elektromagnetik. Sementara untuk sensor dengan tipe spiral memberikan hasil yang kurang akurat dimana timbulnya waktu muka sinyal gelombang elektromagnetik sangat sulit ditentukan. Hal ini bisa jadi diakibatkan oleh bentuk dari sensor spiral yang relatif rumit [9].

Penelitian tentang sensor *fraktal Hilbert* ini menggunakan sensor *Hilbert* dengan orde 3, dimensi 7 cm x 7 cm dan lebar kawat penghantar adalah 4 mm. Dari penelitian ini diperoleh pengaruh sifat self-similarity dan plane-filling dari kurva *Hilbert fraktal*. Karakteristik antenna dianalisis secara numerik menggunakan perangkat lunak berbasis metode momen, dan karakteristik input yang diprediksi kemudian dibandingkan dengan data eksperimen. Hasil yang diperoleh menunjukkan hubungan antara *self-similarity* dari geometri antenna dan respons frekuensinya. Geometri kurva *Hilbert fraktal* iterasi keempat yang berbentuk bujur sangkar dengan sisi 7 cm, menghasilkan frekuensi resonansi 267 MHz, yang jauh lebih rendah daripada antenna resonansi lainnya dengan ukuran yang sama. Penggunaan sensor *fraktal Hilbert* ini memiliki keuntungan dikarenakan dimensi dari sensor yang besar sehingga sensitivitasnya juga tinggi. Tetapi, karena dimensi yang besar maka sensor ini tidak dapat diletakkan pada lubang saluran pembuangan minyak isolasi [10].

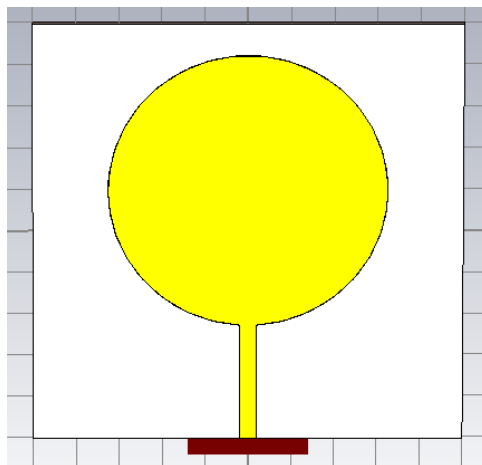
Sensor dengan tipe *monopole* merupakan jenis sensor yang biasa digunakan pada saluran pembuangan minyak isolasi. Ukuran sensor disesuaikan dengan ukuran pada saluran pembuangan. Sensor yang ditempatkan pada saluran pembuangan minyak isolasi memiliki diameter kurang dari 5 cm dengan panjang di bawah 20 cm [11]. Sensor *monopole* yang dirancang berbentuk *monopole* pendek, plat, zig-zag atau konikal atau bentuk lainnya dengan syarat sensor harus memiliki ukuran yang sama dengan dengan ukuran saluran pembuangan minyak isolasi. Sensor tidak boleh ditempatkan terlalu dalam karena akan menyebabkan semakin membesarnya magnitude sinyal peluahan. Hal ini dapat meningkatkan tekanan medan listrik yang tinggi pada ujung sensor yang akhirnya dapat memicu terjadinya *breakdown*. Untuk

mengurangi tekanan listrik pada ujung sensor dapat dilakukan dengan membungkus bahan dielektrik tertentu pada sensor.

Pada jendela dielektrik sensor yang digunakan memiliki bentuk berupa planar atau mendatar, *microstrip*, *log-spiral*, *spiral*, dan *fractal*. Pada jendela dielektrik sensor dibuat pada permukaan bahan dielektrik sama seperti membuat rangkaian sirkuit tercetak (PCB-Printed Circuit Board). Ukuran dan bentuk sensor yang dicetak pada PCB harus disesuaikan dengan frekuensi kerja sensor. Memperkecil ukuran sensor hingga 5 x 5 cm dapat digunakan pada frekuensi yang lebih tinggi. Sensor ini memiliki kekurangan karena memiliki bandwidth spectrum frekuensi kerja yang kecil. Namun hal ini dapat diatasi dengan mendesain *microstrip* sensor menggunakan PCB berlapis sehingga sensor dapat bekerja pada frekuensi tinggi antara 30 MHz sampai dengan 1000 MHz.

2.5 Sensor *Micro-strip elliptical monopole*

Sensor *Micro-strip* merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* yang menggunakan bahan metal yang didesain dan dibuat untuk menangkap sinyal gelombang elektromagnetik. Sensor ini berfungsi sebagai penghubung antara peralatan pengujian seperti sinyal digitilizer dengan lingkungan sekeliling sensor berada.



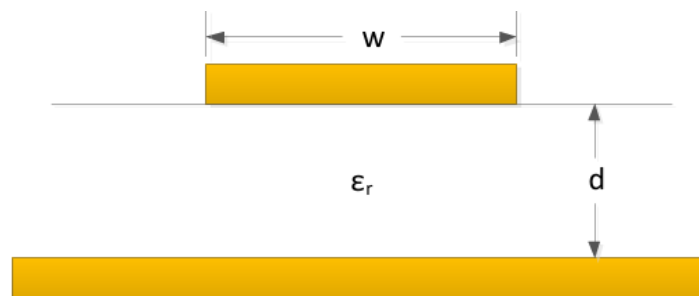
Gambar 2. 4 Sensor *Micro-strip Monopole*

Sensor bentuk microstrip ini biasanya dicetak pada permukaan bahan dielektrik. Dengan metode yang sama dengan pembuatan panel rangkaian sirkuit tercetak PCB (*printed circuit board*). Sensor dicetak pada papan PCB dengan ukuran dan desain yang sesuai dengan frekuensi kerja sensor. Untuk frekuensi tinggi, ukuran sensor dapat diperkecil sampai 4x5 cm. Namun sensor ini mempunyai *bandwidth* spektrum frekuensi kerja yang sangat kecil. Untuk memperbesar *bandwidth*, maka mendesain microstrip sensor menggunakan PCB berlapis. Sebagai hasilnya, diperoleh sensor dengan rentang frekuensi kerja yang sangat tinggi, 300 MHz – 3000 MHz. Antenna *Micro-strip* berbentuk lingkaran ini digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* dalam rentang frekuensi UHF (300 MHz – 3000 MHz). Pada penelitian menggunakan sensor *single layer* dengan ukuran 4x9 dan *double layer* 4x12, dimana pada sensor yang digunakan memiliki perbedaan pada ukuran dan untuk *single layer* itu dia tidak menggunakan groundplane sedangkan pada *double layer* itu menggunakan groundplane. Oleh karena itu, didapatkan hasil frekuensi yang bagus untuk sensor ini dalam rentang frekuensi (1200 MHz – 3000 MHz). Untuk mengetahui sensitivitas dari sensor ini salah satu metodenya yaitu menguji sensor untuk menangkap sinyal elektromagnetik dengan menggunakan *Transverse electromagnetic cell* (TEM Cell).

2.6 Transverse Electromagnetic Cell (TEM Cell)

Transverse electromagnetic cell merupakan sebuah pelat sejajar yang salah satu susunan bersifat konduktor dan dapat mentransfer sinyal listrik dan magnetik yang dibuat Myron L. Crawford pada tahun 1973 di Badan Standar Nasional. Desain TEM Cell ini memungkinkan medan listrik dapat merambat secara seragam di antara sekat (septum) dan pelat luar (EMC) yang berfungsi untuk menghasilkan gelombang elektromagnetik pada rentang frekuensi yang lebar, dari arus searah hingga beberapa GHz. Gelombang yang didapatkan dari TEM Cell ini memiliki karakteristik seperti gelombang planar yang merambat menjauh dari antenna. TEM Cell ini dirancang dengan plat atas dan plat bawah dipisahkan dengan jarak tertentu untuk mendapatkan impedansi. Maka sel ini dirancang untuk memenuhi impedansi antenna sebesar 50 ohm [12]. TEM-cell terdapat 2 jenis yaitu tipe terbuka dan tipe

tertutup. Jika dinding samping dari TEM-cell tipe tertutup dihilangkan maka akan menjadi TEM-cell tipe terbuka. Keunggulan tipe tertutup dibandingkan terbuka yaitu efek noise latar belakang akan ditekan oleh TEM-cell tertutup dan interferensi elektromagnetik diukur dengan akurasi yang lebih tinggi dalam TEM-cell tipe tertutup.



Gambar 2. 5 Struktur Tem-Cell [13]



Gambar 2. 6 Tem-Cell Tipe Tertutup[13]

Pada penelitian ini untuk menguji sensitivitas sensor digunakan transverse electromagnetic cell (TEM-cell) dengan tipe tertutup (closed) dan memiliki respon frekuensi hingga 1 GHz. Struktur TEM-cell ini terdiri dari pelat konduktor yang disusun secara paralel. Salah satu pelat memiliki ukuran lebih lebar dan berfungsi sebagai ground. Sementara itu, pelat atas dengan lebar tertentu diposisikan pada jarak tertentu untuk menciptakan impedansi yang diinginkan. Pada port output TEM-cell dihubungkan dengan terminasi 50 ohm. Bentuk dari TEM-cell tipe tertutup ini dapat dilihat pada Gambar 2.6.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dan penulisan laporan ini dimulai pada bulan februari 2025 yang bertempat di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Tahun 2025						
		2	3	4	5	6	7	8
1.	Studi Literatur							
2.	Perancangan Penelitian							
3.	Penulisan Laporan							
4.	Seminar Proposal							
5.	Pengujian Alat							
6.	Analisa Data							
7.	Seminar Hasil							
8.	Komprehensif							

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Sensor *Micro-strip Ellipstical Monopole*

Jenis sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor *Micro-strip elliptical monopole*. Sensor dibuat dengan menggunakan bahan tembaga dan PCB yang didesain dengan menggunakan perangkat lunak *CST Microwave studio*

2. Satu unit laptop

Laptop digunakan untuk menyimpan data gelombang output dari osiloskop. Gelombang yang dihasilkan pada osiloskop kemudian akan diolah menggunakan *software* excel dan matlab. Matlab akan menampilkan Gambar pulsa yang direkam oleh sensor kemudian dianalisis.

3. *Software CST Microwave Studio*

Software CST Microwave Studio digunakan untuk mendesain dan mensimulasikan sensor *Micro-strip elliptical monopole*

4. *Function generator*

Function generator sebagai sumber sinyal input berbentuk pulsa persegi berdurasi 1 μ s, yang disalurkan ke dalam TEM Cell.

5. Osiloskop

Dalam pengujian ini Osiloskop digunakan untuk menampilkan data sinyal gelombang *partial discharge* yang ditangkap oleh antena *Micro-strip* dan HFCT.

6. *Transverse Electromagnetic Cell* (TEM Cell) tipe tertutup

TEM cell yang akan dipergunakan adalah tipe tertutup. Penggunaan tipe tertutup agar pada saat pengujian sensitivitas, antena tidak mendapatkan gangguan noise dari luar.

7. Voltage regulator

Voltage regulator digunakan untuk menjaga tegangan keluaran yang input dari sumber PLN ke trafo pada tingkat yang tetap meskipun terjadi *fluktuasi* pada tegangan masukan.

8. Transformator *step-up* 5 KV

Trafo uji digunakan untuk menaikkan tegangan dari PLN untuk membangkitkan *partial discharge*. Trafo uji yang digunakan adalah trafo tegangan dengan kapasitas 220 V/20 KV.

9. Resistor pembatas

Resistor pembatas digunakan untuk menurunkan arus yang dibangkitkan oleh trafo tegangan sebelum masuk ke PD *source*, dengan perbandingan yang digunakan sebesar 1:1000.

10. Model tangka trafo & isolator bushing

Model tangki trafo digunakan untuk memodelkan trafo yang sebenarnya. Model tangki trafo memiliki ukuran panjang sebesar 1 m, lebar sebesar 0,8 m dan tinggi sebesar 1 m. Tangki ini terbuat dari logam dan dilapisi cat. Pada tangki trafo ditambahkan bushing yang berfungsi sebagai isolator, yaitu untuk melindungi tangki trafo saat diberikan tegangan dari trafo uji.

11. Terminasi 50 Ω

Penggunaan terminasi 50 Ω dalam pengujian antena sangat penting untuk memastikan akurasi pengukuran, kesesuaian impedansi, dan menghindari pantulan sinyal.

3.3 Metode Penelitian

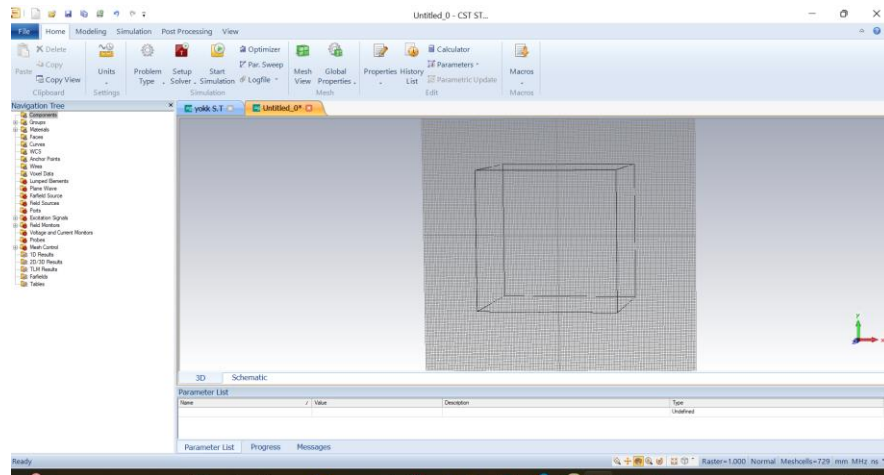
Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Desain sensor

Dimensi sensor keseluruhan yang diinginkan adalah tidak lebih dari 4x12. Sensor dirancang untuk bekerja pada rentang UHF, yakni 300 MHz s.d 3000 MHz. Pemilihan rentang ini karena frekuensi sinyal *partial discharge* pada peralatan sistem tenaga listrik seperti transformator daya. Sensor *micro-strip* didesain menggunakan perangkat lunak *CST Microwave Studio*.

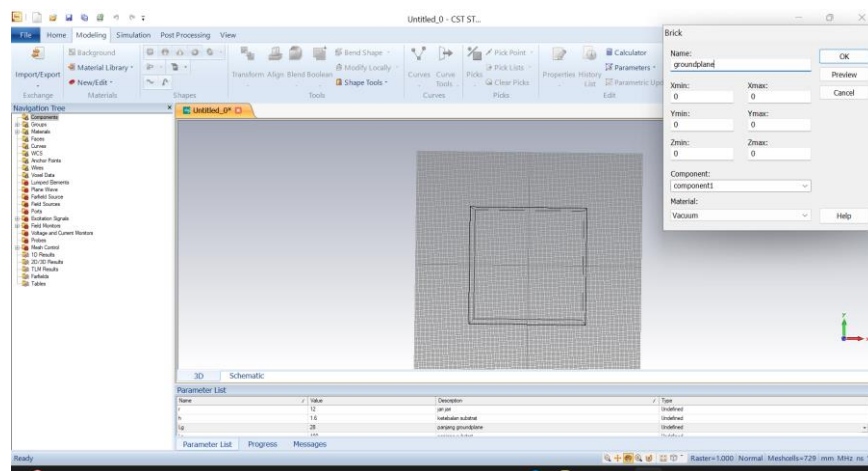
Adapun Langkah-langkah dalam pembuatan desain sensor *micro-strip* pada aplikasi *CST Microwave Studio* :

1. Membuka *software CST Microwave Studio*



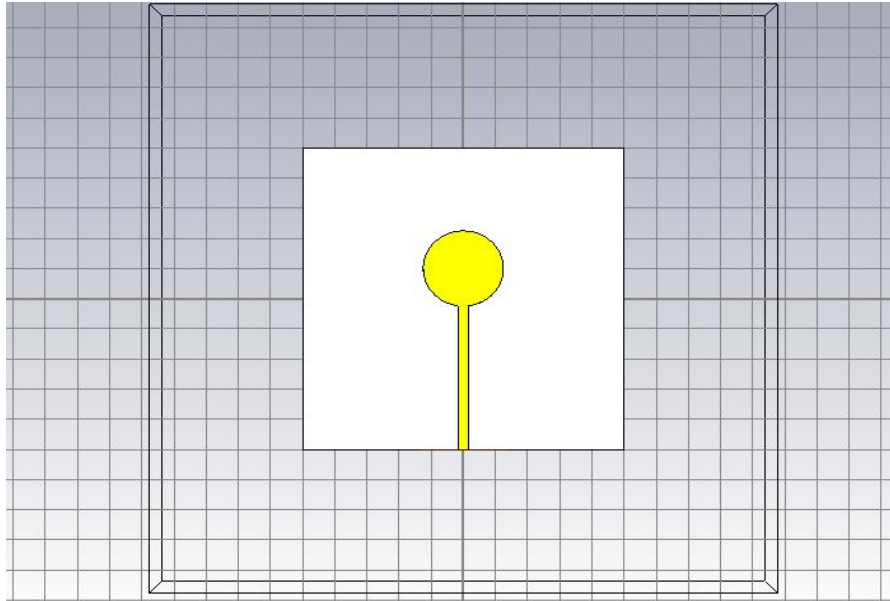
Gambar 3. 1 Tampilan *CST Microwave Studio*

2. Pada *software CST Microwave Studio* tidak dapat memasukkan gambar garis menggunakan persamaan. Namun CST menyediakan metode gambar dengan menggunakan titik koordinat (x,y).



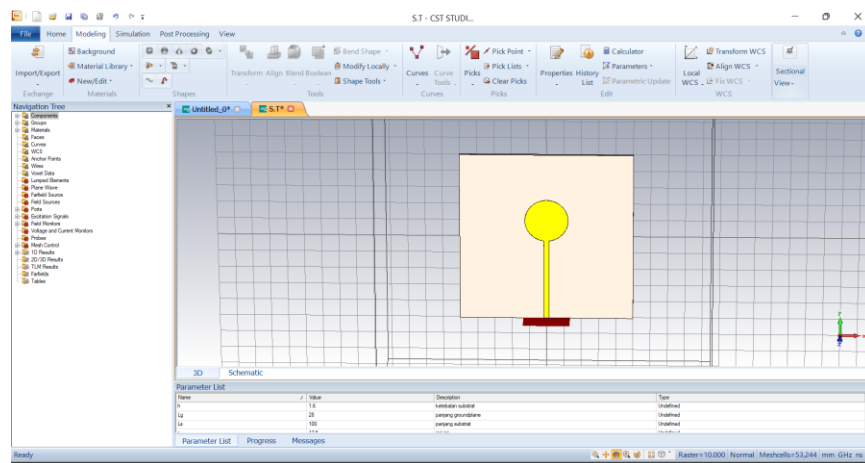
Gambar 3. 2 Titik koordinat kurva x dan y

3. Kemudian hasil dari koordinat yang dibuat pada *CST Microwave Studio* berbentuk kurva



Gambar 3. 3 Bentuk kurva elliptical *monopole*

4. Setelah kurva dibuat menjadi desain *micro-strip*. Maka simulasi dapat dijalankan untuk mengetahui karakteristik sensor seperti S11, VSWR, impedansi dan parameter lainnya.



Gambar 3. 4 Elliptical yang terhubung dengan port

3.3.2 Pengujian sensitivitas sensor *micro-strip*

Pengujian dilakukan dengan menggunakan TEM-Cell tipe tertutup. Diagram rangkaian pengujian ditunjukkan dalam gambar 3.5. Input pengujian dihasilkan oleh sebuah Function Generator. Input yang diberikan berupa pulsa persegi dengan durasi waktu 1 μ s. Sebuah osiloskop dipergunakan untuk merekam input pulsa dan

dimana :

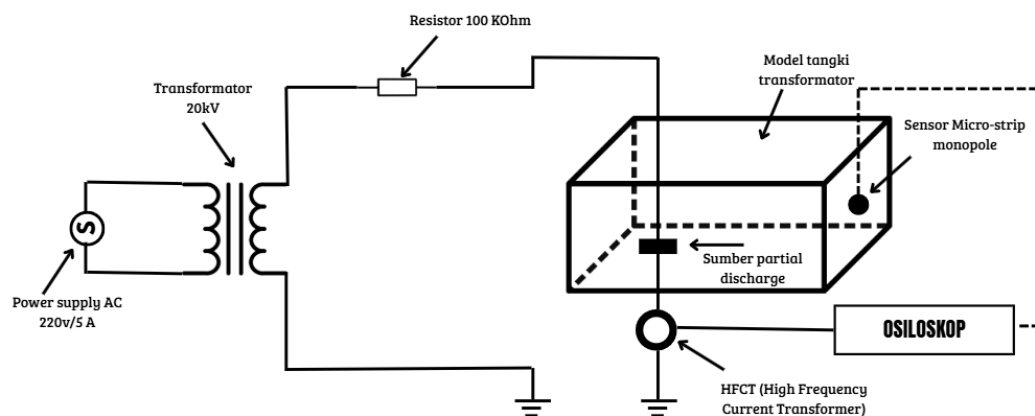
V1 : Tegangan yang dikeluarkan oleh *function generator* (V)

V2 : Tegangan yang ditangkap oleh antena (V)

Gain : Besarnya sinyal yang ditangkap antena (dB)

3.3.3 Pengujian Pendeteksian *Partial discharge*

Pengujian direncanakan akan menggunakan tangki transformator daya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sumber *partial discharge* yaitu *surface discharge* dan *void discharge*. Sensor ditempatkan pada saluran pembuangan minyak isolasi transformator. Sumber *partial discharge* berada didalam tangki dengan posisi yang bervariasi. Variasi posisi sumber *partial discharge* terhadap sensor perlu di analisis untuk mengetahui dampak dari perambatan sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh *partial discharge*.



Gambar 3. 6 Diagram pengujian pendeteksian *partial discharge*

Rangkaian pengujian pendeteksian *partial discharge* pada medium udara menggunakan rangkaian seperti Gambar 3.6 diatas, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a) Proses pembangkitan *partial discharge* dilakukan dengan membuat rangkaian pengujian seperti Gambar 3.6 komponen komponen yang digunakan meliputi tegangan sumber, voltage regulator, trafo *step up*, resistor pembatas, elektroda pengujian, isolator pengujian, kemudian sensor antena *micro-strip* elliptical dan HFCT yang dihubungkan dengan osiloskop untuk menampilkan bentuk gelombang *partial discharge* yang terjadi.

- b) Penggunaan sumber *partial discharge* diatur sesuai pengujian yang dilakukan. Sampel pengujian *partial discharge* diletakan diantara elektroda batang dan piring. Pada pengujian *surface discharge* isolator pengujian menggunakan *chart paper* 3 lapis dengan ketebalan 0.5 mm. Pada pengujian *void discharge* menggunakan *chart paper* 3 lapis dengan ketebalan 0.5 mm, pada lapis ke 2 dibuat berlubang dengan diameter 2 mm. Pada pengujian *corona discharge* menggunakan akrilik 2 lapis dan *chart paper* 1 lapis dengan ketebalan 0.5 mm, pada lapis ke 2 diletakkan *chart paper*.
- c) Kemudian pada saat pembangkitan *partial discharge*, tegangan output trafo yang digunakan adalah sebesar 4 kV demi keamanan peralatan. Jarak antara ke 2 sensor dan sumber *partial discharge* adalah 50 cm.
- d) Pengambilan data pengujian disimpan sebanyak 50 data untuk setiap masing masing sumber *partial discharge* dan variasi jarak.
- e) Data pengujian disimpan dalam format CSV, untuk memudahkan proses pengolahan data pada excel
- f) Pengolahan data dilakukan dengan bantuan *software* excel dan matlab 2022.

3.4 Proses pengolahan data *partial discharge*

Adapun langkah langkah yang dilakukan dalam mengolah sinyal yang didapat sebagai berikut:

1. Pengolahan data karakteristik magnitudo

Adapun langkah langkah yang dilakukan dalam mengolah data yang didapat sebagai berikut:

- a) Data yang diperoleh dalam pengujian berupa data dalam bentuk tabular, kemudian data di simpan dengan format CSV seperti tambak pada gambar 3.7 yang berisikan informasi pengujian *partial discharge*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	Format	1.08																		
2	Memory Length	1000	Memory Length	1000																
3	IntpDistance	0	IntpDistance	0																
4	Trigger Address	99	Trigger Address	99																
5	Trigger Level	1.84E-01	Trigger Level	1.84E-01																
6	Source	CH1	Source	CH2																
7	Vertical Units	V	Vertical Units	V																
8	Vertical Units Div	0	Vertical Units Div	0																
9	Vertical Units Extend Div	16	Vertical Units Extend Div	16																
10	Label		Label																	
11	Probe Type	0	Probe Type	0																
12	Probe Ratio	1.00E+00	Probe Ratio	1.00E+00																
13	Vertical Scale	1.00E-01	Vertical Scale	1.00E-01																
14	Vertical Position	7.20E-02	Vertical Position	-1.04E-01																
15	Horizontal Units	5	Horizontal Units	5																
16	Horizontal Scale	5.00E-07	Horizontal Scale	5.00E-07																
17	Horizontal Position	2.00E-06	Horizontal Position	2.00E-06																
18	Horizontal Mode	Main	Horizontal Mode	Main																
19	SyncEI Mode	Real Time	SyncEI Mode	Real Time																
20	Sampling Period	5.00E-09	Sampling Period	5.00E-09																
21	Horizontal Old Scale	5.00E-07	Horizontal Old Scale	5.00E-07																
22	Horizontal Old Position	2.00E-06	Horizontal Old Position	2.00E-06																
23	Firmware	V1.21	Firmware	V1.21																
24	Mode	Detail	Mode	Detail																
25	Waveform Data	-5.00E-07	Waveform Data	-5.00E-07	-0.004															

Gambar 3. 7 Isi File Osiloskop

- b) Data *partial discharge* disimpan sebanyak 50 file, kemudian dikelompokkan berdasarkan jarak pengujian dan sumbernya masing-masing.
- c) Data yang telah dikelompokkan kemudian dimuat kedalam matlab.

```

1 % =====
2 % Gabungan: Konversi Volt -> mV (kolom 2 & 4) + Koreksi Offset (mode kolom 2)
3 % Abaikan baris 1-25, simpan hanya kolom 2 (Antena) & kolom 4 (HFCT)
4 % Output akhir langsung di folder FinalOutput (tanpa ZIP)
5 % =====
6
7 % Folder tempat menyimpan file CSV asli
8 folderPath = 'D:\Bahan Skripsi\Pengujian PO\TERHADAP SUDUT\DOUBLE\BP';
9 outputPath = fullfile(folderPath, 'FinalOutput'); % Folder hasil akhir
10
11 % Buat folder Output jika belum ada
12 if ~exist(outputPath, 'dir')
13     mkdir(outputPath);
14 end
15
16 % Daftar semua file CSV dalam folder
17 fileList = dir(fullfile(folderPath, '*.csv'));
18
19 % Loop untuk setiap file CSV
20 for i = 1:length(fileList)
21     % Nama file input
22     inputFile = fullfile(folderPath, fileList(i).name);
23
24     % Pisahkan nama file dan ekstensi
25     [~, baseName, ext] = fileparts(fileList(i).name);

```

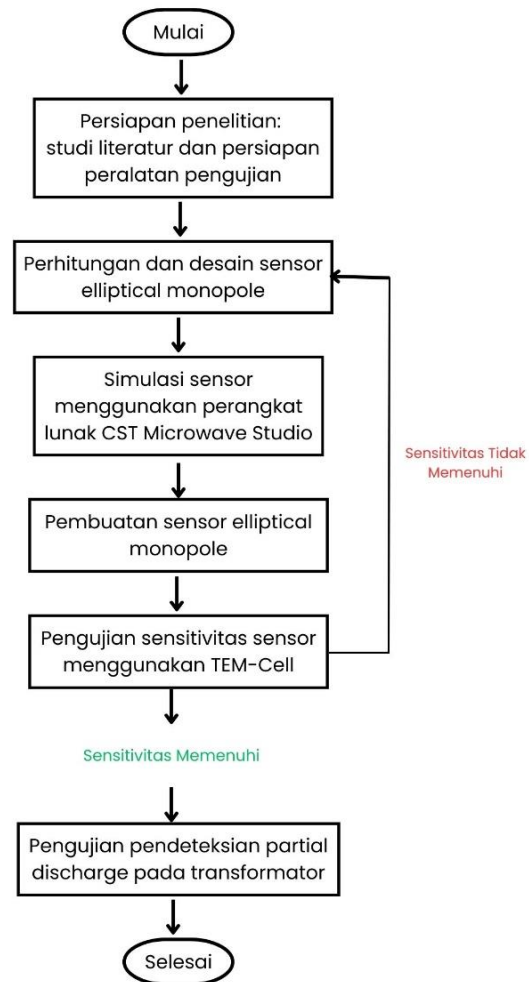
Gambar 3. 8 Data partial discharge yang telah di impor ke matlab

- d) Pada tahap analisis, data yang telah diimpor ke dalam MATLAB dianalisis menggunakan program (Terlampir) yang telah dirancang untuk mengidentifikasi karakteristik sinyal *partial discharge*. Analisis dilakukan dengan pendekatan *threshold* (ambang batas) berdasarkan waktu ekor sinyal *discharge*.

- e) Setiap sinyal *partial discharge* yang diperoleh memiliki nilai offset yang berbeda beda, sehingga penetapan nilai *threshold* dilakukan secara adaptif.
- f) Dengan menggunakan persamaan tersebut, program MATLAB akan menyeleksi bagian sinyal yang melebihi ambang batas, sehingga hanya bagian sinyal yang relevan dengan kejadian *partial discharge* yang dianalisis lebih lanjut.
- g) Setelah besar magnitude tegangan maksimum didapatkan kemudian dilakukan analisis karakteristik *partial discharge*.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir penelitian yang dapat ditunjukkan pada gambar 3.9



Gambar 3. 9 Diagram Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan proses pengujian serta analisis data maka diperoleh kesimpulan yang didasarkan pada analisis data yang telah dilakukan dan saran yang dapat menjadi rekomendasi untuk penelitian selanjutnya dalam pendeteksian *partial discharge*.

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil desain dan simulasi antenna menggunakan *software cst microwave studio* menunjukkan bahwa ukuran 4x9 *single layer* dan 4x12 *double layer* yang mendekati ketentuan yang ada.
2. Berdasarkan hasil pengujian sensitifitas sensor dengan ukuran 4x12 *double layer* mampu mendeteksi magnitudo tertinggi 62,4 mV dan sensor dengan ukuran 4x9 *single layer* mampu mendeteksi magnitudo tertinggi 51,2 mV.
3. Berdasarkan hasil pengujian *partial discharge*, nilai magnitudo yang dihasilkan pada antenna *single layer* lebih kecil dibandingkan dengan antenna *double layer*.
4. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik gelombang *partial discharge* yang dihasilkan antenna *Micro-strip elliptical monopole* dan HFCT menunjukkan bahwa fenomena yang terdeteksi merupakan *partial discharge*.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan jenis sensor yang berbeda untuk mengetahui perbandingan tingkat sensitivitas antara antenna sensor monopole dengan sensor lain dalam mendeteksi sinyal peluahan sebagian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Mechanism, "Partial *Discharges*," vol. 9, no. 5, 2002.
- [2] M. D. Judd, L. Yang, and I. B. B. Hunter, "Partial *discharge* monitoring for power transformers using UHF sensors Part 2: Field experience," *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 21, no. 3, pp. 5–13, 2005, doi: 10.1109/MEI.2005.1437603.
- [3] E. S. Sitorus, Henry B. H., Diah Permata, "Analisis Peluahan Sebagian (Partial *Discharge*) Pada Transformator Step-Up Tegangan Rendah Dengan Proses Pengisolasian Yang Bervariasi," *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2008.
- [4] J. S. Chang, P. A. Lawless, and T. Yamamoto, "Corona *Discharge* Processes," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 19, no. 6, pp. 1152–1166, 1991.
- [5] J. Lopez-Roldan, T. Tang, and M. Gaskin, "Design and testing of UHF sensors for partial *discharge* detection in transformers," *Proc. 2008 Int. Conf. Cond. Monit. Diagnosis, C. 2008*, pp. 1052–1055, 2008, doi: 10.1109/CMD.2008.4580463.
- [6] M. D. Judd, G. P. Cleary, C. J. Bennoch, J. S. Pearson, and T. Breckenridge, "Power transformer monitoring using UHF sensors: Site trials," *Conf. Rec. IEEE Int. Symp. Electr. Insul.*, pp. 145–149, 2002, doi: 10.1109/ELINSL.2002.995899.
- [7] S. Tenbohlen, D. Denissov, S. M. Hoek, and S. M. Markalous, "Partial *discharge* measurement in the ultra high frequency (UHF) range," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 15, no. 6, pp. 1544–1552, 2008, doi: 10.1109/TDEI.2008.4712656.

- [8] S. G. Goo, H. Ju, K. Park, K. Han, and J. Yoon, "Ultra-high frequency spectral characteristics of partial *discharge* in insulation oil," *Proc. 2008 Int. Conf. Cond. Monit. Diagnosis, C. 2008*, no. c, pp. 64–67, 2008, doi: 10.1109/CMD.2008.4580231.
- [9] T. Pinpart and M. D. Judd, "Experimental comparison of UHF sensor types for PD location applications," *2009 IEEE Electr. Insul. Conf. EIC 2009*, no. June, pp. 26–30, 2009, doi: 10.1109/EIC.2009.5166319.
- [10] K. J. V. and V. K. Varadan, "Hilbert Curve Fractal Antenna: A Small Resonant Antenna For VHF / UHF Applications," vol. 35, no. 5, p. 2002, 2002, doi: 10.1002/mop.10626.
- [11] J. Lopez-Roldan, T. Tang, and M. Gaskin, "Optimisation of a sensor for onsite detection of partial *discharges* in power transformers by the UHF method," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 15, no. 6, pp. 1634–1639, 2008, doi: 10.1109/TDEI.2008.4712667.
- [12] H. H. Sinaga, R. B. Vraja, H. B. H. Sitorus, D. Permata, and Y. Yuniati, "Sensitivity test of electromagnetic sensor using closed type transverse electromagnetic (TEM) cell," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 857, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/857/1/012018.
- [13] H. H. Sinaga and H. B. H. Sitorus, "Design of tem cell to test the electromagnetic sensor," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 12, pp. 3783–3788, 2017.