



TUGAS AKHIR - TE 184801

**DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI UDARA
DENGAN MENGGUNAKAN *LOOP ANTENNA***

Erick Bestowan
NRP 0711144000071

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

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



FINAL PROJECT - TE 184801

**PARTIAL DISCHARGE DETECTION ON AIR INSULATION
BY USING ULTRA HIGH LOOP ANTENNA**

Erick Bestowan
NRP 0711144000071

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

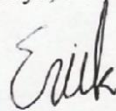
ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

**PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan tulisan dari tugas akhir berjudul "DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI UDARA DENGAN MENGGUNAKAN *LOOP ANTENNA*" adalah benar dari hasil karya intelektual mandiri yang diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan karya dari pihak-pihak lain serta saya akui sebagai karya sendiri.

Semua bahan referensi yang saya kutip maupun rujuk telah ditulis secara lengkap dalam daftar pustaka. Bilamana ternyata pernyataan ini tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 3 Juli 2019



Erick Bestowan

NRP. 0711144000071

**DETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI UDARA
DENGAN MENGGUNAKAN LOOP ANTENNA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagai Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

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

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



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



DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI UDARA DENGAN MENGGUNAKAN *LOOP ANTENNA*

Nama : Erick Bestowan
NRP : 0711144000071
Pembimbing I : Daniar Fahmi, ST.,MT.
Pembimbing II : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

ABSTRAK

Isolator pada system tenaga listrik sangatlah penting untuk memisahkan dua ata lebih penghantar listrik yang bertegangan. Tujuan dilakukan pemisahan tersebut adalah menghindari lompatan listrik atau percikan. Isolasi udara merupakan salah satu isolasi yang umum digunakan pada peralatan tegangan tinggi. Peralatan dapat rusak saat terjadi kegagalan (breakdown) isolasi karena adanya *arc*, suhu yang sangat panas dan karbonisasi. Kegagalan akan ditandai dengan adanya fenomena *Partial Discharge* saat kondisi *pre-breakdown*. Berdasarkan kondisi tersebut tugas akhir ini membahas metode deteksi *Partial Discharge* pada isolasi udara dengan menggunakan loop antenna. penelitian ini menganalisa pengaruh variabel jarak dan diameter dari elektroda pengujian. Analisa yang dilakukan menggunakan metode PRPD (*Phase-Resolved Partial Discharge*). Kondisi yang dianalisa mulai dari ketika normal hingga munculnya arus bocor (*leakage current*). Hasil analisa menggunakan loop antenna akan dibandingkan dengan metode *leakage current*. Analisa *leakage current* menggunakan *High Frequency Current Transformer*. Tujuan dan manfaat dari tugas akhir ini adalah mengantisipasi adanya kegagalan (*breakdown*) pada isolasi udara. Melalui pengujian ini diharapkan dapat diketahui bahwa gelombang elektromagnetik yang dihasilkan ketika PD muncul, akan semakin jelas apabila tegangan dan jarak antar elektroda semakin tinggi. Selain itu dapat diketahui bahwa loop antenna lebih unggul dibandingkan metode *leakage current* dengan HFCT karena kondisi PD dapat dianalisa lebih mudah dengan sudut PD lebih besar. Tugas akhir ini juga diharapkan dapat diimplementasikan untuk menunjang kebutuhan industri di Indonesia. Selain itu, analisa Tugas akhir ini diharapkan dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.

Kata kunci: Isolasi Udara, jarak, *Leakage Current*, *Partial Discharge*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PARTIAL DISCHARGE DETECTION ON GAS INSULATION BY USING LOOP ANTENNA

Nama : Erick Bestowan
NRP : 0711144000071
Advisor I : Daniar Fahmi, ST.,MT.
Advisor II : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

ABSTRACT

Isolator in electrical power system is crucial to separate two or more electrical conductors. Separation of electrical conductors is meant to prevent electrical current jump or sparks. Gas isolation is one of the most used types of isolators that are applied in high voltage appliances. Harm to equipment may happen in result of failure or breakdown of isolator due to *arc* which is very high and carbonated air. Failure of isolators may be observed through the phenomenon called *Partial Discharge* (PD) in *pre-breakdown* state. Based on this condition, this research will analyze methods of *Partial Discharge* detection in gas isolator using loop antenna. This research will analyze the leverage of distance variable and diameter of electrode used. Analyzation will be done with the implementation of *Phase-Resolved Partial Discharge* (PRPD) method. Conditions to be analyzed will start from normal state until the signs of leakage current is evident. The output achieved from the loop antenna will be compared with leakage current method for validation. *High Frequency Current Transformer* (HFCT) will be implemented to analyze leakage current. The purpose of this research is to anticipate failure or breakdown in gas isolator. Through this research, it is expected that electromagnetic waves could be known when PD starts to show, will become more evident with the increase of voltage and distance from the electrodes. Moreover, validation that loop antenna is more accurate rather than the leakage current method with HFCT could also be proven since the condition of PD could be easier to analyze with higher degree of PD. This research is aimed to be implemented to answer the challenges of industrial needs in Indonesia. Lastly, this research is hoped to be a reference for next corresponding researches.

Keyword: Gas insulation, Gap distance, Leakage current, Partial Discharge

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan YME yang selalu memberikan berkat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan tepat waktu. Semoga selalu dilimpahkan berkat kepada keluarga, sahabat, dan saudara saudara sebangsa dan setanah air.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang berjudul:

DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI UDARA DENGAN *LOOP ANTENNA*

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Kuasa atas limpahan berkat dan karunia-Nya.
2. Bapak Lubrin, Ibu Mindo, Adik Stefan, Hana serta seluruh keluarga besar yang tak terlukiskan jasanya dalam mendampingi saya hingga menjadi seorang sarjana.
3. Bapak Daniar Fahmi, ST.,MT., dan Bapak Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST.,M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu dan berbagi ilmu selama penelitian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T, M.Eng. selaku Ketua Jurusan serta seluruh dosen dan karyawan yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuannya selama proses perkuliahan di Teknik Elektro ITS.
5. Dian Atia, Hadi Lizikri, Basith Akbar, Irsan yang senantiasa membantu memberikan masukan dalam penulisan tugas akhir ini.
6. Seluruh keluarga Kalpataru yang senantiasa memberi dukungan selama masa perkuliahan
7. Teman-teman asisten Laboratorium Tegangan Tinggi yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
8. Seluruh keluarga besar e-54 atas semangat dan motivasi selama menempuh studi di jurusan teknik elektro.
9. Pihak-pihak lain yang belum bisa penulis sebutkan satu per satu yang ikut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk

perbaikan di masa yang akan datang. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat pada umumnya.

Surabaya, 3 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	13
1.1 Latar Belakang	13
1.2 Metodologi	14
1.3 Sistematika	15
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	17
2.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	17
2.2 Isolasi Udara	18
2.3 Kekuatan Dielektrik	18
2.4 Mekanisme Kegagalan Isolasi Udara	19
2.4.1 Mekanisme <i>Townsend</i>	21
2.4.2 Mekanisme <i>Streamer</i>	21
2.5 Peluahan Sebagian (<i>Partial Discharge</i>)	22
2.6 Radiasi Gelombang Elektromagnetik dari Partial Discharge	24
2.7 Loop Antenna	25
BAB III ALAT PENGUJIAN DAN METODE	
PENGAMBILAN DATA	27
3.1 Alat Pengujian	27
3.2 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	28
3.3 Elektroda Uji	28
3.4 <i>Loop Antenna</i>	29
3.5 HFCT dan Osiloskop	30
3.6 Proses Akuisisi Data	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Analisa PRPD	35
4.1.1 Analisa PRPD pada Isolasi Udara dengan Diameter Elektroda Jarum 1mm dan Jarak Elektroda 1cm, 1.5cm, dan 2cm	36

4.1.2	Analisa PRPD pada Isolasi Udara dengan Diameter Elektroda Jarum 2mm dan Jarak Elektroda 1cm, 1.5cm, dan 2cm.....	39
4.2	Pengaruh Jarak antar Elektroda pada Analisa PRPD	41
4.3	Pengaruh Diameter Elektroda pada analisa PRPD.....	42
4.4	Validasi Data dengan Metode <i>Leakage Current</i>	44
4.5	Perbandingan Metode Deteksi <i>Partial Discharge</i> dengan <i>Loop Antenna</i> dan HFCT	45
BAB V	PENUTUP	47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47
	RIWAYAT HIDUP.....	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	(a) Konfigurasi trafo, (b) Rangkaian ekuivalen trafo.....	17
Gambar 2. 2	Rangkaian dua dielektrik seri	19
Gambar 2. 3	Proses ionisasi dalam bentuk benturan	20
Gambar 2. 4	Visualisasi Mekanisme Townsend.....	21
Gambar 2. 5	Visualisasi Mekanisme Streamer.....	22
Gambar 2. 6	jenis peluahan sebagian (a) peluahan korona , (b) peluahan permukaan, (c) peluahan dalam	23
Gambar 2. 7	Magnitudo Ketika Terjadi Peluahan Sebagian.....	24
Gambar 2. 8	Arah Pergerakan Medan Elektromagnetik.....	24
Gambar 2. 9	Loop Antenna	25
Gambar 3. 1	Skema perencanaan alat pengujian	27
Gambar 3. 2	Alat pengujian yang digunakan	27
Gambar 3. 3	Rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC.....	28
Gambar 3. 4	Elektroda point to plane yang digunakan (a) Stainless Steel 1 mm (b) Stainless Steel 2 mm.....	29
Gambar 3. 5	Loop Antenna	30
Gambar 3. 6	Hasil setelah di plot dengan matlab elektroda jarum 1mm.....	32
Gambar 3. 7	Hasil setelah di plot dengan matlab elektroda jarum 2mm.....	32
Gambar 3. 8	Proses pengolahan PRPD.....	33
Gambar 4. 1	Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 1cm	36
Gambar 4. 2	Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 1cm	37
Gambar 4. 3	Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 1.5cm	37
Gambar 4. 4	Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 1.5cm	38
Gambar 4. 5	Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 2cm	38
Gambar 4. 6	Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 2cm	38
Gambar 4. 7	Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 1cm	39
Gambar 4. 8	Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 1cm	40
Gambar 4. 9	Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 1.5cm	40
Gambar 4. 10	Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 1.5cm	40
Gambar 4. 11	Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 2cm	41
Gambar 4. 12	Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 2cm	41

Gambar 4. 13	Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 1.5cm	42
Gambar 4. 14	Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 1.5cm	43
Gambar 4. 15	Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 1.5cm	43
Gambar 4. 16	Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 1.5cm	44
Gambar 4. 17	Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 1cm	45
Gambar 4. 18	Hasil dari antenna	45
Gambar 4. 19	Hasil dari HFCT	46

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi peralatan pembangkitan tegangan tinggi AC	28
Tabel 3. 2 Spesifikasi High Frequency Current Transformer (HFCT) .	30
Tabel 3. 3 Spesifikasi SIGLENT Handheld Digital Oscilloscope SHS1000	31
Tabel 4. 1 Tabel hubungan jarak dengan jumlah titik PRPD pada elektroda 1mm.....	39
Tabel 4. 2 Tabel hubungan jarak dengan jumlah titik PRPD pada elektroda 2mm.....	41

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULAN

1.1 Latar Belakang

Isolator pada system tenaga listrik sangatlah penting untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan. Tujuan dilakukan pemisahan tersebut adalah menghindari lompatan listrik atau percikan. Media isolasi memiliki beberapa jenis yaitu isolasi udara, padat dan udara. Setiap media memiliki karakteristik yang berbeda-beda sehingga tegangan tembus dan pemanfaatan yang dilakukanpun juga bervariasi. Bahan isolasi dapat menunjukkan sifatnya bila dipengaruhi oleh medan listrik. Medan listrik yang berasal dari arus AC (*alternative current*) atau arus bolak balik akan menimbulkan gejala yang kompleks [1].

Isolasi udara merupakan salah satu isolasi yang umum digunakan pada peralatan tegangan tinggi. Isolasi udara memiliki keunggulan dapat mengisi ruang yang kosong dengan waktu cepat, instalasi sederhana, dan murah [2]. *Arrester* sela batang yang terpasang pada saluran transmisi adalah salah satu peralatan yang menggunakan udara sebagai bahan isolasinya. Selain itu isolasi udara digunakan untuk media peredam busur api pada pemutus udara (*Air Blast Circuit Breaker*). Faktor *aging* (penuaan), kontaminan, dan pemeliharaan yang kurang mumpuni dapat menurunkan kualitas isolasi sehingga dapat merusak peralatan [3].

Peralatan dapat rusak saat terjadi kegagalan (*breakdown*) isolasi karena adanya *arc*, suhu yang sangat panas dan karbonisasi. Kegagalan akan ditandai dengan adanya fenomena *Partial Discharge* saat kondisi *pre-breakdown*. *Partial Discharge* merupakan peluahan sebagian yang dimana penyambungan dua elektroda terpisah akan terjadi. *Partial Discharge* ditandai dengan adanya desis, medan elektromagnetik, suhu yang tinggi, dan bau ozon [4]. Kegagalan isolasi dapat dihindari dengan mendeteksi *Partial Discharge* sedini mungkin. *Partial Discharge* harus dihentikan dengan proses perawatan peralatan.

Metode deteksi *Partial Discharge* yang paling umum adalah metode termografi yang dilakukan dengan menganalisa perbedaan suhu antara 2 elektrode dengan lingkungan. Kelemahan metode ini adalah kebutuhan akan ruangan yang gelap dan suhu lingkungan yang ideal. Selain itu metode *Acoustic Emission* (AE) juga dapat digunakan untuk mendeteksi *Partial Discharge* dengan memanfaatkan gelombang

elektromagnetik disekitar elektroda. Akan tetapi, biaya pemasangan *Acoustic Emission* sangatlah mahal[5].

Metode deteksi *Partial Discharge* yang terbaru adalah menggunakan antenna. Deteksi dengan menggunakan antenna memiliki keunggulan yaitu tidak membutuhkan kontak langsung, biaya relatif murah dan instalasi mudah. Beberapa macam metode deteksi PD dengan antenna adalah *microstrip*, monopole, *dipole* dan *loop antenna* [6]. Setiap metode deteksi antenna memiliki karakteristik yang berbeda-beda. *Microstrip* unggul pada 1 alamat frekuensi [7]. *Monopole* dan *dipole antenna* yang tersambung dengan sdrsharp dapat mendeteksi PD dengan frekuensi yang sangat bervariasi. *Loop antenna* memiliki keunggulan dari kedua metode deteksi lainnya. Variasi dapat langsung dilakukan dengan *sizing antenna* yang murah dengan satu alamat frekuensi [8].

Berdasarkan kondisi tersebut tugas akhir ini membahas metode deteksi *Partial Discharge* pada isolasi udara dengan menggunakan *loop antenna*. Penelitian ini menganalisa pengaruh variabel jarak dan diameter dari elektroda pengujian. Elektroda yang digunakan adalah *point to plane* (jarum ke datar) dengan bahan *steinless steel*. Pembangkit tegangan tinggi yang digunakan adalah tipe AC (*Alternative Current*). Frekuensi yang digunakan adalah *Very High Frequency* (VHF) dengan 1 titik frekuensi. Analisa yang dilakukan menggunakan metode PRPD (*Phase-Resolved Partial Discharge*). Kondisi yang dianalisa mulai dari ketika normal hingga munculnya arus bocor (*leakage current*). Hasil analisa menggunakan *loop antenna* akan dibandingkan dengan metode *leakage current*. Analisa *leakage current* menggunakan *High Frequency Current Transformer*.

Tujuan dan manfaat dari tugas akhir ini adalah mengantisipasi adanya kegagalan (*breakdown*) pada isolasi udara. Hal tersebut dilakukan dengan mendeteksi *Partial Discharge* (fenomena sebelum kegagalan terjadi) menggunakan *Loop Antenna*. Tugas akhir ini juga diharapkan dapat diimplementasikan untuk menunjang kebutuhan industri di Indonesia. Selain itu, analisa Tugas akhir ini diharapkan dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.

1.2 Metodologi

1. Studi Literatur

Pada tahap ini penulis mempelajari metode deteksi *Partial Discharge* dengan menggunakan antenna berdasarkan beberapa referensi ilmiah. Referensi ilmiah yang digunakan berupa jurnal, paper serta buku – buku

yang bersangkutan dengan penelitian tugas akhir penulis. Terdapat 3 referensi jurnal yang mendekati penelitian tugas akhir ini dan terlampir pada daftar pustaka.

2. Perancangan dan Pemodelan

Perancangan yang dilakukan adalah memanfaatkan modul pembangkitan tegangan tinggi AC yang berelektroda point to plane. Perancangan antenna dilakukan dengan perhitungan berdasarkan referensi tertentu.

3. Pengujian dan Pengambilan Data

Setelah rangkaian siap di uji akan dilakukan pengambilan data. Data yang diambil adalah sinyal yang di deteksi oleh antenna dan HFCT.

4. Analisa Data

Setelah data eksperimen telah didapat maka mulai menuju tahap analisa data. Data frekuensi, dan leakage current akan diklasifikasikan sehingga mendapatkan electrical characteristic dari PD tersebut. Analisa tersebut didasarkan dengan referensi ilmiah tertentu.

5. Penarikan Kesimpulan

Kemudian tahap selanjutnya adalah penarikan kesimpulan atas data-data yang telah diambil berdasarkan studi kasus yang ada.

6. Pembuatan Laporan

Pada tahap akhir dibuatlah buku tugas akhir yang terdiri atas 5 bab yang dimulai dengan latar belakang hingga kesimpulan.

1.3 Sistematika

Tugas akhir ini memiliki 5 bab yang diuraikan secara sistematis pada poin-poin berikut:

Bab 1 : Pendahuluan

Bab pendahuluan memiliki 3 subbab yang terdiri atas latar belakang, metodologi, sistematika. Latar belakang membahas keseluruhan penelitian mulai dari permasalahan hingga solusi yang ditawarkan. Permasalahan menjelaskan hal – hal yang dibahas dan dianalisis pada tugas akhir ini. Metodologi membahas langkah–langkah yang dilakukan untuk penelitian tugas akhir. Sistematika menjelaskan tentang struktur dari tugas akhir ini. Relevansi merupakan manfaat dari tugas akhir ini terhadap beberapa instansi.

Bab 2 : Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas tentang teori yang dapat menunjang tugas akhir dari penulis. Teori penunjang terdiri atas loop antenna, pembangkitan tegangan tinggi AC dan metode leakage current

Bab 3 : Alat Pengujian dan Pengambilan Data

Bab 3 membahas tentang metodologi pengujian dan pengambilan data. Pengujian dilakukan pada laboratorium tegangan tinggi ITS dengan menggunakan pembangkitan tegangan tinggi AC, loop antenna, dan HFCT

Bab 4 : Analisa Data

Bab 4 akan membahas tentang analisa data dari hasil eksperimen. Analisa menggunakan 2 metode yaitu metode deteksi dengan antena dan HFCT (*leakage current*). Kedua metode akan dibandingkan nantinya.

Bab 5 : Penutup

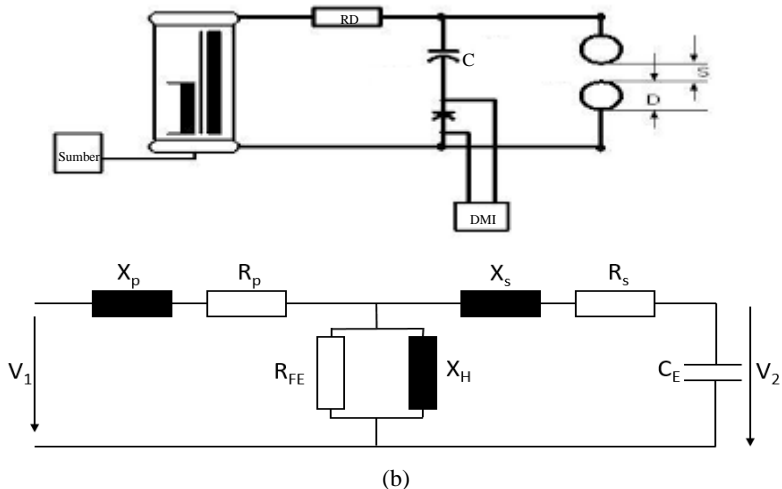
Bab 5 akan membahas tentang kesimpulan dan saran dari tugas akhir ini. Terdapat beberapa hasil yang dapat menjelaskan kondisi dari eksperimen ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Tegangan tinggi terdiri atas 3 macam yaitu tegangan tinggi bolak balik (AC), searah (DC) dan sesaat (Impuls). berdasarkan standart IEC tegangan tinggi AC bernilai 1 kV dan tegangan tinggi DC bernilai 1.5 kV. Tegangan tinggi di Indonesia menggunakan transmisi AC sedangkan tegangan tinggi DC digunakan untuk pengujian saja.

Tegangan tinggi bolak-balik diperoleh dari suatu trafo satu fasa dengan perbandingan belitan yang jauh lebih besar daripada trafo daya yang biasa disebut trafo uji. Belitan primer trafo dihubungkan ke sumber tegangan rendah bolak-balik, 220VAC/50 Hz. Belitan sekundernya membangkitkan tegangan tinggi dalam orde ratusan kilovolt. Gambar 2.1 menampilkan rangkaian tegangan tinggi bolak-balik (AC) dan konfigurasi transformator [9].



Gambar 2. 1 (a) Konfigurasi trafo, (b) Rangkaian ekuivalen trafo

2.2 Isolasi Udara

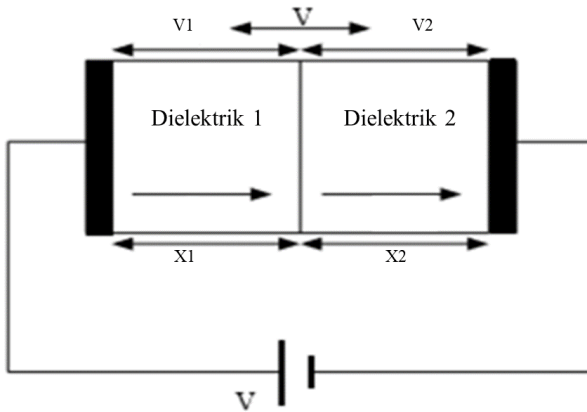
Isolasi udara merupakan isolasi yang paling banyak digunakan disebabkan oleh kekuatan dielektriknya yang lebih besar dibandingkan isolasi udara dan isolasi padat. Terdapat beberapa jenis isolasi udara yang umum digunakan, antara lain :

- Udara
- *Sulfur Hexafluoride* (SF₆)
- *Carbon dioxide* (CO₂).
- Isolasi Vakum

Isolasi udara mempunyai tegangan *breakdown* yang disebabkan oleh ionisasi (tumbukan ion-ion). Ketika ionisasi, elektron-elektron dapat menggandakan dirinya secara eksponensial dan apabila nilai tegangan injek sangat besar, maka kekuatan dielektrik isolasi udara akan mengalami kerusakan. Udara merupakan jenis isolasi udara yang banyak digunakan diantara lainnya. Namun, udara memiliki kekuatan dielektrik yang terendah. Jenis-jenis isolasi udara yang mempunyai kekuatan dielektrik yang besar, antara lain : *Sulfur Hexafluoride* (SF₆), *nitrogen* (N₂) dan *Carbon dioxide* (CO₂).

2.3 Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk bisa tahan terhadap tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan³). Kekuatan dielektrik ini tergantung pada sifat atom dan molekul udara itu sendiri. Namun demikian dalam prakteknya kekuatan dielektrik tergantung pada material dari elektroda, suhu, jenis tegangan yang diberikan, udara yang terdapat dalam udara dan sebagainya yang dapat mengubah sifat molekul udara. Dalam isolasi udara, kekuatan dielektrik setara dengan tegangan kegagalan yang terjadi. Dalam upaya memberikan gambaran tentang kekuatan dielektrik maka akan lebih memudahkan bila dua dielektrik seri ditinjau. Dalam hal ini medan dianggap seragam, arus bocor diabaikan dan konsentrasi fluks pada pinggiran juga diabaikan. Rangkaian 2 bahan dielektri yang dirangkai seri ditampilkan pada gambar 2.2 dan Perhitungan perpindahan electron ditampilkan pada perhitungan 2.1.



Gambar 2. 2 Rangkaian dua dielektrik seri

$$D = E_0 \epsilon_0 \quad (2.1)$$

Dimana:

D = (*Displacement*) perpindahan electron

E_0 = Kuat Medan Listrik

ϵ_0 = Permittivitas relative suatu benda

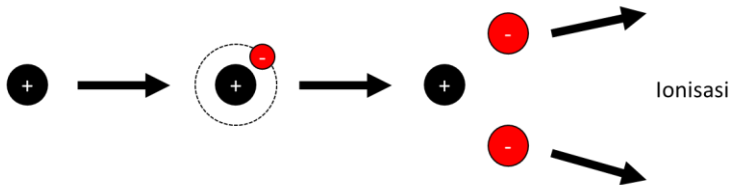
2.4 Mekanisme Kegagalan Isolasi Udara

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

Proses dasar kegagalan isolasi udara adalah ionisasi benturan oleh electron. Proses dasar benturan tersebut adalah proses primer dan sekunder. Proses primer adalah yang memungkinkan terjadinya banjir electron dan proses sekunder yang memungkinkan peningkatan banjir electron.

Proses ionisasi adalah sebuah proses perbanyakkan electron pada ruang udara. Jenis ionisasi adalah ionisasi benturan, ionisasi foton, dan ionisasi termal. Ion merupakan atom atau gabungan dari beberapa atom yang memiliki muatan listrik. Ion terbentuk apabila suatu unsur atom menangkap atau melepaskan elektron. Dua elektroda yang dimasukkan

dalam media udara menerapkan tegangan V maka akan timbul suatu medan listrik E yang mempunyai besar dan arah tertentu yang akan menyebabkan electron bebas mendapatkan energy yang cukup untuk menuju kearah anoda sehingga menimbulkan proses ionisasi. Jika tegangan semakin meningkat maka jumlah electron yang terionisasi semakin banyak dibandingkan dengan jumlah ion yang ditangkap molekul oksigen. Elektron tersebut akan bergerak menuju anoda secara terus menerus sambil membuat benturan yang akan membebaskan lebih banyak electron. Proses benturan ditampilkan pada gambar 2.3

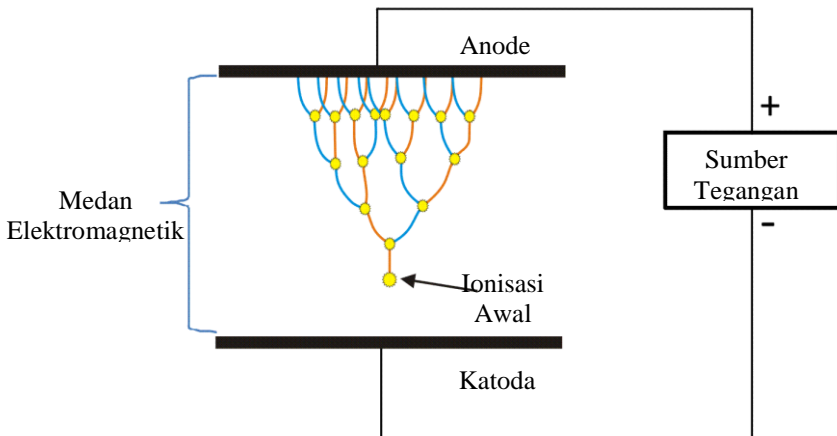


Gambar 2. 3 Proses ionisasi dalam bentuk benturan

Mekanisme kegagalan isolasi udara yaitu kegagalan *townsend* dan kegagalan *streamer*. Berdasarkan teori yang terdapat pada hukum Paschen disimpulkan bahwa besar tegangan tembus akan semakin meningkat ketika tekanan udara dinaikkan. Hal ini disebabkan karena tekanan gas yang semakin tinggi mengakibatkan rapatnya molekul udara sehingga elektron membutuhkan energi yang lebih besar untuk bergerak. Mekanisme *townsend* merupakan awal peluahan dan dilanjutkan pada mekanisme *streamer* [10].

2.4.1 Mekanisme *Townsend*

Mekanisme *Townsend* menjelaskan tentang fenomena tembus hanya pada tekanan rendah dan jarak sela yang kecil ($p \leq 10 \text{ bar mm}$) dengan medan homogen. Mekanisme *Townsend* menyatakan dua hal penting yang menjadi dasar teorinya yaitu proses primer (memungkinkan proses terjadinya proses banjir elektron) dan proses sekunder (memungkinkan terjadinya proses sekunder (memungkinkan terjadinya peningkatan banjir elektron. Gambar 2.4 menampilkan visualisasi mekanisme townsend pada proses kegagalan isolasi udara [9].



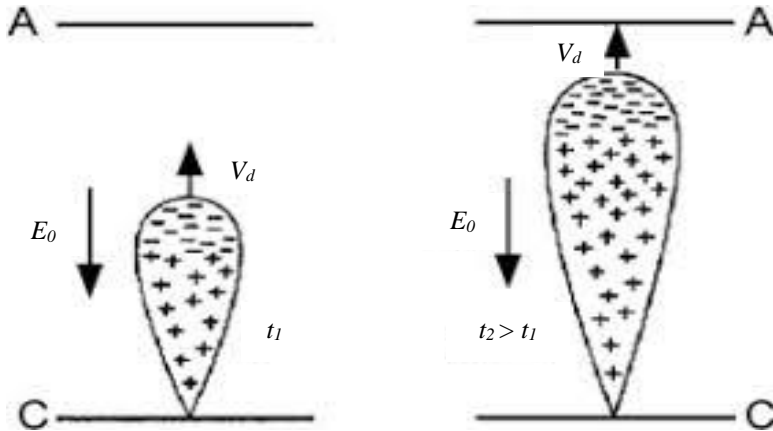
Gambar 2. 4 Visualisasi Mekanisme Townsend

2.4.2 Mekanisme *Streamer*

Mekanisme *streamer* merupakan lanjutan dari mekanisme *townsend*. Pada tekanan dan jarak sela yang semakin besar ($p > 10 \text{ bar mm}$) tembus terjadi dengan mekanisme *Streamer*. Mekanisme ini tidak dapat terjadi dari banjir tunggal seperti mekanisme *Townsend*. Dalam mekanisme ini banjir primer dari proses ionisasi tumbukan tidak mampu menjembatani ruang antara katoda dan anoda.

Mekanisme *Streamer* dicirikan dengan terjadinya emisi foton pada bagian kepala banjir yang memancar kesegala arah. Pancaran energi foton ini kemudian dapat mengionisasi atom udara netral dan menciptakan banjir-banjiran baru di dalam ruang. Bila banjir-

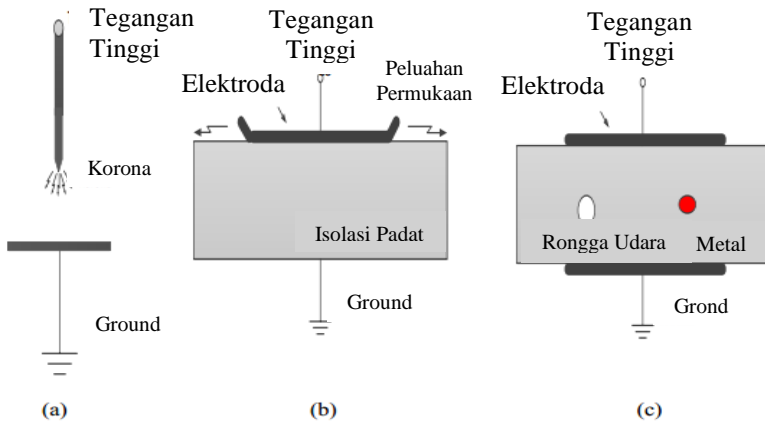
banjiran tersebut membentuk suatu jembatan konduktif maka tembus *Streamer* terjadi. Gambar 2.5 menampilkan visualisasi mekanisme *streamer* [9].



Gambar 2. 5 Visualisasi Mekanisme Streamer

2.5 Peluhan Sebagian (*Partial Discharge*)

Peluhan sebagian (*Partial Discharge*) merupakan proses ionisasi electron yang terjadi pada volume isolasi kecil karena adanya medan listrik yang tidak homogen. Energi yang diperoleh pada proses ini cukup sedikit akan tetapi terjadi secara terus menerus sehingga akan menyebabkan kegagalan dalam kurun waktu tertentu. Peluhan didalam meterial isolasi dikarenakan stress elektrik yang tinggi melewati rongga berisi udara. Stress listrik yang tinggi ini terbentuk akibat gradien tegangan antara tegangan yang diberikan dengan ground potensial. Partial Discharge dibagi menjadi 3 yaitu peluhan dalam (*internal discharge*), peluhan permukaan (*surface discharge*), dan peluhan korona (*corona discharge*). Gambar 2.6 menampilkan jenis – jenis peluhan [11].

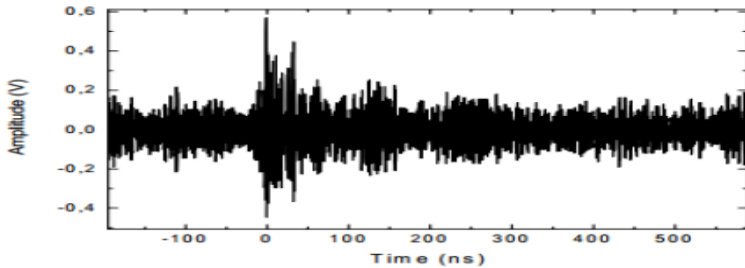


Gambar 2. 6 jenis peluhan sebagian (a) peluhan korona, (b) peluhan permukaan, (c) peluhan dalam

Karakteristik dari sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh peluhan sebagian tergantung pada jenis sumber peluhan sebagian dan medium terjadinya peluhan sebagian tersebut. Sinyal elektromagnetik yang ditangkap oleh sensor akan ditampilkan pada osiloskop. Karakteristik sinyal peluhan sebagian yang ditampilkan pada osiloskop akan dianalisis dengan menghitung parameter-parameter gelombang tersebut. Parameter untuk karakteristik sinyal peluhan sebagian dijelaskan pada sub materi berikut:

- **Magnitudo**

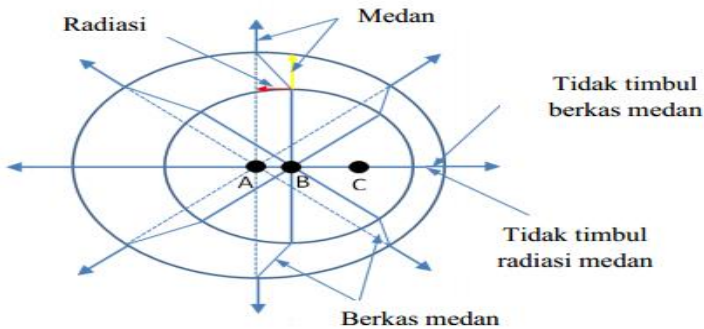
Partial discharge dapat diketahui dengan melihat magnitudo gelombang ketika peluhan. Sumber peluhan memiliki magnitudo yang berbeda – beda. Titik amplitudo tertinggi ditentukan sebagai amplitude maksimum sedangkan amplitude terendah dinyatakan sebagai amplitude minimum. Gambar 2.7 menampilkan contoh magnitudo gelombang peluhan



Gambar 2. 7 Magnitudo Ketika Terjadi Peluahan Sebagian

2.6 Radiasi Gelombang Elektromagnetik dari Partial Discharge

Partial Discharge merupakan proses pergerakan muatan yang dipengaruhi oleh medan elektromagnetik. Muatan bergerak menimbulkan radiasi gelombang elektromagnetik dengan medan listrik tertentu. Muatan yang tidak bergerak hanya akan memancarkan medan listrik ke segala arah tapi tidak menghasilkan medan magnet. Jika muatan bergerak konstan maka arah medan magnet dan medan listrik akan selalu tegak lurus. Pergerakan medan ditampilkan pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Arah Pergerakan Medan Elektromagnetik

Pada gambar 2.8, muatan pada titik A memiliki medan listrik yang menyebar ke segala arah dan dipercepat menuju titik B hingga mendekati kecepatan cahaya. Perpindahan dan percepatan yang dialami muatan A ke B akan menimbulkan medan magnet yang tegak lurus dengan arah medan listriknya. Percepatan muatan tersebut mengakibatkan garis medan listrik yang dimilikinya akan memperbaharui

posisinya sesuai dengan arah pergerakan muatan. Penyesuaian posisi yang dialami oleh garis medan listrik karena pergerakan muatan tentunya membutuhkan waktu. Oleh karena itu pada saat garis medan listrik memperbaharui posisinya, akan timbul 'misalignment' berkas medan listrik di sepanjang pergeseran garis medan listrik tersebut. Artinya medan listrik akan mengalami ketertinggalan (kelambatan) pada posisi awal muatan, sehingga garis medan listrik mengalami pembelokan. Berkas medan listrik yang mengalami pembelokan ini akan menimbulkan radiasi elektromagnetik yang tegak lurus terhadap medan listrik. Radiasi yang dihasilkan inilah yang disebut dengan radiasi medan elektromagnetik [12].

2.7 Loop Antenna

Loop Antenna adalah antena radio yang dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik yang terdiri dari kumparan atau loop, dengan bahan konduktor listrik tertentu yang memiliki sumber listrik atau beban stabil. Secara umum antena loop terdiri dari 2 jenis. Pertama antena loop dengan resonansi diri yang besar dengan frekuensi operasi mendekati satu panjang gelombang dan beresonansi pada frekuensi tersebut. Kategori ini termasuk loop kecil karena panjang gelombang dalam lingkaran hanya 5% hingga 30% yang menggunakan kapasitor untuk pembentukan resonansi. Antena ini umumnya digunakan untuk transmisi dan penerimaan. Kedua adalah antena loop kecil dengan panjang gelombang kurang dari 1%. Jenis ini adalah antena yang tidak efisien karena hanya dapat digunakan untuk penerimaan sinyal saja. Contohnya adalah antena loopstick yang digunakan untuk radio siaran AM. Antena loop memiliki pola radiasi dipol; mereka adalah yang paling sensitif terhadap gelombang radio di dua lobus luas di arah yang berlawanan, terpisah 180° . Karena pola arah ini mereka digunakan untuk RDF, untuk menemukan posisi pemancar. Contoh antena loop ditampilkan pada gambar 2.9 [13-14].



Gambar 2. 9 Loop Antenna

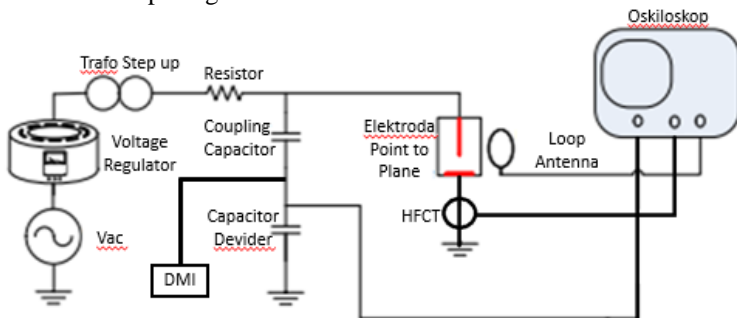
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III ALAT PENGUJIAN DAN METODE PENGAMBILAN DATA

Bab III membahas tentang peralatan pengujian, metode pengujian, pengaturan osiloskop serta pengolahan data deteksi *partial discharge* dengan *loop antenna*.

3.1 Alat Pengujian

Pengujian menggunakan *Hardware* (Perangkat Keras) untuk pengambilan data dan *Software* (Perangkat Lunak) untuk pengolahan data. Perangkat keras yang digunakan adalah pembangkitan tegangan tinggi AC, Elektroda *point to plane* berbahan *stainless steel*, *loop antenna*, *High Frequency Current Transformer* (HFCT), dan Osiloskop. Perangkat lunak yang digunakan adalah Matlab. Peralatan tersebut disusun sesuai pada gambar 3.1



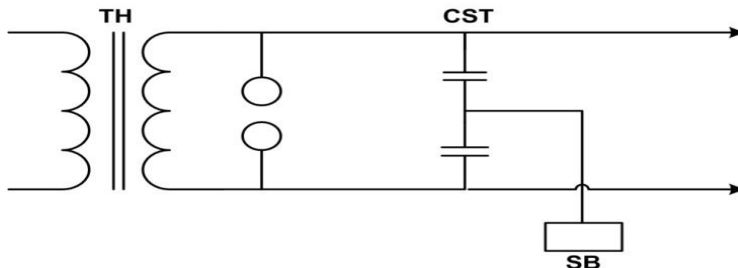
Gambar 3. 1 Skema perencanaan alat pengujian



Gambar 3. 2 Alat pengujian yang digunakan

3.2 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Pembangkitan tegangan tinggi yang digunakan untuk tugas akhir ini adalah pembangkitan tegangan tinggi AC. Merk pembangkit tegangan tingginya adalah hafley. Peralatan ini terdiri atas 4 komponen utama yaitu *High Voltage Transformer* (TH) 80kV, *Capacitive Voltage Transformator* (CVT) dan *Control Box* (SB). *High Voltage Tranformator* memiliki perbandingan tegangan sebesar 220V/80kV. Nilai tersebut memiliki maksud apabila tegangan masukkan 220V maka keluaran dari transformator adalah 80kV. Nilai tersebut diatur pada control box melalui *Capacitive Voltage Transformator* (CVT). Komponen tersebut disusun sesuai pada gambar 3.3 dan spesifikasi ditampilkan pada table 3.1.



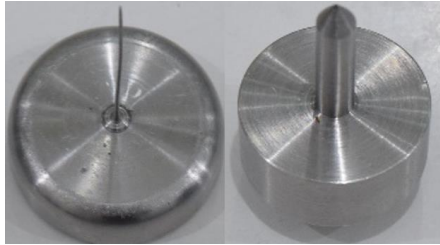
Gambar 3. 3 Rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC

Tabel 3. 1 Spesifikasi peralatan pembangkitan tegangan tinggi AC

<i>High Voltage Transformer</i>	80 kV rms, 5 kVA
<i>Capacitor Divider</i>	80 kV rms, 400 kV Impulse, 500 pF
<i>Measuring Resistor with Test Jack</i>	200 kV DC, 800 M Ω

3.3 Elektroda Uji

Elektroda uji yang digunakan adalah model *point to plane*/ jarum ke datar. Model ini terdiri dari elektroda jarum untuk bagian positif dan elektroda datar untuk bagian negatif. Jenis elektroda yang digunakan adalah *steinless steel* diameter 1mm dan 2mm. Variasi jarak antar elektroda pada pengujian nantinya adalah 1cm, 1.5cm dan 2cm. gambar 3.4 menampilkan elektroda uji yang digunakan.



Gambar 3. 4 Elektroda point to plane yang digunakan (a) Stainless Steel 1 mm (b) Stainless Steel 2 mm

3.4 Loop Antenna

Loop antenna digunakan untuk mendeteksi fenomena *partial discharge* yang terjadi pada isolasi udara. Fenomena *partial discharge* terjadi pada rentang frekuensi 50-800 MHz. 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 1 mm. Pada persamaan berikut menunjukkan hubungan antara frekuensi, panjang gelombang dan kecepatan koefisien cahaya.

$$f=c/\lambda \quad (3.1)$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, panjang gelombang sinyal 200 MHz dapat 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 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. 5 Loop Antenna

3.5 HFCT dan Osiloskop

Peralatan untuk akuisisi/ pengambilan data adalah *High Frequency Current Transformer* (HFCT) dan SIGLENT Handheld Digital Oscilloscope SHS1000. HFCT dan osiloskop akan digunakan untuk pengambilan data arus sedangkan *loop antenna* dan osiloskop akan digunakan untuk pengambilan data tegangan saat terjadi *partial discharge*. HFCT bekerja dengan mendeteksi arus pada kabel dengan menggunakan gelombang elektromagnetik disekitar konduktor HFCT. Arus yang terdeteksi akan dikirim melalui kabel coaxial dan akan diakuisi oleh osiloskop. Spesifikasi HFCT ditampilkan pada table 3.2

Tabel 3. 2 Spesifikasi High Frequency Current Transformer (HFCT)

Jenis HFCT	innovit iHFCT-54
Bandwidth	0.3 – 150 MHZ
Impedansi beban	50 Ohm
Sensitivitas	$I_{in} 1 \text{ mA (P-P)}$, $V_{out} > 16 \text{ mV (P-P)}$
Terminasi Signal	BNC

HFCT ini memiliki beberapa keunggulan. HFCT tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang mahal, mudah digunakan, dan aman. Selain itu akurasi yang dideteksi juga sangat tinggi. HFCT dapat di *customization*.

Osiloskop merupakan alat ukur elektronika yang dapat memproyeksikan bentuk sinyal listrik. Sinyal yang ditampilkan pada tugas akhir ini adalah tegangan dari antenna loop. Selain itu data HFCT juga diambil dengan menggunakan osiloskop ini. SIGLENT Handheld Digital Oscilloscope SHS1000 dapat menyimpan data dalam bentuk

excel. Spesifikasi SIGLENT Handheld Digital Oscilloscope SHS1000 ditampilkan pada gambar 3.6.

Tabel 3. 3 Spesifikasi SIGLENT Handheld Digital Oscilloscope SHS1000

Scope		SHS1062	SHS1102
Type			
Bandwidth		60MHz	100MHz
Rise Time		≤5.8ns	≤3.5ns
Rise Time Sampling Rate		Single Channel: 1GSa/s, Double Channels: 500MSa/s	Single Channel: 1GSa/s, Double Channels: 500MSa/s
Equivalent Sampling Rate		50GSa/s	50GSa/s
Memory Depth		2 Mpts	2 Mpts
Time Base Range		5 ns/div – 50 s /div	2.5 ns/div – 50 s /div
Scan Range		100ms/div ~ 50s /div	100ms/div ~ 50s /div
Vertical Sensitivity		5mV/div – 100V/div (1-2-5 order)	5mV/div – 100V/div (1-2-5 order)
Vertical Resolution		8 bits	8 bits
Trigger Types		Edge, Pulse, Video, Slope, Alternative	Edge, Pulse, Video, Slope, Alternative
Frequency Counter		6 bits	6 bits
Connection		USB Device, USB Hots	USB Device, USB Hots
Math		+, -, *, ./, FFT	+, -, *, ./, FFT
Oscilloscope Trend Plot		800K points	

3.6 Proses Akuisisi Data

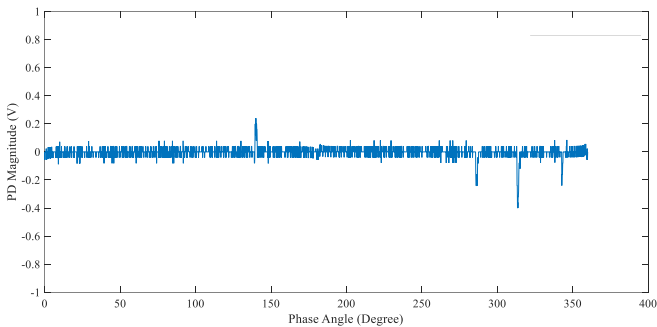
Pengolahan data sinyal tegangan dari osiloskop dilakukan dengan proses sebagai berikut:

1. Data PD disimpan pada flashdisk melalui *interface* osiloskop dalam bentuk .csv
2. File .csv dibuka pada excel agar dapat di plot dan digabungkan dengan gambar lainnya
3. File yang sudah tersimpan akan menampilkan nilai nilai sehingga dapat di plot pada *software* MATLAB.
4. Gelombang yang sudah diplot akan diolah sehingga dapat menampilkan gelombang PRPD (*Phase-resolved Partial*

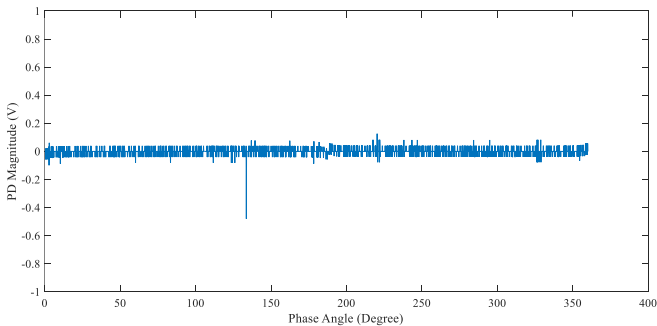
Discharge) secara manual dengan menentukan nilai noise. Nilai noise dapat ditentukan pada software excel.

5. Nilai PRPD yang sudah ditentukan akan kembali di plot pada software MATLAB sehingga dapat menampilkan grafik sinus dengan titik PRPD.

Gambar 3.7 dan 3.8 menunjukkan hasil plot setelah diolah oleh MATLAB. Dari gambar 3.7 dan 3.8 dapat diketahui bahwa antenna dapat mendeteksi adanya partial discharge dengan ditandai adanya kenaikan amplitudo ketika *applied* tegangan dinaikkan. Gambar 3.9 menampilkan proses pengolahan data PRPD dari data awal hingga siap dianalisa.

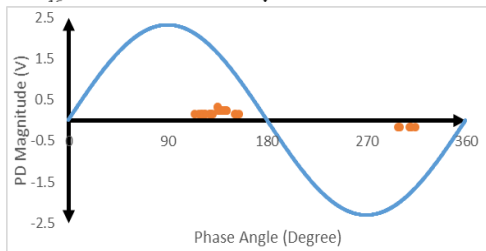
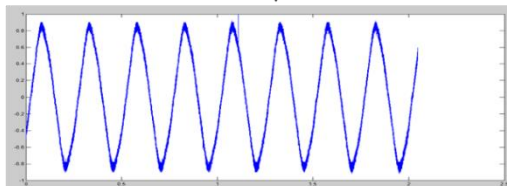


Gambar 3. 6 Hasil setelah di plot dengan matlab elektroda jarum 1mm



Gambar 3. 7 Hasil setelah di plot dengan matlab elektroda jarum 2mm

	A	B	C
		SHS00117	
	RecordLen...	VarName2	VarName3
	TEXT	NUMBER	TEXT
1	Record Len...	20480	
2	Sample Int...	CH1:0.0000...	
3	Vertical Units	CH1:V	
4	Vertical Scale	CH1:0.50	
5	Vertical Off...	CH1:0.32000	
6	Horizontal ...	s	
7	Horizontal ...	0.0100000000	
8	Model Nu...	SHS1062	
9	Serial Num...	SHS10GA11...	
10	Software V...	3.01.02.02R7	
11	Source	CH1	
12	Second	Volt	
13	-0.0819200...	-0.48000	
14	-0.0819120...	-0.48000	
15	-0.0819040...	-0.48000	
16	-0.0818960...	-0.38000	
17	-0.0818880...	-0.40000	
18	-0.0818800...	-0.40000	
19	-0.0818720...	-0.40000	
20	-0.0818640...	-0.40000	
21	-0.0818560...	-0.40000	
22	-0.0818480...	-0.50000	
23	-0.0818400...	-0.48000	



Gambar 3. 8 Proses pengolahan PRPD

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tugas akhir ini membahas tentang deteksi *partial discharge* pada isolasi udara dengan *loop antenna*. Pengujian dilakukan pada kondisi *pre-breakdown* saat terjadinya desis. Sebagai validasi dari pengujian tersebut, dilakukan pengujian leakage current dengan menggunakan HFCT (*High Frequency Current Transformer*). Pengujian tersebut dilakukan pada saat yang bersamaan, agar data yang diperoleh dapat divalidasi dengan maksimal.

4.1 Analisa PRPD

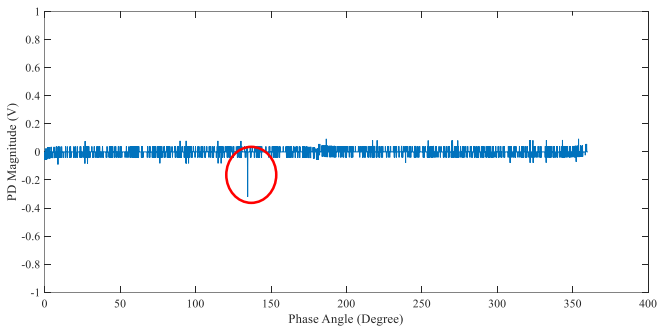
Partial discharge (PD) dapat diketahui melalui amplitudo tegangan yang diterima oleh antena. Berdasarkan pengujian diketahui bahwa semakin tinggi tegangan suplai pada elektroda maka tegangan yang diterima oleh antena juga meningkat. Hal tersebut dikarenakan oleh medan elektromagnetik yang muncul diantara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

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

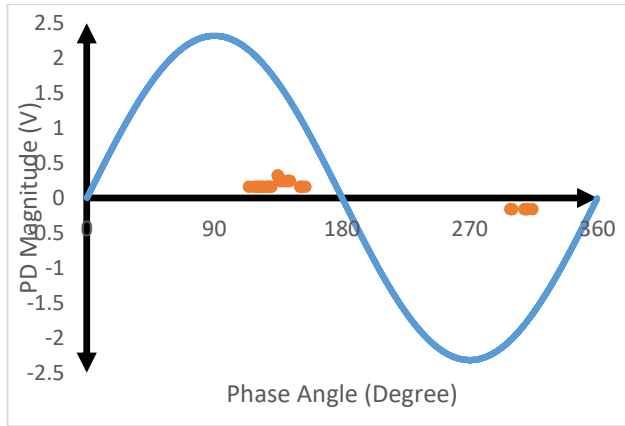
Ionisasi disekitar elektroda runcing terjadi saat tegangan *applied* elektroda runcing melebihi batas kekuatan breakdown udara. Polaritas tegangan *applied* akan membentuk *corona discharge* yang berupa *streamer* positif dan *streamer* negatif. Ketika tegangan *applied* meningkat, dapat meningkatkan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

4.1.1 Analisa PRPD pada Isolasi Udara dengan Diameter Elektroda Jarum 1mm dan Jarak Elektroda 1cm, 1.5cm, dan 2cm

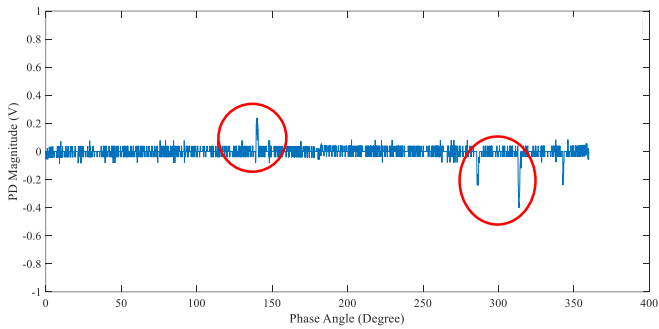
Gambar 4.1 hingga 4.6 menunjukkan PD yang terjadi pada tegangan *applied* 7 kV, 10 kV, dan 13 kV. Sumbu X menyatakan sudut fasa dan sumbu Y menyatakan besaran PD. Dari gambar 4.2, 4.4, dan 4.6 dapat diketahui bahwa semakin tinggi jarak antar elektroda akan menghasilkan medan elektromagnetik yang semakin besar. Pada gambar 4.2, *corona discharge* siklus positif terjadi pada sudut fasa sekitar 135° . Pada gambar 4.4, *corona discharge* siklus positif terjadi pada sudut fasa sekitar 150° . Besaran maksimum PD terjadi pada sudut fasa 90° .



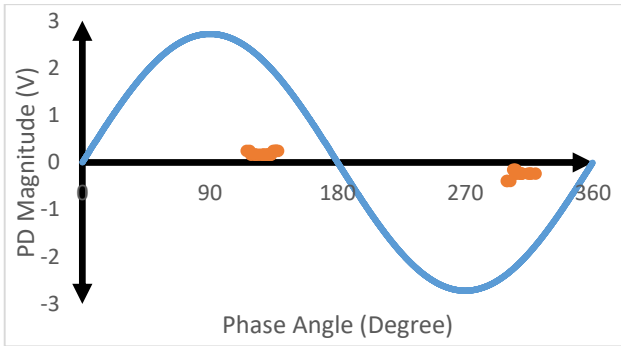
Gambar 4. 1 Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 1cm



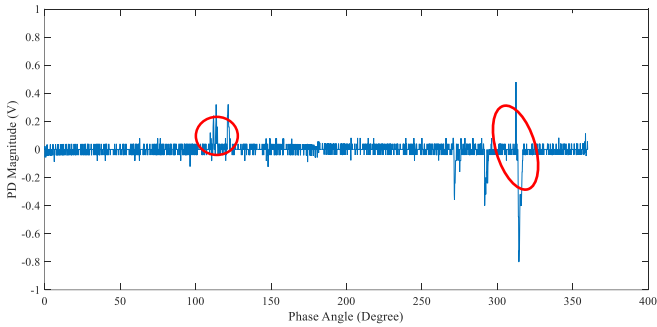
Gambar 4. 2 Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 1cm



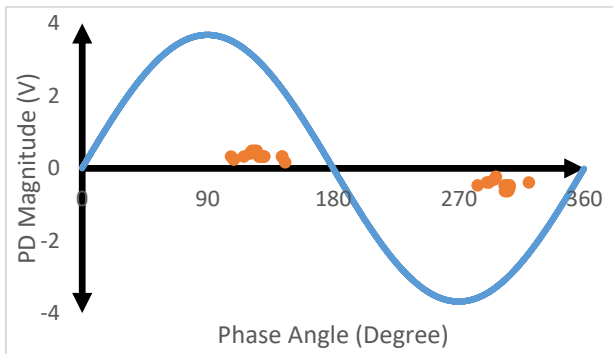
Gambar 4. 3 Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 1.5cm



Gambar 4. 4 Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 1.5cm



Gambar 4. 5 Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 2cm



Gambar 4. 6 Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 2cm

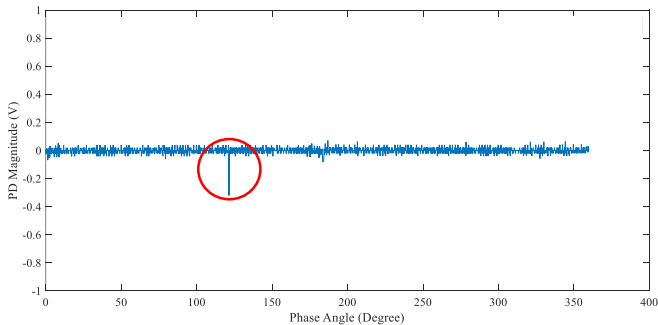
Tabel 4. 1 Tabel hubungan jarak dengan jumlah titik PRPD pada elektroda 1mm

Jarak Antar Elektroda (cm)	Jumlah Titik PRPD
1	32
1.5	38
2	30

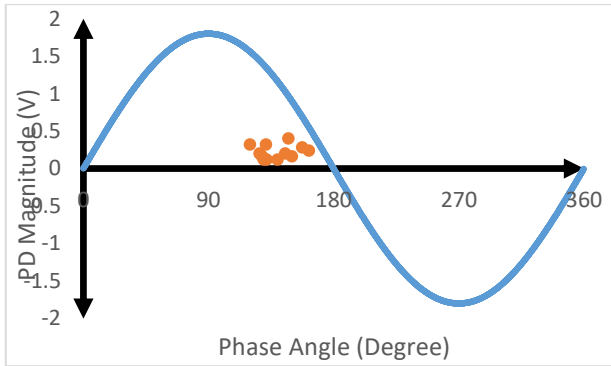
4.1.2 Analisa PRPD pada Isolasi Udara dengan Diameter Elektroda Jarum 2mm dan Jarak Elektroda 1cm, 1.5cm, dan 2cm

Gambar 4.7 hingga 4.12 menunjukkan PD yang terjadi pada tegangan *applied* 9 kV, 12 kV, dan 14 kV. Sumbu X menyatakan sudut phasa dan sumbu Y menyatakan besaran PD. Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa *corona discharge* tersebut hanya muncul pada siklus positif. Sedangkan pada gambar 4.9 dan 4.11 *corona discharge* pada siklus negative muncul semakin banyak. Penyebab peristiwa tersebut dapat terjadi, yaitu elektron sudah tersedia dari elektroda polaritas positif untuk mengionisasi molekul udara netral disekitarnya untuk menghasilkan banjiran, dan juga pada tegangan *applied* yang rendah, probabilitas mendapat elektron bebas awal yang disebabkan oleh elektroda negatif yang bertujuan untuk memulai ionisasi adalah rendah.

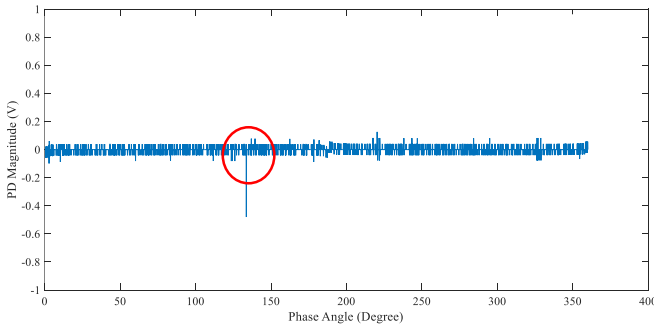
Hal ini menunjukkan semakin tinggi *applied* tegangan yang diberikan, maka akan memunculkan *corona discharge* yang semakin banyak pada siklus negatif.



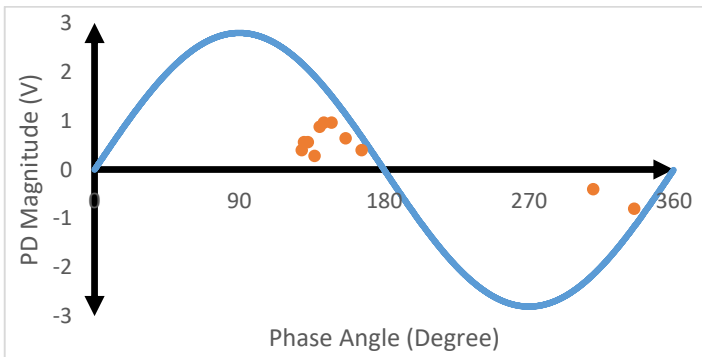
Gambar 4. 7 Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 1cm



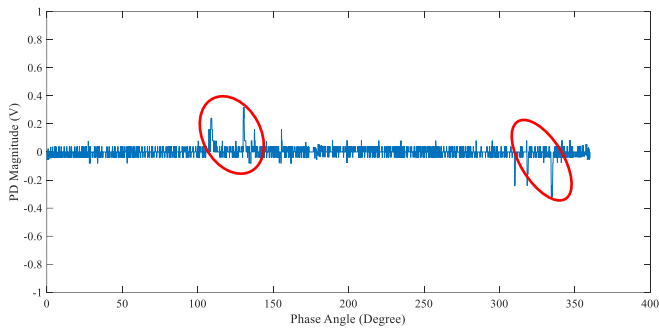
Gambar 4. 8 Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 1cm



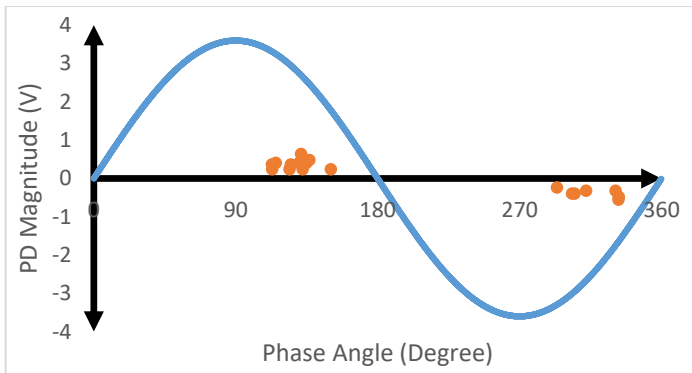
Gambar 4. 9 Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 1.5cm



Gambar 4. 10 Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 1.5cm



Gambar 4. 11 Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 2cm



Gambar 4. 12 Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 2cm

Tabel 4. 2 Tabel hubungan jarak dengan jumlah titik PRPD pada elektroda 2mm

Jarak Antar Elektroda (cm)	Jumlah Titik PRPD
1	12
1.5	11
2	19

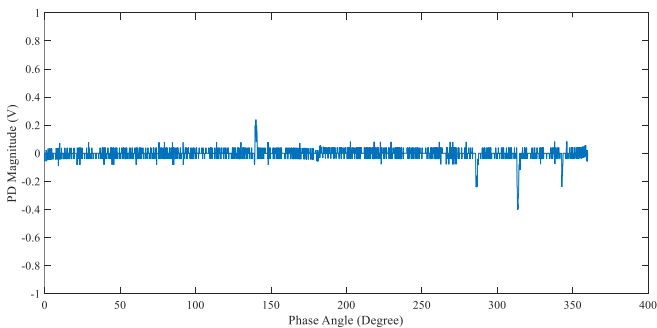
4.2 Pengaruh Jarak antar Elektroda pada Analisa PRPD

Gambar 4.1 hingga 4.6 menunjukkan PD yang terjadi pada tegangan *applied* 7 kV (1cm), 10 kV (1.5cm) dan 13 kV (2cm). Gambar 4.1 hingga 4.6 menunjukkan PD yang terjadi pada tegangan *applied* 7 kV

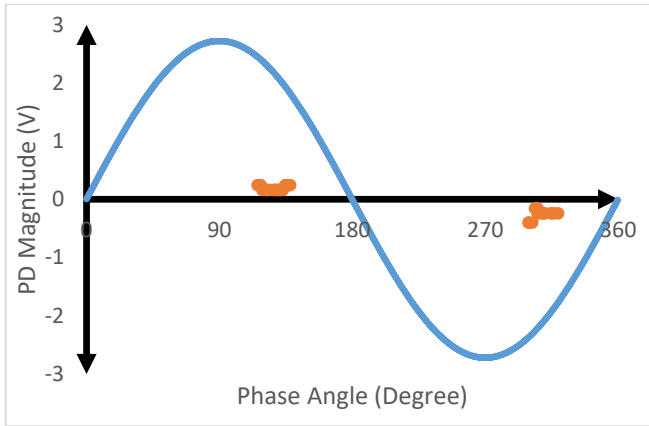
(1cm), 10 kV (1.5cm) dan 13 kV (2cm). Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa semakin besar jarak antar elektroda, maka tegangan *applied* yang diberikan akan semakin besar. Hal tersebut menunjukkan besarnya jarak antar elektroda berbanding lurus dengan tegangan *applied* yang diberikan. Ketika tegangan *applied* meningkat, dapat meningkatkan jumlah *streamer* dan saluran *streamer* dapat tumbuh lebih lama. Meningkatnya amplitudo tegangan *applied* akan meningkatkan medan listrik yang mengelilingi ujung elektroda jarum, sehingga memungkinkan terjadi lebih banyak PD.

4.3 Pengaruh Diameter Elektroda pada analisa PRPD

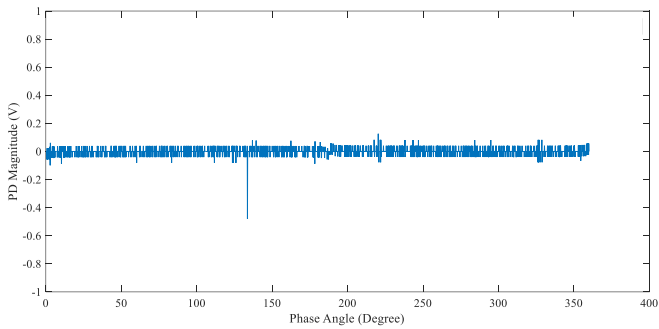
Dari gambar 4.13 dan 4.16, dapat dilihat bahwa semakin besar ukuran elektroda maka akan semakin besar tegangan *applied* untuk mencapai *partial discharge*. Dari gambar 4.15 dan 4.17 terlihat bahwa, semakin besar diameter elektroda, maka PRPD akan tersebar semakin jauh. PRPD pada elektroda jarum berdiameter 2mm memiliki titik yang lebih tinggi, yang berarti menghasilkan medan elektromagnetik dari *partial discharge* yang lebih besar.



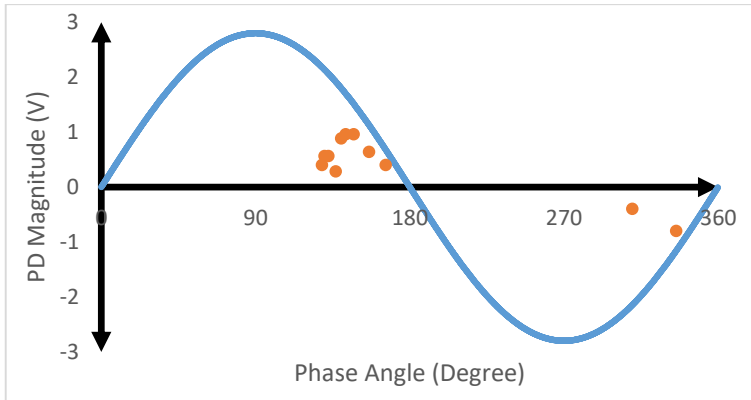
Gambar 4. 13 Elektroda jarum diameter 1mm dengan jarak 1.5cm



Gambar 4. 14 Elektroda jarum diameter 1 mm dengan jarak 1.5cm



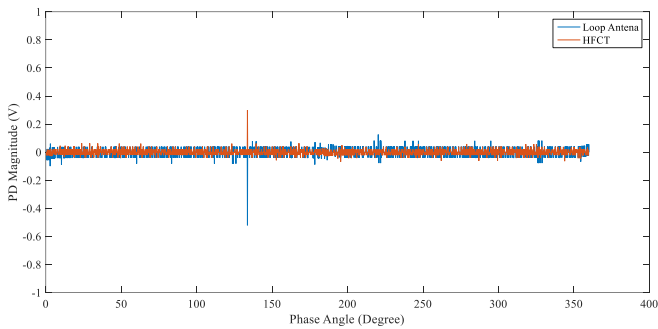
Gambar 4. 15 Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 1.5cm



Gambar 4. 16 Elektroda jarum diameter 2mm dengan jarak 1.5cm

4.4 Validasi Data dengan Metode *Leakage Current*

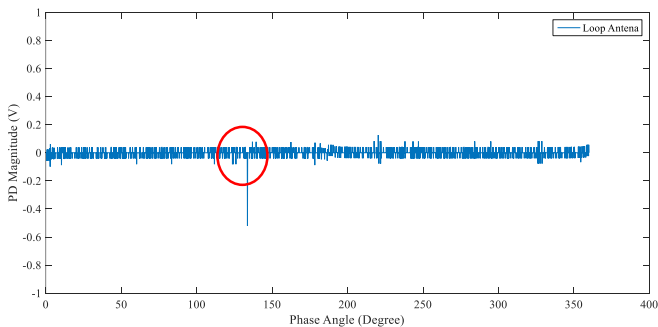
Saat tegangan applied mencapai titik tertentu, elektron akan bertubrukan sehingga mengakibatkan isolator teraliri arus. Arus bocor dapat dipengaruhi oleh bahan, temperature, dan kontaminasi. Arus bocor dapat menyebabkan kegagalan isolasi jika terus meningkat. Arus bocor disini dapat dideteksi dengan HFCT yang dipasang pada kabel grounding. Menurut datasheet HFCT, output dari HFCT berupa tegangan, yang bisa dikonversikan, 16 mV dari output menandakan 1 mA arus bocor yang melewatinya. Dari gambar 4.17, dapat dilihat bahwa lokasi saat terjadinya partial discharge adalah sama. Dari gambar tersebut, dibandingkan hasil dari antenna dan HFCT untuk dapat membuktikan bahwa partial discharge yang dideteksi adalah benar, bukan merupakan gangguan sinyal yang hanya ditangkap oleh antenna.



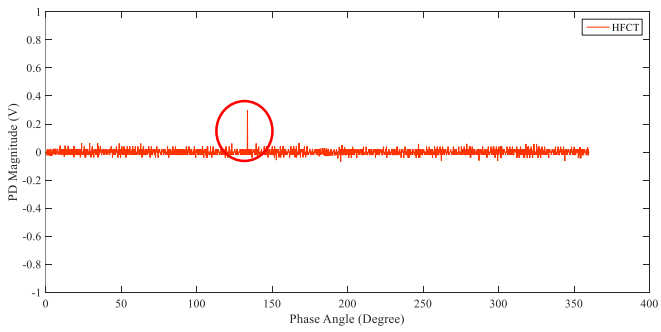
Gambar 4. 17 Elektroda jarum diameter 1 mm dengan jarak 1 cm

4.5 Perbandingan Metode Deteksi *Partial Discharge* dengan *Loop Antenna* dan HFCT

Metode deteksi partial discharge dengan antenna mempunyai bebeapa keunggulan jika dibandingkan dengan HFCT. Antena dapat membentuk pola partial discharge tentang besaran dan sudut terjadinya partial discharge. Antena dapat dikatakan lebih ekonomis jika dibandingkan dengan HFCT. Dari gambar 4.18 dan 4.19 dapat dilihat bahwa HFCT memvalidasi partial discharge yang ditangkap antena.



Gambar 4. 18 Hasil dari antena ketika terjadi PD



Gambar 4. 19 Hasil dari HFCT ketika terjadi PD

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

- 1 Semakin tinggi tegangan suplai pada elektroda maka tegangan yang diterima oleh antena juga meningkat. Ketika tegangan suplai 9 kV tegangan yang diterima antena 1.8 V, ketika tegangan suplai 12 kV tegangan yang diterima antena 2.8 V dan ketika tegangan suplai 14 kV tegangan yang diterima antena 3.6 V. Hal tersebut dikarenakan oleh medan elektromagnetik yang muncul diantara kedua elektroda semakin kuat juga.
- 2 Semakin tinggi *applied* tegangan yang diberikan, maka akan memunculkan *corona discharge* yang semakin banyak pada siklus negatif. Pada elektroda jarum berdiameter 2 mm, ketika jarak antar elektroda 1 cm, tidak terdapat adanya titik PRPD, ketika jarak antar elektroda 1.5 cm terdapat 2 titik PRPD, ketika jarak antar elektroda 2 cm terdapat 7 titik PRPD.
- 3 Semakin tinggi jarak antar elektroda akan menghasilkan medan elektromagnetik yang semakin besar.
- 4 Semakin besar diameter elektroda, maka PRPD akan tersebar semakin jauh. PRPD yang memiliki titik lebih tinggi, berarti menghasilkan medan elektromagnetik dan *partial discharge* yang lebih besar. Ketika jarak antar elektroda sama-sama 1.5 cm, pada elektroda jarum berdiameter 1 mm tinggi titik sebesar 0.24 V, pada elektroda jarum berdiameter 2 mm tinggi titik sebesar 0.8 V.
- 5 Kenggulan *loop antenna* dibandingkan dengan HFCT yaitu, antena dapat membentuk pola *partial discharge* tentang besaran dan sudut terjadinya *partial discharge*.

5.2 Saran

Tugas akhir selanjutnya mempunyai beberapa saran, sebagai berikut :

- 1 Pengujian sebaiknya dilakukan dalam kondisi ruang yang ideal, antara lain suhu, kelembapan, dan tekanan udara tidak berubah.

- 2 Pada pengujian selanjutnya, dapat menambahkan variasi jarak antena.
- 3 Antena yang digunakan pada pengujian dapat divariasikan sehingga tidak terbatas pada *loop antenna* saja.

Daftar Pustaka

- [1] Rahadian Putra, I. M. Yulistya Negara, and I. Satriyadi, "Pengaruh Bentuk dan Material Elektrode terhadap Partial Discharge," *J. Tek. ITS*, vol. 4, no. 1, pp. B47–B51, 2015.
- [2] M. Pompili, C. Mazzetti, and E. O. Forster, "Partial discharge distributions in liquid dielectrics," *IEEE Trans. Electr. Insul.*, vol. 27, no. 1, pp. 99–105, 1992.
- [3] A. Bhure, E. G. Strangas, J. Agapiou, and R. M. Lesperance, "Partial Discharge Detection In Medium Voltage Stators Using an Antenna," *IEEE Conf. Publ.*, pp. 480–485, Sep. 2017.
- [4] International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems, *2014 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS 2014): Bali, Indonesia, 5-7 November 2014*. Piscataway, NJ: IEEE, 2014.
- [5] W. Fan *et al.*, "Comparison study of partial discharge detection methods for switchgears," in *Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), 2016 International Conference on*, 2016, pp. 319–323.
- [6] A. Bhure, E. G. Strangas, J. Agapiou, and R. M. Lesperance, "Partial discharge detection in medium voltage stators using an antenna," in *2017 IEEE 11th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)*, Tinos, Greece, 2017, pp. 480–485.
- [7] W. E. P. S. Ediriweera, K. S. Priyanayana, R. M. A. P. Rajakaruna, R. A. K. G. Ranasinghe, J. R. Lucas, and R. Samarasinghe, "Microstrip Patch Antena for Partial Discharge detection as a condition monitoring tool of power system assets," in *2017 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*, Moratuwa, Sri Lanka, 2017, pp. 368–372.
- [8] Rozi, Fakhru, and Umar Khayam. "Design of Circle Shaped Loop Antenna as Partial Discharge Sensor." In *2014 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS)*, 349–52. Kuta, Bali, Indonesia: IEEE, 2014.
- [9] N. Ohmura and S. Ogino, "Optimized shielding pattern of RF faraday cage.pdf," *IEICE*, pp. 765–768, May 2014.
- [10] M. Pompili and R. Bartnikas, "On partial discharge measurement in dielectric liquids," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 19, no. 5, 2012.

- [11] G. Robles, J. M. Martinez-Tarifa, M. V. Rojas-Moreno, R. Albarracín, and J. Ardila-Rey, “Antenna selection and frequency response study for UHF detection of partial discharges,” in *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2012 IEEE International*, 2012, pp. 1496–1499.
- [12] H. Mohamed *et al.*, “Partial discharge detection using low cost RTL-SDR model for wideband spectrum sensing,” in *Telecommunications (ICT), 2016 23rd International Conference on*, 2016, pp. 1–5.
- [13] David F. Warne, A. Haddad, 2004 *Advance In High Voltage Engineering Institution Of Electrical Engineers*. London.
- [14] Rozi, Fakhru, and Umar Khayam. “Design, Implementation and Testing of Triangle, Circle, and Square Shaped Loop Antennas as Partial Discharge Sensor.” In *The 2nd IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE) 2014*, 273–76. Bali, Indonesia: IEEE, 2014.
- [15] Khayam, Umar, and Fendi Imam Fatoni. “Measurement of Partial Discharge Induced Electromagnetic Wave Using Loop Antenna.” In *2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 1–4. Yogyakarta: IEEE, 2017.

RIWAYAT HIDUP



Erick Bestowan lahir pada tanggal 4 April 16 di Jakarta. Anak pertama dari tiga bersaudara menyelesaikan pendidikan dasar di SDK IGN. Slamet Riyadi kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 9 Jakarta dan menyelesaikan pendidikan SMA pada tahun 2014. Setelah tamat SMA, penulis diterima sebagai mahasiswa S1 Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) mengambil prodi teknik sistem tenaga. Saat kuliah, penulis pada tahun kedua mengikuti pelatihan LKMM TD dan pada tahun ketiga diamanai menjadi

Ketua Divisi Kalpataru Elektro ITS. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email erickbes@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)