



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**DETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI MINYAK
YANG DIPENGARUHI SUHU DENGAN METODE *VERY HIGH
FREQUENCY* (VHF)**

Handi Aditya Wiguna
NRP 0711144000022

Dosen Pembimbing
Danar Fahmi, S.T., M.T.
Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

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



FINAL PROJECT - EE 184801

**PARTIAL DISCHARGE DETECTION ON OIL INSULATION
WHICH IS AFFECTED BY TEMPERATURE WITH VERY HIGH
FREQUENCY (VHF)**

Handi Aditya Wiguna
NRP 0711144000022

Supervisors
Danar Fahmi, S.T., M.T.
Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

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

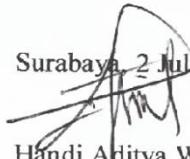
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “**DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI MINYAK YANG DIPENGARUHI SUHU DENGAN METODE *VERY HIGH FREQUENCY (VHF)***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

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

Surabaya, 2 Juli 2019



Handi Aditya Wiguna
0711144000022

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI
MINYAK YANG DIPENGARUHI DENGAN SUHU
METODE VERY HIGH FREQUENCY (VHF)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dariffar Fahmi, S.T., M.T.
NIP. 1989 0925 2014 04 1002



Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 1981 0905 2005 01 1002



Halaman ini sengaja dikosongkan

DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI MINYAK YANG DIPENGARUHI DENGAN SUHU METODE *VERY HIGH FREQUENCY* (VHF)

Nama mahasiswa : Handi Aditya Wiguna
Dosen Pembimbing I : Daniar Fahmi, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing II : Dimas Anton Asfani S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Partial discharge (PD) adalah peluahan muatan listrik yang menghubungkan dua elektroda tegangan tinggi yang seharusnya tidak terhubung. *Partial discharge* dapat menyebabkan kegagalan isolasi jika tidak ditangani secepatnya dan lebih parahnya dapat menyebabkan penurunan kualitas peralatan hingga kerusakan pada peralatan tegangan tinggi. *Partial discharge* yang akan dibahas yaitu *partial discharge* yang muncul pada isolasi minyak yang telah dipanaskan dengan suhu tertentu. *Partial discharge* yang dihasilkan pada isolasi minyak akan dideteksi dengan metode *very high frequency* (VHF) menggunakan antena dan *leakage current* menggunakan *high frequency current transformer*. Elektroda yang digunakan adalah elektroda *point to plane* (jarum ke datar). Minyak isolasi dipanaskan dengan *range* suhu operasi transformer. Suhu yang digunakan adalah 30° C, 45° C, 60° C, 75° C, 90° C. Pembangkit yang digunakan bertipe AC dengan frekuensi sebesar 2.4 GHz. Sinyal diambil dengan menggunakan peralatan akuisisi yaitu *very high frequency* (VHF). Data yang diambil akan diolah untuk ditampilkan *Phase Resolved Partial Discharge* (PRPD). Olahan hasil akan dianalisa karakteristik pengaruh suhu pemanasan terhadap pola *partial discharge*. Hasil pengujian didapatkan bahwa suhu minyak isolasi mempengaruhi pola *partial discharge*. Suhu minyak mempengaruhi besar tegangan *inception* karena semakin tinggi suhu minyak, uap air yang muncul sebagai kontaminan lebih banyak yang dapat mempengaruhi besar tegangan pada saat munculnya *partial discharge*.

Kata Kunci : *Partial Discharge, Phase Resolved Partial Discharge, Arus Bocor, Very High Frequency.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Partial Discharge Detection On Oil Insulation Which Is Affected By Temperature With Very High Frequency (VHF)

Student Name : Handi Aditya Wiguna
Supervisor I : Daniar Fahmi, S.T., M.T.
Supervisor II : Dimas Anton Asfani S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

Partial discharge is an electrical discharge that connects two high voltage electrodes that should not be connected. Partial discharge can cause insulation failure if it is not handled immediately and the worse can cause a decrease in the quality of the equipment to damage to high voltage equipment. Partial discharge that will be discussed is partial discharge that appears in the oil insulation that has been heated to a certain temperature. Partial discharge generated in oil insulation will be detected by the very high frequency (VHF) method using antennas and leakage current using high frequency current transformer. The electrode used is point to plane electrode. Oil insulation is heated with a range of transformer operating temperature. The temperature is 30° C, 45° C, 60° C, 75° C, 90° C. The plants used is AC type with a frequency of 2.4 GHz. The signal is taken using acquisition equipment, namely very high frequency (VHF). The data taken will be processed to display the Phase Resolved Partial Discharge (PRPD). Processed result will be analyzed for the effect of heating temperature on the partial discharge pattern. The test result showed that the oil insulation temperature affected the partial discharge pattern. The temperature of the oil affects the inception voltage because the higher the temperature of the oil, the more water vapor that appears as a contaminant can affect the voltage at the time of the partial discharge.

Keywords : Partial Discharge, Phase Resolved Partial Discharge, Leakage Current, Very High Frequency

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunianya dalam penyelesaian laporan tugas akhir. Adapun judul tugas akhir yang penulis buat adalah “**DETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI MINYAK YANG DIPENGARUHI SUHU DENGAN METODE VERY HIGH FREQUENCY (VHF)**”

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Kedua orang tua dari penulis yang selalu memberikan dukungan materil maupun non-materil serta doa yang selalu dipanjatkan untuk kesehatan dan kelancaran penulis dalam kuliah dan penyelesaian tugas akhir.
3. Saudara kandung penulis yang selalu mengingatkan ketika penulis sedang tidak semangat dalam kuliah maupun penyelesaian tugas akhir.
4. Bapak Daniar Fahmi selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
5. Bapak Dimas Anton Asfani selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
6. Teman yang selalu membantu penulis dalam hal teknis maupun non teknis yaitu Hadi Lizzikri, Baasith Akbar, Dhanang Tri L, Mas Catur, Mas Faizal, dan Addien Wicaksono,.
7. Teman teman yang selalu membantu dan menemani penulis dalam pengolahan data dan penyusunan laporan tugas akhir yaitu Erick B, Irsan S, Tony J, Alex Indra, Bobby Dwi, Faris, Andre, dan Yoga P.
8. Teman-teman asisten laboratorium tegangan tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah mendampingi ketika melakukan pengambilan data.
9. Keluarga e54 yang telah berjuang bersama sama sejak mahasiswa baru hingga sekarang. Semoga teman-teman e54 meraih kesuksesan yang sesuai dengan keinginannya.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikat manfaat yang luas.

Surabaya, 30 Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC.....	7
2.2 Isolasi Cair.....	8
2.3 Kekuatan Dielektrik.....	10
2.4 Mekanisme Kegagalan Dielektrik Cair.....	11
2.5 Klasifikasi Frekuensi	11
2.6 <i>Temperature Rise</i>	13
2.7 Antena <i>Monopole</i>	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Alat Pengujian	17
3.1.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	18
3.1.2 Elektroda Uji.....	19
3.1.3 Minyak Isolasi.....	20

3.1.4	Oven	23
3.1.5	Antena Monopole	24
3.1.6	<i>High Frequency Current Transformer (HFCT)</i>	25
3.1.7	Osiloskop	27
3.2	Teknik Akuisisi Data.....	28
3.3	Pengolahan Data dengan <i>Software Microsoft Excell</i> dan <i>MATLAB</i>	29
3.4	Performansi Antena yang Digunakan Untuk Mendeteksi <i>Partial Discharge</i>	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Analisa <i>Partial Discharge</i> oleh Antena	33
4.1.1	Analisa <i>Partial Discharge</i> oleh Antena pada Isolasi Minyak Suhu 30° C	33
4.1.2	Analisa <i>Partial Discharge</i> oleh Antena pada Isolasi Minyak Suhu 45° C	34
4.1.3	Analisa <i>Partial Discharge</i> oleh Antena pada Isolasi Minyak Suhu 60° C	35
4.1.4	Analisa <i>Partial Discharge</i> oleh Antena pada Isolasi Minyak Suhu 75° C	36
4.1.5	Analisa <i>Partial Discharge</i> oleh Antena pada Isolasi Minyak Suhu 90° C	37
4.2	Analisa <i>Leakage Current</i> oleh <i>High Frequency</i> <i>Current Transformer</i>	38
4.2.1	Analisa <i>Leakage Current</i> oleh HFCT pada Isolasi Minyak Suhu 30° C	38
4.2.2	Analisa <i>Leakage Current</i> oleh HFCT pada Isolasi Minyak Suhu 45° C	39
4.2.3	Analisa <i>Leakage Current</i> oleh HFCT pada Isolasi Minyak Suhu 60° C	40
4.2.4	Analisa <i>Leakage Current</i> oleh HFCT pada Isolasi Minyak Suhu 75° C	41

4.2.5	Analisa <i>Leakage Current</i> oleh HFCT pada Isolasi Minyak Suhu 90° C.....	42
4.3	Analisa PRPD.....	43
4.3.1	Analisa PRPD pada Minyak Isolasi dengan Suhu Pemanasan 30° C	44
4.3.2	Analisa PRPD pada Minyak Isolasi dengan Suhu Pemanasan 45° C	45
4.3.3	Analisa PRPD pada Minyak Isolasi dengan Suhu Pemanasan 60° C	46
4.3.4	Analisa PRPD pada Minyak Isolasi dengan Suhu Pemanasan 75° C	47
4.3.5	Analisa PRPD pada Minyak Isolasi dengan Suhu Pemanasan 90° C	48
4.3.6	Analisa Pola PRPD pada Minyak Isolasi dengan Suhu Pemanasan 30° C, 45° C, 60° C, 75° C, dan 90° C	49
4.4	Analisa Amplitudo Tegangan Antena.....	50
4.5	Metode <i>Leakage Current</i> Sebagai Validasi Data dan Komparasi Data	51
BAB 5 PENUTUP		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA		57
BIODATA PENULIS		59

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konstruksi transformator uji dengan <i>bushing</i> (a) dan tanpa <i>bushing</i> (b).....	8
Gambar 2. 2 Rangkaian ekivalen transformator uji.....	8
Gambar 2. 3 Perbandingan kegagalan jenis isolasi[4].....	10
Gambar 2. 4 Kenaikan suhu operasi <i>oil immersed transformer</i>	14
Gambar 2. 5 Konstruksi antena <i>monopole</i>	16
Gambar 3. 1 Rangkaian alat pengujian.....	17
Gambar 3. 2 Peralatan pengujian.....	18
Gambar 3. 3 Rangkaian ekivalen.....	19
Gambar 3. 4 Elektroda <i>point to plane</i>	20
Gambar 3. 5 Minyak mineral <i>shell Diala S4 ZX-I</i>	21
Gambar 3. 6 Oven Oxone Master OX-8830.....	24
Gambar 3. 7 Antena <i>monopole</i>	25
Gambar 3. 8 innovit iHFCT-54	26
Gambar 3. 9 SIGLENT Handheld Digital Oscilloscope SHS1000	27
Gambar 3. 10 Isi file CSV	30
Gambar 3. 11 Hasil dari plotting sebuah data.....	31
Gambar 3. 12 Performansi antena dalam menangkap gelombang elektromagnetik dari <i>partial discharge</i>	32
Gambar 4. 1 <i>Partial discharge</i> pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 30° C dengan <i>applied voltage</i> 15 kV.....	34
Gambar 4. 2 <i>Partial discharge</i> pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 45° C dengan <i>applied voltage</i> 15 kV.....	35
Gambar 4. 3 <i>Partial discharge</i> pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 60° C dengan <i>applied voltage</i> 15 kV.....	36
Gambar 4. 4 <i>Partial discharge</i> pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 75° C dengan <i>applied voltage</i> 15 kV.....	37
Gambar 4. 5 <i>Partial discharge</i> pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 90° C dengan <i>applied voltage</i> 14 kV.....	38
Gambar 4. 6 Leakage current pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 30° C dengan <i>applied voltage</i> 15 kV.....	39
Gambar 4. 7 Leakage current pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 45° C dengan <i>applied voltage</i> 15 kV.....	40

Gambar 4. 8 <i>Leakage current</i> pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 60° C dengan <i>applied voltage</i> 15 kV	41
Gambar 4. 9 <i>Leakage current</i> pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 75° C dengan <i>applied voltage</i> 15 kV	42
Gambar 4. 10 <i>Leakage current</i> pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 90° C dengan <i>applied voltage</i> 14 kV	43
Gambar 4. 11 Pola PRPD pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 30° C	45
Gambar 4. 12 Pola PRPD pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 45° C	46
Gambar 4. 13 Pola PRPD pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 60° C	47
Gambar 4. 14 Pola PRPD pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 75° C	48
Gambar 4. 15 Pola PRPD pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 90° C	49
Gambar 4. 16 Perbandingan suhu pemanasan minyak isolasi dengan jumlah titik PRPD	50
Gambar 4. 17 Grafik pembacaan amplitudo antenna setiap kenaikan <i>applied voltage</i>	51
Gambar 4. 18 Data <i>very high frequency</i> validasi <i>Partial discharge</i> dengan <i>Leakage current</i>	52
Gambar 4. 19 Data <i>partial discharge</i> menggunakan antenna	53
Gambar 4. 20 Data <i>leakage current</i> menggunakan HFCT	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi frekuensi.....	12
Tabel 2. 2 Aplikasi jenis <i>bandwidth</i>	12
Tabel 2. 3 Standar kenaikan suhu [6]	14
Tabel 2. 4 Spesifikasi pembangkitan tegangan tinggi AC.....	19
Tabel 3. 1 Spesifikasi Minyak <i>shell Diala S4 ZX-1</i>	21
Tabel 3. 2 Spesifikasi iHFCT-54[8]	26
Tabel 4. 1 Tabel hubungan suhu pemanasan minyak isolasi dengan jumlah Titik PRPD.....	50

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegagalan suatu bahan isolasi listrik merupakan salah satu alasan gangguan yang terjadi dalam sebuah sistem tenaga listrik sehingga menyebabkan pemadaman yang tak direncana. Sebelum terjadi kegagalan isolasi listrik terdapat fenomena yang menandakan bahwa akan terjadi kegagalan yang biasa disebut *pre-breakdown*. Salah satu fenomena *pre-breakdown* yang sering terjadi adalah *partial discharge*[1]. *Partial discharge* (PD) adalah pelepasan muatan listrik yang menghubungkan dua elektroda tegangan tinggi yang seharusnya tidak terhubung. *Partial discharge* dapat menyebabkan kegagalan isolasi jika tidak ditangani secepatnya dan lebih parahnya dapat menyebabkan penurunan kualitas peralatan hingga kerusakan pada peralatan tegangan tinggi. *Partial discharge* yang akan dibahas yaitu *partial discharge* yang muncul pada isolasi cair/minyak yang telah dipanaskan dengan suhu tertentu. Fenomena yang terjadi pada isolator cair terjadi karena adanya perpindahan elektron pada media liquid sehingga menyebabkan kegagalan. Kejadian ini biasanya terjadi dalam *circuit breaker* saat terjadi pemutusan dan pada minyak trafo[2].

Partial discharge yang terjadi dalam suatu bahan isolasi dapat dideteksi lebih dini agar tak terjadi kegagalan yang menyebabkan penurunan kualitas dan kerusakan peralatan tegangan tinggi. Pada saat ini terdapat beberapa metode yang sudah digunakan untuk mendeteksi *partial discharge*, diantaranya kopel generator, *AE detector*, dan termografi[3]. Metode yang sudah ada tersebut dirasa kurang praktis dan masih banyak kekurangan. Kelemahan dari metode kopel generator yaitu pengujian harus dilakukan di lab dan harus mematikan sistem saat kapasitor akan dikopel. Metode *AE detector* memiliki kelemahan berupa banyaknya distraksi gelombang elektromagnetik sehingga detektor harus memiliki amplifier spesial. Sedangkan metode termografi membutuhkan kondisi yang cukup sulit yaitu hanya dapat mendeteksi jika keadaan gelap dan sudah ada perbedaan suhu yang cukup signifikan[3].

Berdasarkan metode yang sudah ada memiliki banyak kekurangan, tugas akhir ini menganalisa pendeteksian *partial discharge* dengan metode baru yaitu menggunakan antena yang terhubung dengan osiloskop. Dalam penggunaannya, antena menangkap gelombang

elektromagnetik berfrekuensi tinggi dan osiloskop menampilkan spektrum gelombang tersebut. Dengan dilakukan pengujian ini diharapkan dapat mengklasifikasikan frekuensi partial discharge pada isolasi minyak yang dipanaskan dengan suhu tertentu, dapat digunakan untuk pendasaran pada penelitian selanjutnya, serta dapat memberikan alternatif untuk metode pendeteksian partial discharge pada peralatan tegangan tinggi.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini ada beberapa subyek, antara lain :

1. Bagaimana cara merealisasikan gambaran umum pengujian pada tugas akhir
2. Bagaimana susunan rangkaian dan apa saja peralatan yang digunakan dalam pengujian pendeteksian *partial discharge* pada isolasi minyak yang dipanaskan
3. Bagaimana karakteristik bentuk gelombang yang terdeteksi oleh antena pada saat munculnya *partial discharge* pada isolasi minyak yang dipanaskan.
4. Bagaimana perbandingan dari gelombang yang terdeteksi oleh antena dan HFCT pada saat munculnya *partial discharge* pada isolasi minyak yang dipanaskan.

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Mendeteksi medan elektromagnetik berfrekuensi tinggi yang dihasilkan oleh pengujian isolasi cair dengan elektroda *point to plane*.
2. Menganalisis sinyal yang diterima oleh antena saat terjadi perubahan suhu pada isolator minyak.
3. Membandingkan data yang dihasilkan oleh antena dan *high frequency current transformer*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam pengujian ini adalah :

1. Pengujian *partial discharge* menggunakan pembangkit tegangan tinggi AC.
2. Minyak isolasi yang digunakan untuk pengujian adalah minyak jenis mineral *Shell Diala S4 ZX-I*.
3. Elektroda uji yang digunakan adalah elektroda *point to plane* berbahan *stainless steel*.
4. Antena yang digunakan untuk pendeteksian *partial discharge* adalah jenis antena *monopole* dengan frekuensi 250 MHz.
5. Antena diletakan pada jarak 25 cm dari elektroda yang digunakan dalam pengujian.

1.5 Metodologi

Pengujian deteksi *partial discharge* dilakukan dengan berbagai tahap. Sebelum melakukan pengujian dibutuhkan kondisi awal yang berupa penentuan *ambient temperature* yang digunakan. Minyak diukur suhunya pada kondisi normal. Lalu minyak dipanaskan pada suhu yang telah ditentukan. Pengaturan pembangkitan tegangan tinggi AC juga dilakukan sebelum melakukan pengujian. Elektroda yang digunakan dalam pengujian ini berbentuk *point to plane* (tajam ke datar). Selanjutnya dilakukan pemasangan alat pendeteksi yang berupa antena dan HFCT (*high frequency current transformer*) dimana keduanya terhubung pada osiloskop. Gelombang *patial discharge* yang ditangkap oeh antena ditampilkan pada layar osiloskop dan di simpan menggunakan *USB flashdisk*.

Data yang dianalisa pada tugas akhir ini adalah sinyal yang dideteksi oleh antena dan *high frequency current transformer*. Sinyal yang didapatkan oleh antena dan *high frequency current transformer* akan direkam. Hasil dari rekaman di plot menggunakan *software* Matlab 2015. Data yang diambil berupa tingkatan per-4 kV, sehingga terlihat perbedaan gelombang disaat kondisi normal hingga terdengar desis yang menandakan bahwa *partial discharge* mulai muncul. Selain desis, hal yang menandakan bahwa terdapat *partial discharge* yaitu pada gelombang yang dihasilkan terdapat *spike* pada gelombang antena maupun *high frequency current transformer*.

Data yang telah didapatkan akan diolah hingga mengetahui *electrical characteristic* dari *partial discharge* tersebut. Setiap kondisi akan klasifikasikan dan dilakukan pendekatan berdasarkan referensi

tertentu. Setelah semua sudah siap maka tahap akhir akan dilakukan penulisan buku tugas akhir dan publikasi ilmiah.

1.6 Sistematika Penulisan

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

Bab 1 : Pendahuluan

Pada bab pendahuluan terdapat 6 sub bab, antara lain latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika, serta relevansi. Latar belakang berisi tentang apa yang membuat pengujian ini dilaksanakan hingga terdapat solusi yang ditawarkan. Permasalahan menjelaskan hal-hal yang akan dibahas pada tugas akhir ini beserta analisisnya. Metodologi berisikan urutan pengerjaan tugas akhir, yang diawali dengan studi literatur, pengujian, analisa, hingga penyusunan laporan tugas akhir ini. Sistematika berisikan penjelasan 5 bab yang terdapat di pembukuan tugas akhir. Relevansi berisikan manfaat apa saja yang dapat dihasilkan dari pengujian ini terhadap instansi.

Bab 2 : Tinjauan Pustaka

Pada bab tinjauan pustaka membahas mengenai teori yang menunjang untuk pembahasan tugas akhir ini. Teori penunjang mencakup tentang pembangkitan tegangan tinggi AC, isolasi minyak, kekuatan dielektrik, kegagalan dielektrik cair, klasifikasi frekuensi, *temperature rise*, antena *monopole*.

Bab 3 : Alat Pengujian dan Pengambilan Data

Bab 3 berisikan pembahasan mengenai apa saja alat yang digunakan dalam pengujian serta metode yang digunakan untuk pengambilan data. Alat pengujian yang digunakan adalah rangkaian pembangkitan AC, jenis elektroda yang digunakan, isolasi cair yang berupa minyak, oven untuk pemanasan minyak isolasi, antena *monopole* dan *high frequency current transformer* yang dihubungkan dengan osiloskop menggunakan kabel coaxial, serta metode untuk pengambilan data.

Bab 4 : Analisa Data

Bab 4 berisikan pembahasan hasil yang diperoleh dari pengujian. Pembahasan dimulai dari mekanisme terjadinya partial discharge pada isolasi minyak dan dilanjutkan dengan analisa gelombang yang didapatkan oleh antenna dan HFCT. Yang

terakhir adalah menganalisa pola partial discharge yang muncul pada elektroda yang terendam minyak isolasi yang memiliki suhu berbeda-beda.

Bab 5 : Penutup

Pada bab 5 membahas tentang kesimpulan yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan serta sara dari hasil analisa pengujian deteksi partial discharge pada isolasi minyak yang dipanaskan.

1.7 Relevansi

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberi rmanfaat antara lain :

1. Industri Listrik
Metode yang digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* ini dapat digunakan untuk Industri yang bergerak dibidang kelistrikan agar menurunkan biaya pendeteksian *partial discharge* dan memberikan kemudahan bagi industri tersebut.
2. Lembaga Penelitian
Metode dan hasil eksperimen pendeteksian *partial discharge* diharapkan dapat dianalisa dan dikembangkan lebih jauh lagi oleh peneliti terutama dalam hal akurasi dari hasil yang diperoleh serta tingkat presisi alat dalam pengambilan data.
3. Mahasiswa
Hasil penelitian dapat menjadi referensi mahasiswa agar dapat dikembangkan lagi untuk mensempurnakan metode terbaik dalam *partial discharge*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

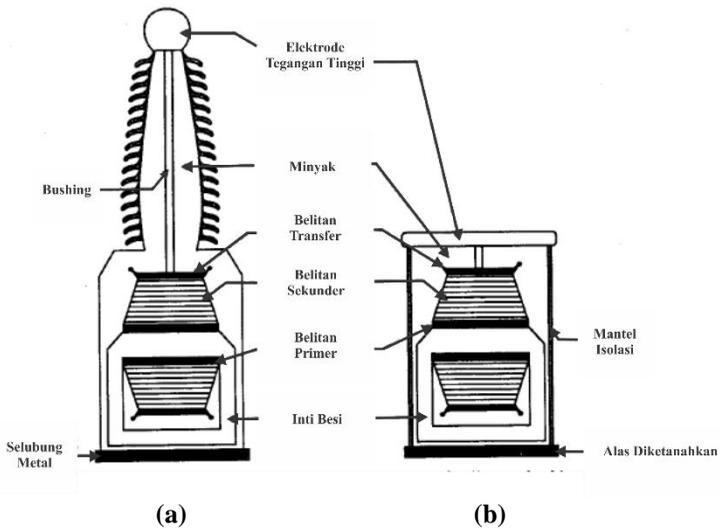
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

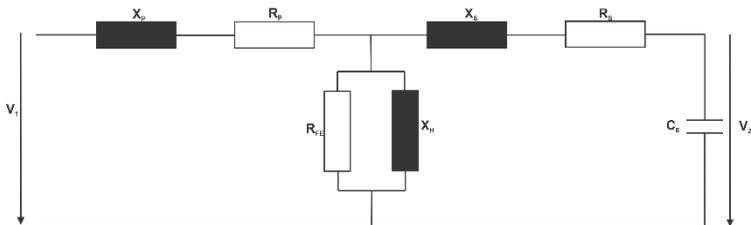
Menurut sistem transmisi dan distribusi, tegangan tinggi adalah tegangan yang besarnya lebih tinggi dari 20kV. Namun menurut *The International Electrotechnical Commission* (IEC) besar tegangan tinggi adalah lebih dari 1000V atau 1kV. Tegangan tinggi AC yang dibahas adalah tegangan tinggi yang dibangkitkan untuk pengujian sistem isolasi peralatan tegangan tinggi. Tegangan tinggi AC yang digunakan untuk pengujian dibangkitkan dengan trafo uji tegangan tinggi. Berdasarkan standar internasional tegangan tinggi yang dibangkitkan memiliki syarat, yaitu mempunyai bentuk sinus yang bagus dan peningkatan tegangan yang cukup halus. Nilai puncak dari tegangan v tidak boleh bervariasi lebih dari $\pm 5\%$ dari nilai tegangan efektif V_{eff} dikali $\sqrt{2}$. Nilai tegangan efektif didefinisikan pada persamaan 2.1[4].

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \dots \dots \dots (2.1)$$

Trafo uji tegangan tinggi merupakan trafo satu fasa pada umumnya. Trafo uji sangat jarang dioperasikan dalam waktu panjang, oleh sebab itu trafo uji jarang mengalami masalah dengan pendinginan. Konstruksi trafo uji sendiri bergantung pada isolasi belitan. Perbandingan jumlah belitan lebih besar dibandingkan trafo daya karena dengan tegangan input hanya 127V hingga 220V bisa mengeluarkan output yang jauh lebih besar. Berdasarkan konstruksinya terdapat 2 tipe trafo uji tegangan tinggi. Pada gambar 2.1b adalah trafo uji yang menggunakan bushing. Dengan adanya bushing luas permukaan trafo uji menjadi luas sehingga disipasi panas menjadi lebih baik. Namun dengan adanya bushing trafo uji tersebut membutuhkan ruang yang lebih tinggi. Pada gambar 2.1b adalah trafo uji yang tidak menggunakan bushing. Trafo uji ini tidak terlalu memakan ruang, namun disipasi panasnya kurang baik dikarenakan luas permukaan yang lebih sempit. Pada umumnya trafo uji tanpa bushing digunakan pada rangkaian trafo bertingkat (*cascade*) untuk meningkatkan tegangan yang lebih tinggi, serta digunakan sirip pendingin untuk sistem pendinginnya. Konfigurasi rangkaian kedua trafo uji tersebut sama. Trafo uji terdiri dari komponen RLC yang dapat dilihat rangkaian ekivalennya pada gambar 2.2.



Gambar 2. 1 Konstruksi transformator uji dengan *bushing* (a) dan tanpa *bushing* (b)



Gambar 2. 2 Rangkaian ekivalen transformator uji

2.2 Isolasi Cair

Isolasi cair merupakan suatu bagian penting untuk transformator daya agar dapat beroperasi dengan maksimal. Fungsi dari isolasi cair adalah :

1. Isolasi cair berfungsi sebagai pemisah antara dua konduktor agar tidak terjadi lompatan listrik.
2. Isolasi cair dapat menjadi pendingin ketika transformator beroperasi.

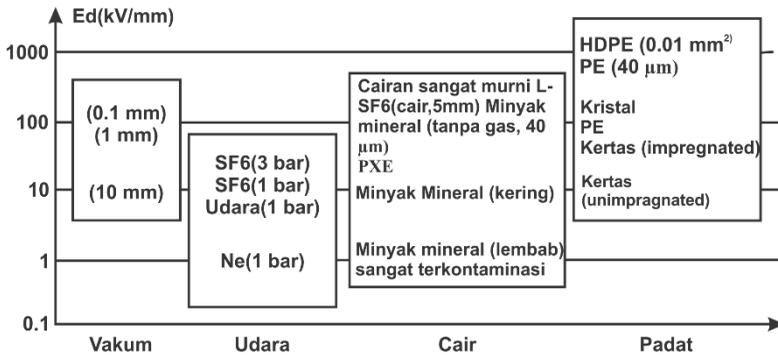
3. Isolasi cair dapat meredam busur listrik yang muncul.
4. Isolasi cair dapat melarutkan gas yang timbul.

Isolasi cair sering digunakan dalam transformator dikarenakan isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga kekuatan dielektrik isolasi cair lebih tinggi dari isolasi gas. Isolasi cair juga memiliki sifat mengisi ruang yang kosong atau dalam hal ini mengisi ruang yang akan diisolasi dan secara serentak melalui konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi energi. Isolasi cair juga memiliki sifat *self healing* atau memperbaiki diri sendiri jika terjadi pelepasan muatan (*discharge*). Namun untuk penggunaan isolasi cair harus berhati-hati dikarenakan isolasi cair sangat mudah terkontaminasi.

Isolasi cair memiliki sifat :

1. *Withstand Breakdown* merupakan kemampuan isolasi untuk tidak tembus dalam kondisi tekanan listrik yang tinggi.
2. Kapasitansi listrik per unit volume yang menentukan permitivitas relatifnya. Sebagai contoh minyak petroleum memiliki permitivitas yang efektif sebesar kira-kira 2 atau 2,5.
3. Faktor disipasi daya adalah faktor yang menentukan besarnya rugi rugi dielektrik yang terjadi ketika suatu bahan isolasi dialiri tegangan AC. Berdasarkan IEC 60247, minyak isolasi dapat dikatakan baik ketika faktor disipasi kurang dari 0.005 pada minyak kondisi baru.
4. Resistivitas isolasi cair harus lebih besar dari 10^9 Ohm-meter dan pada sistem tegangan tinggi resistivitas yang diperlukan untuk material isolasi adalah 10^{16} Ohm-meter atau lebih tinggi.

Isolasi dibedakan menjadi 3 berdasarkan bahannya, yaitu isolasi gas, isolasi cair, dan isolasi padat. Jika ketiga bahan isolasi dibandingkan berdasarkan kemampuannya, isolasi cair lebih baik dari pada isolasi gas, namun isolasi cair tidak lebih bagus daripada isolasi padat. Gambar 2.3 adalah perbandingan kegagalan isolasi dari ketiga bahan tersebut.



Gambar 2. 3 Perbandingan kegagalan jenis isolasi[4]

2.3 Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik merupakan tingkat ketahanan yang dimiliki suatu bahan dielektrik. Tingkat ketahanan yang dimaksud adalah tekanan listrik tertinggi yang dapat ditahan oleh suatu bahan dielektrik tanpa merubah sifatnya menjadi konduktif. Apabila suatu dielektrik berubah menjadi konduktif, maka dielektrik tersebut telah tembus (*breakdown*). Kekuatan dielektrik dari isolasi cair dipengaruhi oleh sifat atom dan cairan. Kekuatan dielektrik dapat dirumuskan dalam persamaan 2.2.

$$Dielectric\ Strength = \frac{Breakdown\ voltage}{jarak\ antar\ elektroda} \dots\dots(2.2)$$

Dari rumus tersebut dapat diketahui bahwa kekuatan dielektrik dipengaruhi nilai breakdown dan jarak antar elektroda. Namun terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai tegangan *breakdown*, yaitu jenis elektroda, bahan elektroda, dan kandungan kontaminan yang menyebabkan perubahan sifat molekul cairan. Kekuatan dielektrik dari suatu bahan isolasi dapat dikatakan dengan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh suatu medium tanpa merusaknya. Dengan kata lain, kekuatan dielektrik suatu isolasi setara dengan tegangan tembus dari suatu bahan isolasi tersebut.

2.4 Mekanisme Kegagalan Dielektrik Cair

Suatu bahan isolasi cair memiliki kekuatan dielektrik yang sama besar dengan tegangan tembusnya. Namun terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kegagalan suatu bahan isolasi, yaitu umur dari isolasi cair dan terdapat kontaminan didalam isolasi cair mengingat kekurangan utama dari isolasi cair adalah sangat mudah terkontaminasi oleh kontaminan. Kedua faktor tersebut dapat menyebabkan kekuatan dielektrik suatu isolasi cair menurun. Ketika suatu tegangan yang mengalir pada isolasi melebihi dari batas kekuatan dielektrik isolasi tersebut, maka terjadilah breakdown atau tegangan tembus pada isolasi. Beberapa unsur yang menandakan terjadinya *breakdown* pada dielektrik cair adalah :

1. Terdapat lintasan cahaya dari anoda menuju katoda.
2. Impedansi rangkaian pengujian mempengaruhi besar arus.
3. Dekomposisi zat cair menghasilkan gelembung udara.
4. Terdapat suara letupan pada zat cair.
5. Terbentuk lubang pada elektroda.

Bentuk kegagalan isolasi cair ada tiga, yaitu partikel padat, uap air (*moisture*), dan gelembung gas. Partikel padat terbentuk dikarenakan efek yang terjadi akibat adanya pemanasan dan tegangan lebih. Uap air terbentuk dari medan listrik yang mana molekul uap air yang terlarut terpisah dari isolasi cair lalu terpolarisasi membentuk suatu dipol. Bentuk gelembung gas disebabkan karena adanya gelembung gelembung gas dalam isolasi cair.

2.5 Klasifikasi Frekuensi

Gelombang radio adalah spektrum elektromagnetik di mana gelombang elektromagnetik dapat dihasilkan oleh pemberian arus bolak balik ke sebuah antena. Gelombang radio memiliki frekuensi yang berkisar dari 3 Hz hingga 3000 GHz. Gelombang radio dapat merambat tanpa penghantar buatan. Berdasarkan tabel 2.1 terdapat 3 klasifikasi berdasarkan panjang gelombang, yaitu frekuensi rendah (*low frequency*), frekuensi menengah (*medium frequency*), dan frekuensi tinggi (*high frequency*). Gelombang dengan frekuensi rendah dapat merambat dengan jarak yang sangat jauh, namun membutuhkan daya yang besar untuk mencapai jarak maksimum. *Low frequency* pada umumnya diterapkan pada navigasi, komunikasi bawah laut, dan lainnya. Gelombang dengan medium frekuensi adalah gelombang yang biasanya digunakan pada

stasiun penyiaran radio. Gelombang menengah ini tidak rentan terhadap interferensi. Gelombang dengan frekuensi tinggi memiliki keunggulan yang dapat menjangkau wilayah yang luas tanpa membutuhkan daya yang besar. Namun kualitas gelombang ini sangat buruk, karena sering muncul noise pada *high frequency*. Gelombang ini pada umumnya digunakan pada sinyal TV, radar, satelit, dan yang lainnya.

Tabel 2. 1 Klasifikasi frekuensi

No	Jenis Band	Frekuensi	Panjang Gelombang
1	<i>Extremely Low Frequency</i>	3-30 Hz	100.000-10.000 km
2	<i>Super Low Frequency</i>	30-300 Hz	10.000-1.000 km
3	<i>Ultra Low Frequency</i>	300-3000 Hz	1.000-100 km
4	<i>Very Low Frequency</i>	3-30 kHz	100-10 km
5	<i>Low Frequency</i>	30-300 kHz	10-1 km
6	<i>Medium Frequency</i>	300-3000 kHz	1.000-100 m
7	<i>High Frequency</i>	3-30 MHz	100-10 m
8	<i>Very High Frequency</i>	30-300 MHz	10-1 m
9	<i>Ultra High Frequency</i>	300-3000 MHz	1000-100 mm
10	<i>Super High Frequency</i>	3-30 GHz	100-10 mm
11	<i>Extremely High Frequency</i>	30-300 GHz	10-1 mm

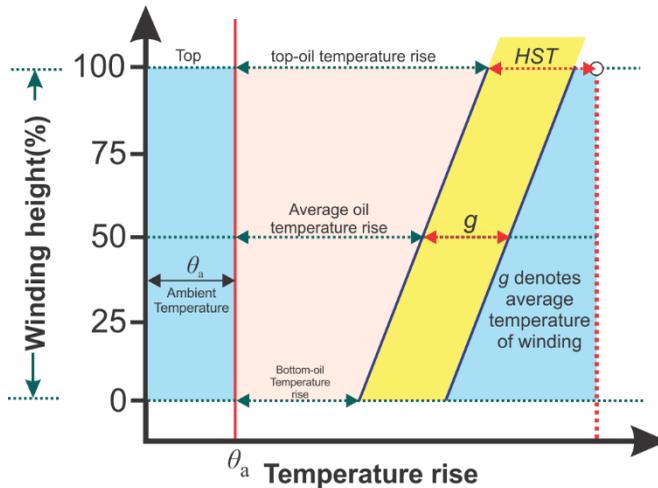
Tabel 2. 2 Aplikasi jenis *bandwidth*

No	Jenis Band	Fungsi
1	<i>Extremely Low Frequency</i>	Komunikasi bawah laut
2	<i>Super Low Frequency</i>	Komunikasi bawah laut

No	Jenis Band	Fungsi
3	<i>Ultra Low Frequency</i>	Komunikasi bawah laut dan pertambangan
4	<i>Very Low Frequency</i>	Navigasi, pengecekan hati dan jantung
5	<i>Low Frequency</i>	Navigasi, radio AM dan RFID
6	<i>Medium Frequency</i>	Radio AM
7	<i>High Frequency</i>	RFID dan radar
8	<i>Very High Frequency</i>	Radio FM, Televisi, dan radio cuaca
9	<i>Ultra High Frequency</i>	Televisi, <i>handphone</i> , <i>wireless LAN</i> , <i>Bluetooth</i> , dan GPS
10	<i>Super High Frequency</i>	Radar, satelit, DBS
11	<i>Extremely High Frequency</i>	<i>High Frequency Microwave</i> , <i>Radio Relay</i> , <i>Microwave Remote Sensing</i>

2.6 *Temperature Rise*

Panas dari suatu transformator menjadi salah satu faktor penentu *life time* dari transformator. Jika panas yang muncul tidak terkontrol maka terjadi penyusutan umur pada transformator. Maka dari itu diperlukan batasan maksimal panas yang muncul. Terdapat banyak standart yang dapat digunakan dalam menentukan batas kenaikan suhu. Gambar 2.4 menunjukkan batasan kenaikan suhu. Transformator yang ada di Indonesia kebanyakan menggunakan standar IEC, dimana standar IEC dibuat berdasarkan negara yang memiliki iklim 4 musim, sedangkan Indonesia memiliki iklim 2 musim. Hal tersebut berpengaruh pada *ambient temperature* (suhu lingkungan). Berdasarkan standar IEC *ambient temperature* yaitu sebesar 20 derajat, sedangkan menurut BMKG *ambient temperature* di Indonesia adalah 30 derajat. Pada tabel 2.3 merupakan standart yang digunakan oleh PLN[5].



Gambar 2. 4 Kenaikan suhu operasi *oil immersed transformer*
Temperature rise pada trafo tipe *oil-immersed*

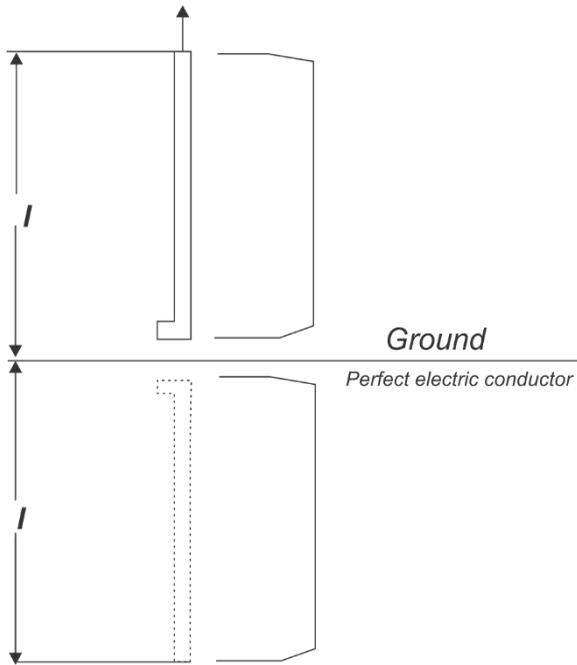
Tabel 2. 3 Standar kenaikan suhu [6]

Bagian	Kenaikan suhu maksimum °K
Belitan: Kelas suhu dari isolasi A (kenaikan suhu diukur dengan metoda resistansi)	65, jika sirkulasi minyak alami atau paksa tak terarah
	70, jika sirkulasi minyak paksa dan terarah
Minyak bagian atas (kenaikan suhu diukur dengan thermometer)	60, jika transformator dilengkapi dengan konservator atau terpakal
	55, jika transformator tidak dilengkapi dengan konservator atau tidak terpakal
Inti, bagian metal dan bahan yang berdekatan	Suhu tidak boleh mencapai nilai yang akan merusak inti itu sendiri, bagian lain atau bahan yang berdekatan.

2.7 Antena Monopole

Antena *monopole* diciptakan pertama kali oleh penemu radio, yaitu Guglielmo Marconi pada tahun 1895, yang menemukan pengertian bahwa jika kita tempelkan satu terminal pemancar pada kawat panjang yang tergantung di udara dan satu sisi masuk ke bumi (*grounding*) maka akan dapat mengirimkan sinyal jarak jauh. Beberapa orang menyebut antena ini dengan antena Marconi. Antena *monopole* adalah sebuah antena radio yang berbentuk batang lurus terbuat dari konduktor yang dipasang tegak lurus diantara beberapa jenis bahan konduktif yang disebut *ground plane*. Sinyal yang dipancarkan (sinyal dari *transmitter* ke antena) atau yang diterima (sinyal dari pemancar yang diterima oleh antena) oleh antena *monopole* berada pada batang konduktor antena *monopole* yang terpasang tegak diantara beberapa batang atau permukaan konduktif. Koneksi kabel antena berada pada ujung bawah batang konduktor *monopole*. *Monopole* termasuk jenis resonan antena, fungsi batang sebagai resonator untuk gelombang radio, dengan osilasi gelombang radio terdiri dari tegangan dan arus. Seperti halnya jenis antena *dipole*, pada antena *monopole* pun memiliki *omnidirectional* pola radiasi, yaitu memancarkan kekuatan sama dengan arah azimut yang tegak lurus dengan antena tetapi daya radiasinya bervariasi bergantung sudut elevasinya, dengan radiasi memancar ke nol zenit, pada sumbu antena. Konstruksi dari antena *monopole* dapat dilihat pada gambar 2.5.

Gelombang elektromagnetik yang melaju di udara atau di luar angkasa terdiri dari komponen gaya listrik dan komponen gaya magnet yang saling tegak lurus dengan yang lain. Gelombang yang memancar dapat dikatakan terpolarisasi sesuai arah komponen gaya listriknya. Agar dapat menerima gelombang elektromagnetik dengan baik, maka antena harus memiliki polarisasi yang sama dengan polarisasi dari gelombang elektromagnetik yang datang. Arah polarisasi ini akan tetap sepanjang listasan gelombang radio kecuali apabila gelombang tersebut sudah dipantulkan oleh ionosphere, maka polarisasinya dapat berubah[7].



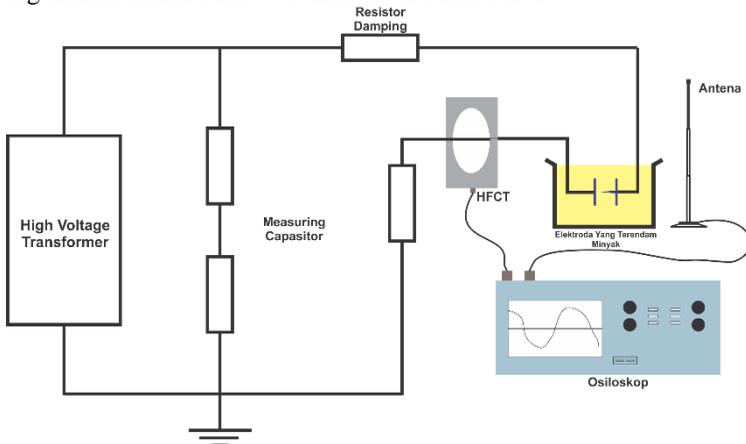
Gambar 2. 5 Konstruksi antenna *monopole*

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

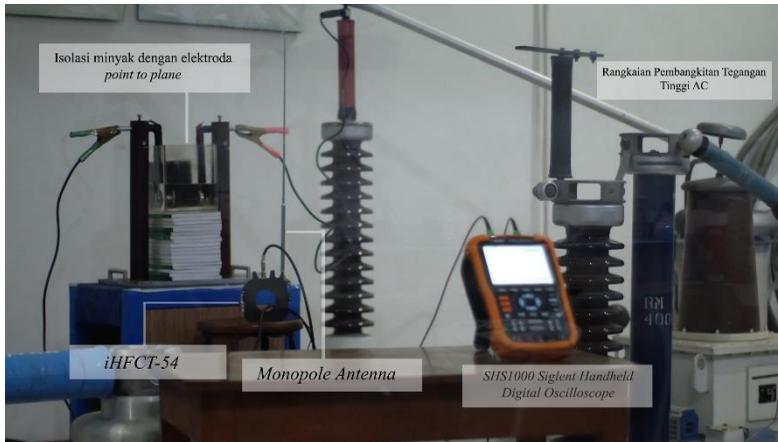
Bab ini berisikan tentang penjelasan peralatan yang digunakan dan metode pengambilan data dengan metode *very high frequency* dalam mendeteksi *partial discharge* pada minyak yang dipanaskan.

3.1 Alat Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian dibedakan menjadi dua, yaitu *hardware* dan *software*. *Hardware* digunakan untuk pengujian sehingga didapatkan hasil untuk diolah menggunakan *software*. Perangkat *hardware* yang digunakan adalah pembangkit tegangan tinggi AC, elektroda *point to plane*, *Series Handheld Digital Oscilloscope*, HFCT (*high frequency current transformer*), minyak transformator, antenna *monopole*, oven, serta peralatan yang digunakan mengolah data adalah laptop. Sedangkan perangkat lunak (*software*) digunakan untuk mengolah data yang didapatkan dari hasil pengujian. *Software* yang digunakan adalah Microsoft Excel dan Matlab 2015.



Gambar 3. 1 Rangkaian alat pengujian



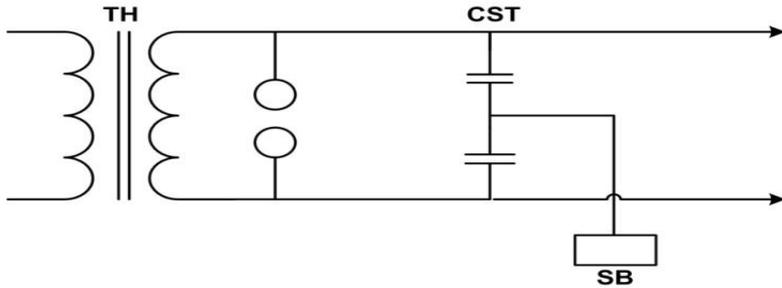
Gambar 3. 2 Peralatan pengujian

Elektroda *point to plane* yang terendam minyak osilasi transformator digunakan dalam rangkaian pembangkit tegangan tinggi AC. Antena *monopole* digunakan unruk mendeteksi ppartial discharge dengan cara menangkap sinyal elektromagnetik yang dihasilkan ketika *partial discharge* mulai muncul. HFCT digunakan untuk mendeteksi sinyal *leakage current* ketika terjadi partial discharge. Kedua peralatan tersebut terhubung dengan *Siglent Handled Digital Oscilloscope* untuk mendapatkan sinyal fasa yang sama. Sinyal yang ditampilkan pada osiloskop disimpan menggunakan flaskdisk dengan bentuk file CSV. *Software* Microsoft Excel digunakan untuk membuka file CSV, lalu untuk pengolahan data dilakukan dengan menggunakan MATLAB 2015.

3.1.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Pembangkitan tegangan tinggi AC yang digunakan dalam pengujian bermerk Hafley yang terdapat pada laboratorium tegangan tinggi ITS. Pembangkitan tegangan digunakan untuk mensuplai tegangan pada elektroda hingga terjadi *partial discharge*. Pembangkitan tegangan tinggi AC memiliki 4 komponen utama yaitu *High Voltage Transformer* (TH) 80kV, *Capacitive Voltage Transformator* (CVT), *Control Box* (SB), serta *grounding*. *High voltage transformer* pada rangkaian digunakan sebagai trafo step up atau untuk menaikkan dan menurunkan tegangan luaran. *Capacitive voltage transformator* berfungsi untuk menurunkan sinyal tegangan tinggi menjadi sinyal tegangan rendah sehingga dapat terbaca *control box*. CVT terdiri dari dua 2 kapasitor dan tersambung

dengan *control box*. *Control box* digunakan untuk mengatur tegangan masukan yang diinginkan.



Gambar 3. 3 Rangkaian ekivalen

Tabel 2. 4 Spesifikasi 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 MΩ

High Voltage Transformer memiliki perbandingan tegangan 220V/80kV. Dari perbandingan tersebut diketahui jika tegangan input sebesar 220V maka tegangan output dari transformator sebesar 80kV. Nilai tersebut dapat diatur dengan *control box* yang tersambung dengan CVT. Nilai tegangan dapat di atur yang tertera pada *control box* dimulai dari 0 hingga nilai tegangan tertentu.

3.1.2 Elektroda Uji

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk menghantarkan arus listrik ke satu arah dan menghambat arus listrik dari arah sebaliknya.

Elektroda yang digunakan dalam pengujian adalah *tipe point to plane*. Elektroda point to plane memiliki bentuk jarum untuk kutub positif dan datar untuk kutub negative. Bahan elektroda yang digunakan terbuat dari jenis *stainless steel*. Jarak antara elektroda jarum dengan elektroda datar untuk pengujian ini adalah 1 cm.



Gambar 3. 4 Elektroda *point to plane*

3.1.3 Minyak Isolasi

Isolasi yang digunakan adalah jenis isolasi cair yang berupa minyak. Minyak yang digunakan dalam pengujian ini adalah minyak mineral *shell Diala S4 ZX-I*. Minyak ini merupakan produk baru dari shell yang menawarkan umur minyak yang lebih lama dan tak terdapat kandungan sulfur. Minyak sebanyak 1,5 liter dituang ke dalam akrilik yang berukuran 14×14×15cm. Akrilik digunakan untuk menampung minyak yang akan merendam seluruh elektroda uji. Namun sebelum digunakan untuk merendam elektroda, minyak dipanaskan terlebih dahulu menggunakan oven dengan penampung gelas ukur 1 liter dan 500 liter. Spesifikasi dari minyak *shell Diala S4 ZX-I* dapat dilihat pada tabel



Gambar 3. 5 Minyak mineral *shell Diala S4 ZX-I*

Tabel 3. 1 Spesifikasi Minyak *shell Diala S4 ZX-I*

Properties	Method	IEC 60296 Table2 + section 7.1	Shell Diala S4 ZX-I
Appearance	IEC 60296	Clear, free from sediment and suspended matter	Complies
Density (@20°C kg/m ³)	ISO 3675	Max. 895	805
Kinematic Viscosuty (@40°C mm ³ /s)	ISO 3104	Max. 12	9,6
Kinematic Viscosuty (@-30°C mm ³ /s)	ISO 3104	Max 1800	382
Flashpoint P.M (°C)	ISO 2719	Min. 135	191
Pour point (°C)	ISO 3016	Max -40	-42

Properties	Method	IEC 60296 Table2 + section 7.1	Shell Diala S4 ZX-I
Neutralisation value(mgKOH/g)	IEC 62021-1	Max. 0,01	< 0,01
Total Sulphur content (mm/kg)	ASTM D5185	Max. 500	< 1
Corrosive Sulphur	DIN 51353	Not corrosive	Not corrosive
Potentially Corrosive Sulphur	IEC 62535	Not corrosive	Not corrosive
Corrosive Sulphur	ASTM D1275B		Not corrosive
Breakdown voltage untreated (kV)	IEC 60156	Min 30	60
Breakdown voltage after treatment (kV)	IEC 60156	Min 70	75
Dielectric dissipation factor (90°C DDF)	IEC 60274	Max 0,005	< 0,001
Oxidation stability (500h/120°C)	IEC 61125 C	Section 7.1 Limits	
Total acidity (mg KOH/g)	IEC 61125 C	Max 0,3	0,02
Sludge (%m)	IEC 61125 C	Macc 0,05	<0,01
Dielectric dissipation factor (90°C DDF)	IEC 61125 C	Max 0,05	0 0003
Water content drums and IBC (dmg/kg)	IEC 60814	Max 4	6
Water content Bulk (mg.kg)	IEC 60814	Max 30	6

Properties	Method	IEC 60296 Table2 + section 7.1	Shell Diala S4 ZX-I
2-Furfural and related compounds (mg/kg)	IEC 61198	Not detecable	Complies
Metal passive additives (mg/kg)	IEC 60666	Not detecable	0,2
Oxidation inhibitor content (%mass)			0,2
PCB content(%mass)	IP346	Max 3	complies
PCB content (mg/kg)	IEC 61619	Not detecable	Complies

3.1.4 Oven

Oven adalah peralatan berupa ruang termal terisolasi yang digunakan untuk pemanasan, pemanggangan, atau pengeringan suatu bahan. Oven yang digunakan adalah Oxone Master Oven OX-8830. Oven ini memerlukan daya sebesar 1300 watt. Kapasitas dari oven yaitu sebesar 30 liter. Oven ini memiliki 4 fungsi yaitu dapat digunakan untuk memanaskan, mencairkan, memanggang, serta membakar. Selain 4 fungsi tersebut, oven ini memiliki fitur timer hingga 120 menit dan juga fitur *stay on* atau selalu menyala. Pada pengujian ini minyak isolasi dipanaskan menggunakan oven Oxone selama 20 menit menggunakan timer handphone dan oven dibiarkan menyala menggunakan fitur *stay on*. Pemanasan dilakukan sesuai dengan suhu yang telah ditetapkan yaitu suhu yang digunakan adalah suhu operasi transformator.



Gambar 3. 6 Oven Oxone Master OX-8830

3.1.5 Antena Monopole

Antena dalam pengujian ini digunakan untuk menangkap gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh partial discharge. Antena yang digunakan adalah antena jenis monopole, yaitu antena yang bentuknya menyerupai tiang. Antena monopole terdiri dari 3 bagian yaitu batang konduktor, *ground*, serta kabel yang digunakan untuk mengirimkan data sinyal yang ditangkap. Data yang ditangkap dikirimkan menggunakan kabel *coaxial* menuju osiloskop dimana nantinya gelombang tersebut ditampilkan pada layar osiloskop dan dapat disimpan. *Input* dari sebuah antena merupakan gelombang elektromagnetik yang dalam pengujian ini berasal dari medan elektromagnetik yang muncul diantara dua elektroda. *Output* yang dikirim antena berupa tegangan (V).



Gambar 3. 7 Antena *monopole*

3.1.6 High Frequency Current Transformer (HFCT)

HFCT merupakan suatu peralatan tegangan tinggi yang digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* yang terjadi pada kabel atau instalasi tegangan tinggi lain. *Partial discharge* pada isolasi menghasilkan arus dengan frekuensi yang tinggi yang akan mengalir sepanjang peralatan atau kabel yang sudah terpasang HFCT. HFCT mendeteksi arus tersebut dan mengirimkan menggunakan kabel coaxial menuju peralatan yang dapat menampilkan gelombang, dalam pengujian ini ditampilkan menggunakan osiloskop. *Input* yang diterima HFCT berupa medan yang tercipta dari arus yang mengalir pada kabel *ground*. Sedangkan *output* dari HFCT berupa tegangan yang dapat ditampilkan dalam bentuk gelombang pada osiloskop. Spesifikasi dari iHFCT-54 ditampilkan pada tabel 2.7. Dari spesifikasi HFCT yang digunakan dapat diketahui jika terdapat arus yang mengalir sebesar 1 mA, maka tegangan yang dikirimkan oleh HFCT sebesar 16 mV. Dengan begitu dapat dibuat persamaan sebagai berikut :

$$\frac{1}{16} = \frac{I_l}{V_{P-P}} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana I_l = Arus bocor (A)

V_{P-P} = Amplitudo dari gelombang HFCT (V)



Gambar 3. 8 innovit iHFCT-54

Tabel 3. 2 Spesifikasi iHFCT-54[8]

Type	iHFCT-54
Application	<i>Indoor</i> atau <i>outdoor</i>
Bandwidth	0,3 – 150 MHz
Sensitivity	I_{in} 1 mA (P-P), $V_{out} \geq 16$ mV (P-P)
Load Impedance	50 Ω
Operating Temperature	-45 ~ +80 °C
Storage Temperature	-55 ~ +90 °C
Signal termination	BNC or N-50
Protection Class	<i>Up to IP68</i>
Internal Diameter	$\Phi 54$

Weight	0,855 kg
Dimensions	128,4 mm × 110 mm × 30 mm

3.1.7 Osiloskop

Osiloskop adalah alat ukur elektronika yang berfungsi untuk memproyeksikan bentuk sinyal listrik agar dapat dilihat dan dapat dipelajari. Bentuk sinyal yang ditampilkan berupa tegangan. Dalam pengujian ini osiloskop digunakan untuk menampilkan data sinyal *partial discharge* yang ditangkap oleh antena *monopole* dan *high frequency current transformer*.

Osiloskop yang digunakan adalah *SIGLENT Handheld Digital Oscilloscope SHS1062*. Osiloskop ini termasuk dalam series SHS1000. Osiloskop ini dapat berfungsi sebagai *scope*, *multimeter*, dan *recorder*.



Gambar 3. 9 SIGLENT Handheld Digital Oscilloscope SHS1000

Osiloskop SIGLENT dengan series SHS1000 memiliki fungsi karakteristik sebagai berikut :

1. Kombinasi dari osiloskop, multimeter, dan *recorder* dengan dua channel.

2. Bandwidth maksimal sebesar 100 MHz, real time sample rate 50GSa/s, memory depth 2Mpts.
3. Resolusi dari penampil multimeter sebesar 6000 poin dan dapat mengukur tegangan, arus, resistansi, kapasitansi, *diode*, serta *continuity*.
4. Terdapat port USB flash drive yang digunakan untuk menyimpan data. Data dapat disimpan dalam bentuk *waveform*, CSV file, dan bitmap file.

Untuk menampilkan gelombang, osiloskop memerlukan *input* berupa tegangan (V). Dari gelombang yang sudah ditampilkan dapat disimpan dalam bentuk *waveform*, *bitmap file*, dan juga *CSV file*. Sehingga output dari osiloskop adalah penampilan bentuk gelombang yang dikirim melalui *channel*.

3.2 Teknik Akuisisi Data

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan beberapa peralatan yang ada di laboratorium Tegangan Tinggi ITS. Pembangkitan yang digunakan dalam pengujian adalah pembangkitan tegangan tinggi AC. Pembangkitan dihubungkan ke objek pengujian yaitu berupa dua elektroda berbentuk *point to plane* (jarum ke datar) yang tercelup di dalam minyak isolasi. Jarak yang memisahkan antara dua elektroda adalah 1 cm diukur dari ujung dari elektroda jarum menuju permukaan elektroda datar.

Pertama yang perlu dilakukan adalah mempersiapkan semua keperluan untuk pengujian mulai dari pembangkit tegangan tinggi AC, elektroda, minyak isolasi, oven, dua gelas ukur 1 liter, *infrared thermometer*, kotak akrilik, antena monopole, osiloskop, dan HFCT. Setelah semua disiapkan dan dirangkai, minyak isolasi dituang dalam gelas ukur dan dipanaskan terlebih dahulu menggunakan oven dengan suhu pemanasan 30° C, 45° C, 60° C, 75° C, dan 90° C. Suhu tersebut diperoleh dari teori kenaikan suhu operasi trafo pada tipe *oil-immersed transformer*. Dimana kenaikan suhu minyak atas maksimal adalah 65° C dengan *ambient temperature* 30° C. Namun dalam pemanasan, suhu yang digunakan dilebihi 5° C dikarenakan terdapat penyusutan suhu minyak setelah di tuang ke dalam akrilik pengujian. Pemanasan minyak isolasi dilakukan selama 20 menit.

Selanjutnya setelah semua dirangkai dan minyak sudah dituang ke dalam akrilik pengujian hingga seluruh bagian elektroda tercelup,

pembangkit dihidupkan untuk memberikan *applied voltage* ke elektroda *point* (runcing). Tegangan dinaikan secara perlahan dari 0 kV, 4 kV, 8 kV, 12 kV hingga terdapat desis dan glow pada minyak isolasi yang berada diantara elektroda. Adanya desis atau glow menandakan bahwa *partial discharge* telah muncul pada bagian tersebut. Untuk mendeteksi medan elektromagnetik yang berada diantara elektroda diperlukan sebuah antena. Untuk menampilkan gelombang yang ditangkap antena diperlukan osiloskop. Untuk memvalidasi gelombang yang ditangkap antena pada saat fenomena *partial breakdown*, HFCT dipasang secara seri dengan kabel *grounding*. Untuk menampilkan gelombang yang ditangkap HFCT pun diperlukan sebuah osiloskop. Pengambilan data dari antena dan HFCT dilakukan secara bersamaan agar data yang diperoleh dapat dibandingkan dengan mudah. Data yang diambil dimulai dari ketika *applied voltage* 0 kV lalu 4 kV dan seterusnya dengan kelipatan 4 kV hingga mencapai *inception voltage*.

3.3 Pengolahan Data dengan Software Microsoft Excell dan MATLAB

Untuk pengolahan data hasil dari pengujian diperlukan dua buah *software* yaitu MATLAB dan *Microsoft Excell*. MATLAB merupakan *software* dengan kemampuan tinggi untuk komputasi teknis. *Software* tersebut mampu menggabungkan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam satu kesatuan yang mudah digunakan dimana masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam notasi matematik yang telah dikenal. Dalam pengolahan data pengujian ini, MATLAB digunakan untuk membuat grafik atau *plotting* data yang telah didapatkan.

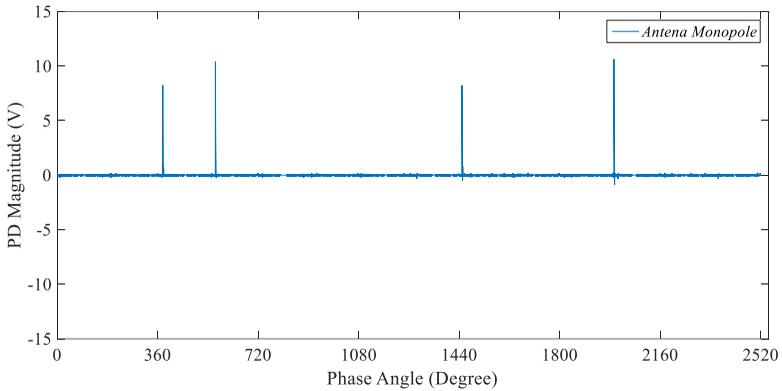
Gelombang yang ditampilkan pada layar osiloskop dapat disimpan dalam berbagai jenis file, namun untuk mempermudah pengolahan data gelombang yang ditampilkan disimpan dalam bentuk CSV. Jenis file tersebut dapat dibuka dengan menggunakan *Microsoft excell*. File tersebut berisikan tentang magnitudo dari channel 1, channel 2, serta waktu. Gambar 3.10 merupakan penampakan isi dari file CSV yang didapatkan dari osiloskop.

	A	B	C
12	Source	CH1	CH2
13	Second	Volt	Volt
14	-0.08192	0.4	0.6
15	-0.08191	0.4	0.4
16	-0.0819	0.4	0.4
17	-0.0819	0.32	0.4
18	-0.08189	0.24	0.6
19	-0.08188	0.32	0.6
20	-0.08187	0.32	0.6
21	-0.08186	0.24	0.6
22	-0.08186	0.32	0.6
23	-0.08185	0.32	0.6
24	-0.08184	0.4	0.6
25	-0.08183	0.24	0.6
26	-0.08182	0.32	0.6
27	-0.08182	0.32	0.6
28	-0.08181	0.32	0.6
29	-0.0818	0.24	0.6
30	-0.08179	0.24	0.6
31	-0.08178	0.24	0.6
32	-0.08178	0.24	0.8
33	-0.08177	0.24	0.8
34	-0.08176	0.24	0.6

Gambar 3. 10 Isi file CSV

Data tersebut dapat digunakan untuk membuat garfik pada MATLAB. *Plotting* grafik pada MATLAB dimulai dari memasukkan data yang ingin diplot kedalam *workspace*. Cara memasukan data yaitu dengan memilih submenu *import data* yang ada pada menu *home*. Setelah muncul data yang ingin diimport, klik *import selection*.

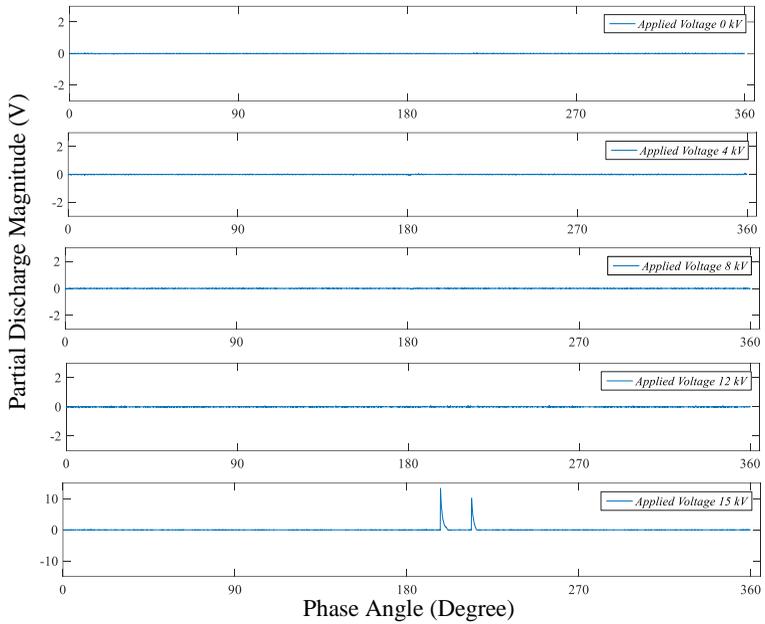
Untuk plotting bias menggunakan dua acara, yaitu dengan klik kanan data yang ingin diplot pada *workspace*, lalu pilih plot. Atau yang kedua dengan menuliskan fungsi plot dengan data yang ingin diplot pada *command window*. Gambar 3.11 merupakan contoh hasil plot dengan menggunakan MATLAB.



Gambar 3.11 Hasil dari plotting sebuah data

3.4 Performansi Antena yang Digunakan Untuk Mendeteksi *Partial Discharge*

Antena monopole merupakan antena yang sederhana dan memiliki pola omdireksional. Selain itu, antena monopole relative mudah untuk mengatur antena untuk bekerja pada rentang frekuensi tertentu. Dalam pengujian ini antena digunakan untuk mendeteksi medan elektromagnetik yang muncul pada saat *partial discharge*. Namun medan elektromagnetik tidak hanya muncul pada saat *partial discharge* saja, namun pada saat elektroda uji di suplai dengan tegangan dari pembangkit. Semakin tinggi tegangan suplai yang di *inject* pada elektroda, medan elektromagnetik yang muncul juga semakin kuat. Hal tersebut akan membuat amplitudo gelombang yang ditangkap oleh antena meningkat seiring dengan peningkatan tegangan suplai. Gambar 3.12 adalah bentuk gelombang yang ditangkap antena pada tegangan suplai 0 kV, 4 kV, 8 kV, 12 kV, hingga 15 kV. Dari gambar tersebut terlihat amplitudo semakin tinggi seiring dengan peningkatan tegangan suplai. Hal tersebut menandakan bahwa antena dapat mendeteksi medan elektromagnetik dengan baik.



Gambar 3. 12 Performansi antenna dalam menangkap gelombang elektromagnetik dari *partial discharge*

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tugas akhir ini akan membahas membahas metode deteksi *partial discharge* dengan menggunakan metode *Very High Frequency* (VHF) dan *Leakage Current*. Pengujian VHF menggunakan antena yang telah diatur dengan *bandwidth* 250 MHz. Antena digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* pada minyak isolasi yang telah dipanaskan pada suhu yang telah ditentukan. Metode *leakage current* menggunakan HFCT yang digunakan sebagai validator dan komparator.

Pengujian dilakukan saat kondisi *pre-breakdown* dimana ditandai dengan adanya desis dan *glow*. Sinyal diambil pada saat adanya desis yang sudah muncul dan *glow*. Pengujian VHF dan arus dilakukan dalam waktu yang bersamaan agar validasi dan komparasi lebih sesuai. Pengujian ini dilakukan di laboratorium tegangan tinggi Teknik Elektro ITS.

4.1 Analisa *Partial Discharge* oleh Antena

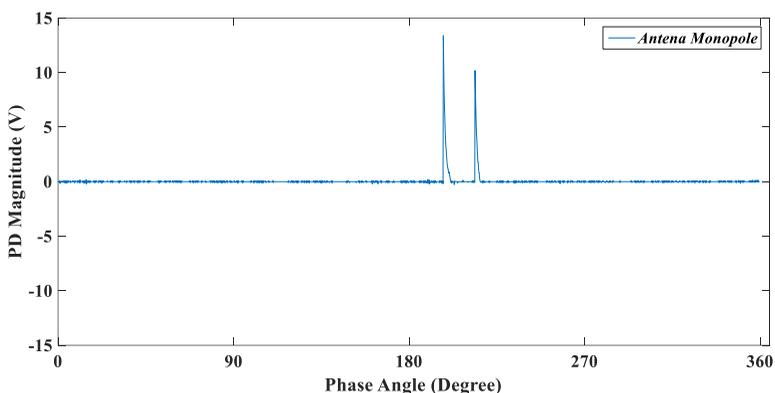
Ada beberapa factor yang mempengaruhi tegangan tembus (*breakdown*) pada suatu bahan isolasi. Pada isolasi cair terdapat beberapa faktor yang salah satunya adalah suhu isolasi tersebut. Pada tugas akhir ini minyak isolasi dipanaskan pada suhu 30° C, 45° C, 60° C, 75° C, dan 90° C. Selain itu, kemunculan PD juga dapat dipengaruhi suhu minyak isolasi.

Partial discharge dapat diketahui melalui amplitudo tegangan yang diterima oleh antena *monopole*. Besar amplitudo dari gelombang yang ditangkap bergantung dengan besar tegangan yang disuplai. Semakin besar tegangan yang disuplai semakin besar juga amplitudonya, yang berarti besar medan elektromagnetik yang muncul di kedua elektroda berbanding lurus dengan tegangan yang disuplai pada kedua elektroda.

4.1.1 Analisa *Partial Discharge* oleh Antena pada Isolasi Minyak Suhu 30° C

Dengan suhu pemanasan 90° C, PD muncul pada *applied voltage* sebesar 15 kV. Gambar 4.1 gelombang yang ditangkap antena pada saat elektroda diberikan *applied voltage* sebesar 15 kV. Pada gelombang 0 kV

memiliki amplitudo tegangan maksimum sebesar 0,264 V. Pada gelombang 4 kV memiliki amplitudo tegangan maksimum sebesar 1,16 V. Pada gelombang 8 kV nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 1,96 V. Pada gelombang 12 kV, nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 2,88 V. Pada gelombang 15 kV, nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 4,4 V. Dapat dilihat juga pada gelombang 15 kV terdapat 2 *spike* yang tertangkap. Masing masing bernilai 13 V dan 10.4 V. Lokasi dari spike 13 V berada pada sudut fasa 194,112°. Sedangkan spike 10.4 V berada pada sudut fasa 201,744°.

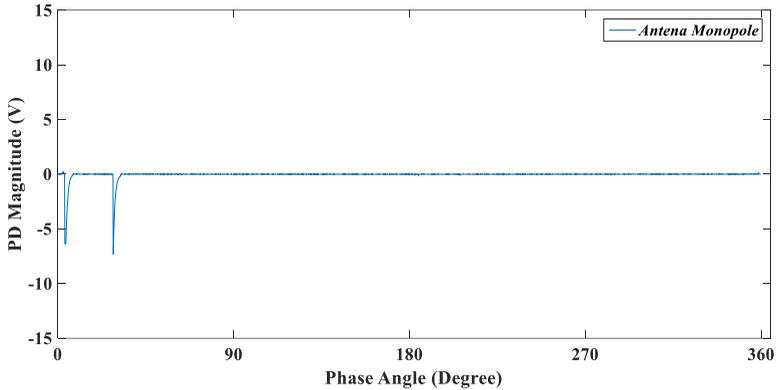


Gambar 4. 1 *Partial discharge* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 30° C dengan *applied voltage* 15 kV

4.1.2 Analisa *Partial Discharge* oleh Antena pada Isolasi Minyak Suhu 45° C

Dengan suhu pemanasan 90° C, PD muncul pada *applied voltage* sebesar 15 kV. Gambar 4.2 merupakan gelombang yang ditangkap antena pada saat elektroda diberikan *applied voltage* sebesar 15 kV. Pada gelombang 0 kV memiliki amplitudo tegangan maksimum sebesar 0,272 V. Pada gelombang 4 kV memiliki amplitudo tegangan maksimum sebesar 0,92 V. Pada gelombang 8 kV nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 1,84 V. Pada gelombang 12 kV, nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 2,96 V. Pada gelombang 15 kV, nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 3,6 V. Dapat dilihat juga pada gelombang 15 kV terdapat 2 *spike* yang tertangkap. Masing masing

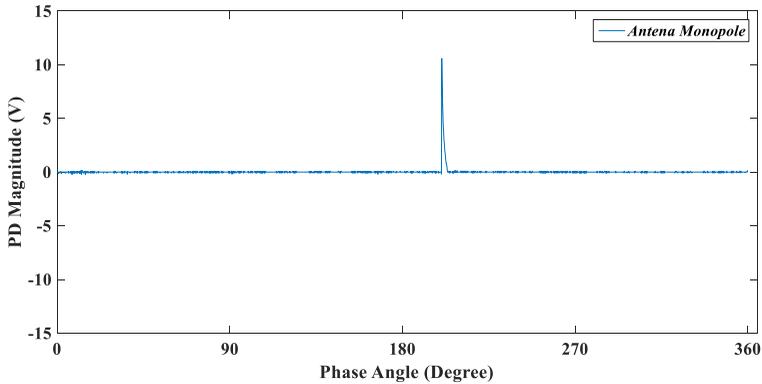
bernilai 6,24 V dan 5,68 V. Lokasi dari spike 6,24 V berada pada sudut fasa 3,6°. Sedangkan spike 5,68 V berada pada sudut fasa 28,368°.



Gambar 4. 2 *Partial discharge* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 45° C dengan *applied voltage* 15 kV

4.1.3 Analisa *Partial Discharge* oleh Antena pada Isolasi Minyak Suhu 60° C

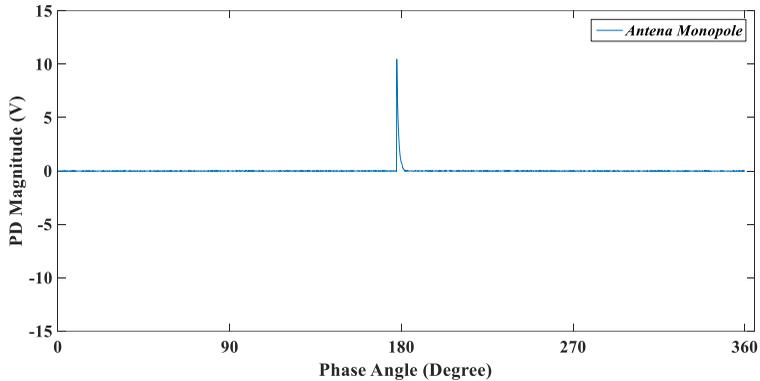
Dengan suhu pemanasan 90° C, PD muncul pada *applied voltage* sebesar 15 kV. Gambar 4.3 merupakan gelombang yang ditangkap antena pada saat elektroda diberikan *applied voltage* sebesar 15 kV. Pada gelombang 0 kV memiliki amplitudo tegangan maksimum sebesar 0,288 V. Pada gelombang 4 kV memiliki amplitudo tegangan maksimum sebesar 1,04 V. Pada gelombang 8 kV nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 2,32 V. Pada gelombang 12 kV, nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 3,2 V. Pada gelombang 15 kV, nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 4,8 V. Dapat dilihat juga pada gelombang 15 kV terdapat 1 *spike* yang tertangkap yang bernilai 11 V. Lokasi dari spike 11 V berada pada sudut fasa 201°.



Gambar 4.3 *Partial discharge* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 60° C dengan *applied voltage* 15 kV

4.1.4 Analisa *Partial Discharge* oleh Antena pada Isolasi Minyak Suhu 75° C

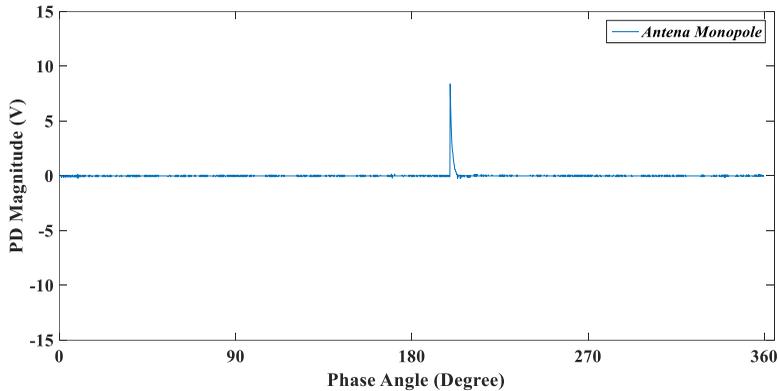
Dengan suhu pemanasan 90° C, PD muncul pada *applied voltage* sebesar 15 kV. Gambar 4.4 merupakan gelombang yang ditangkap antena pada saat elektroda diberikan *applied voltage* sebesar 15 kV. Pada gelombang 0 kV memiliki amplitudo tegangan maksimum sebesar 0,304 V. Pada gelombang 4 kV memiliki amplitudo tegangan maksimum sebesar 1,28 V. Pada gelombang 8 kV nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 2,4 V. Pada gelombang 12 kV, nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 3,28 V. Pada gelombang 15 kV, nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 3,68 V. Dapat dilihat juga pada gelombang 15 kV terdapat 1 *spike* yang tertangkap yang bernilai 11,04 V. Lokasi dari spike 11,04 V berada pada sudut fasa 177,7°.



Gambar 4. 4 *Partial discharge* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 75°C dengan *applied voltage* 15 kV

4.1.5 Analisa *Partial Discharge* oleh Antena pada Isolasi Minyak Suhu 90°C

Dengan suhu pemanasan 90°C , PD muncul pada *applied voltage* sebesar 14 kV. Gambar 4.5 merupakan gelombang yang ditangkap antena pada saat elektroda diberikan *applied voltage* sebesar 14 kV. Pada gelombang 0 kV memiliki amplitudo tegangan maksimum sebesar 0,272 V. Pada gelombang 4 kV memiliki amplitudo tegangan maksimum sebesar 0,96 V. Pada gelombang 8 kV nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 1,96 V. Pada gelombang 12 kV, nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 3,04 V. Pada gelombang 14 kV, nilai amplitudo tegangan maksimum sebesar 4,2 V. Dapat dilihat juga pada gelombang 14 kV terdapat 1 *spike* yang tertangkap yang bernilai 9,2 V. Lokasi dari *spike* 9,2 V berada pada sudut fasa $198,1^{\circ}$.



Gambar 4. 5 *Partial discharge* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 90° C dengan *applied voltage* 14 kV

4.2 Analisa *Leakage Current* oleh *High Frequency Current Transformer*

Setiap bahan isolasi akan menghantarkan arus pada saat *applied voltage* dinaikan hingga kondisi tertentu. Hal tersebut dapat terjadi karena elektron elektron yang saling bertubrukan. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi arus bocor pada isolasi yaitu bahan isolasi, temperatur isolasi, dan kontaminan yang terdapat pada isolasi. Arus bocor yang semakin meningkat dapat menimbulkan panas dan terjadi kegagalan isolasi secara bertahap.

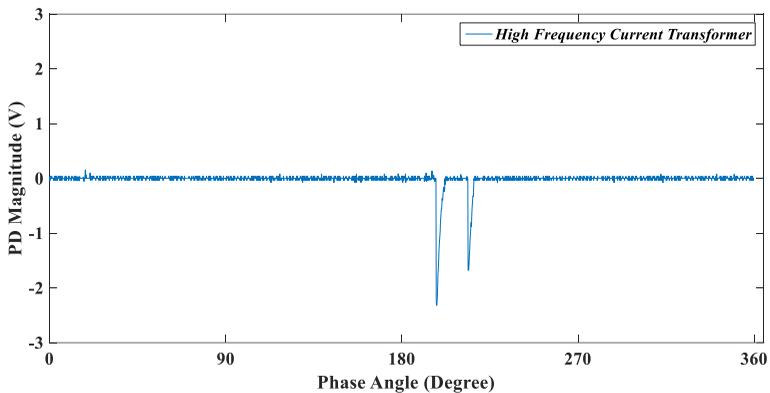
4.2.1 Analisa *Leakage Current* oleh HFCT pada Isolasi Minyak Suhu 30° C

Gambar 4.6 menunjukkan gelombang elektromagnetik dari arus yang di tangkap HFCT pada *applied voltage* sebesar 15 kV. Pada tegangan suplai 0 kV, amplitudo tegangan maksimumnya sebesar 0,16 V. Pada gelombang tegangan suplai 4 kV, amplitudo tegangan maksimumnya sebesar 0,62 V. Pada gelombang tegangan suplai 8 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 1,12 V. Pada gelombang tegangan suplai 12 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 1,6 V. Sedangkan pada tegangan suplai 15 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 2,08 V. *Leakage current* dapat ditemukan pada gelombang 15 kV yang berada pada sudut fasa 194,4° dan sudut fasa 201,744°. *Spike* yang ada pada

gelombang 15 kV memiliki *magnitude* sebesar -1,92 V untuk sudut fasa 194,4° dan -1,44 V untuk sudut fasa 201,744°. Selisih dengan *magnitude* sebelumnya yaitu sebesar 1,76 V dan 1,6 V. Dengan menggunakan persamaan 3.1, dapat diketahui *leakage current* sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Fasa } 194,4^\circ \\ \frac{I_l}{1,76} &= \frac{1}{16} \dots (4.1) \\ I_l &= \frac{1,76}{16} \\ I_l &= 110 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa } 201,744^\circ \\ \frac{I_l}{1,6} &= \frac{1}{16} \dots (4.2) \\ I_l &= \frac{1,6}{16} \\ I_l &= 100 \text{ mA} \end{aligned}$$



Gambar 4. 6 Leakage current pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 30° C dengan *applied voltage* 15 kV

4.2.2 Analisa *Leakage Current* oleh HFCT pada Isolasi Minyak Suhu 45° C

Gambar 4.7 menunjukkan gelombang elektromagnetik dari arus yang di tangkap HFCT pada *applied voltage* sebesar 15 kV. Pada gelombang tegangan suplai 0 kV, amplitudo tegangan maksimumnya sebesar 0,156 V. Pada gelombang tegangan suplai 4 kV, amplitudo tegangan maksimumnya sebesar 0,58 V. Pada gelombang tegangan suplai 8 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 1,12 V. Pada gelombang tegangan suplai 12 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 1,8 V. Sedangkan pada tegangan suplai 15 kV, amplitudo tegangan

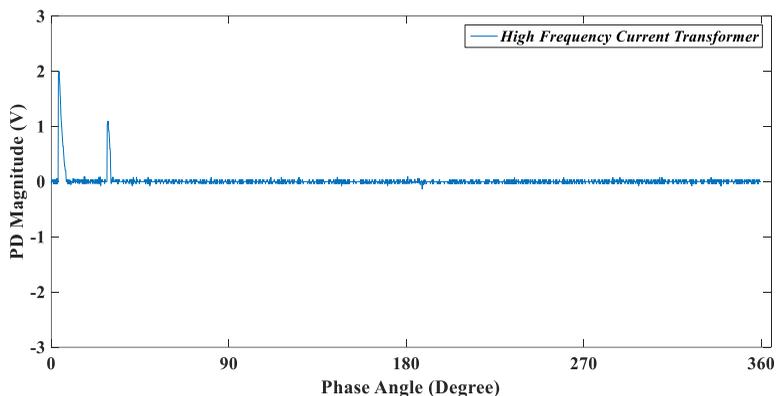
maksimumnya 2,16 V. Leakage current dapat ditemukan pada gelombang 15 kV yang berada pada sudut fasa 3,6° dan sudut fasa 28,37°. *Spike* yang ada pada gelombang 15 kV memiliki *magnitude* sebesar 2,08 V untuk sudut fasa 3,6° dan 0,4 V untuk sudut fasa 28,37°. Selisih dengan *magnitude* sebelumnya yaitu sebesar 2 V untuk sudut fasa 3,6° dan 1,12 V. Dengan menggunakan persamaan 3.1, dapat diketahui *leakage current* sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Fasa } 3,6^\circ \\ \frac{I_l}{2} &= \frac{1}{16} \dots (4.3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_l &= \frac{2}{16} \\ I_l &= 125 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa } 28,37^\circ \\ \frac{I_l}{1,12} &= \frac{1}{16} \dots (4.4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_l &= \frac{1,12}{16} \\ I_l &= 70 \text{ mA} \end{aligned}$$



Gambar 4. 7 *Leakage current* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 45° C dengan *applied voltage* 15 kV

4.2.3 Analisa *Leakage Current* oleh HFCT pada Isolasi Minyak Suhu 60° C

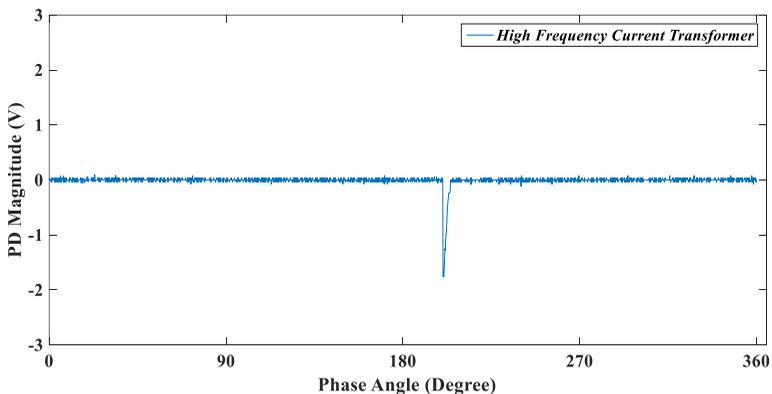
Gambar 4.8 menunjukkan gelombang elektromagnetik dari arus yang di tangkap HFCT pada *applied voltage* sebesar 15 kV. Pada gelombang tegangan suplai 0 kV, amplitudo tegangan maksimumnya sebesar 0,168 V. Pada gelombang tegangan suplai 4 kV, amplitudo tegangan maksimumnya sebesar 0,6 V. Pada gelombang tegangan suplai

8 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 1,2 V. Pada gelombang tegangan suplai 12 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 1,84 V. Sedangkan pada tegangan suplai 15 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 2,48 V. Leakage current dapat ditemukan pada gelombang 15 kV yang berada pada sudut fasa 201°. *Spike* yang ada pada gelombang 15 kV memiliki *magnitude* sebesar -1,68 V. Selisih dengan *magnitude* sebelumnya yaitu sebesar 1,76 V. Dengan menggunakan persamaan 3.1, dapat diketahui *leakage current* sebesar :

$$\frac{I_l}{1,76} = \frac{1}{16} \dots (4.5)$$

$$I_l = \frac{1,1,7644}{16}$$

$$I_l = 108,125 \text{ mA}$$



Gambar 4. 8 *Leakage current* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 60° C dengan *applied voltage* 15 kV

4.2.4 Analisa *Leakage Current* oleh HFCT pada Isolasi Minyak Suhu 75° C

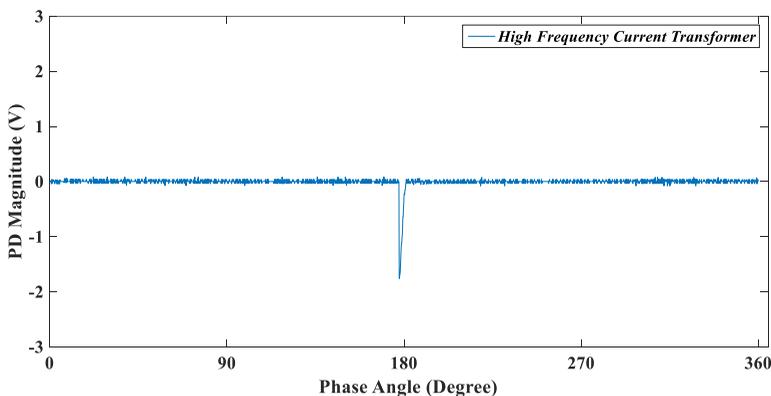
Gambar 4.9 menunjukkan gelombang elektromagnetik dari arus yang di tangkap HFCT pada *applied voltage* sebesar 15 kV. Pada gelombang tegangan suplai 0 kV, amplitudo tegangan maksimumnya sebesar 0,176 V. Pada gelombang tegangan suplai 4 kV, amplitudo

tegangan maksimumnya sebesar 0,76 V. Pada gelombang tegangan suplai 8 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 1,4 V. Pada gelombang tegangan suplai 12 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 1,96 V. Sedangkan pada tegangan suplai 14 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 2,24 V. Leakage current dapat ditemukan pada gelombang 14 kV yang berada pada sudut fasa 177,7°. *Spike* yang ada pada gelombang 14 kV memiliki *magnitude* sebesar -2,16 V. Selisih dengan *magnitude* sebelumnya yaitu sebesar 1,76 V. Dengan menggunakan persamaan 3.1, dapat diketahui *leakage current* sebesar :

$$\frac{I_l}{1,76} = \frac{1}{16} \dots (4.6)$$

$$I_l = \frac{1,76}{16}$$

$$I_l = 110 \text{ mA}$$



Gambar 4. 9 *Leakage current* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 75° C dengan *applied voltage* 15 kV

4.2.5 Analisa *Leakage Current* oleh HFCT pada Isolasi Minyak Suhu 90° C

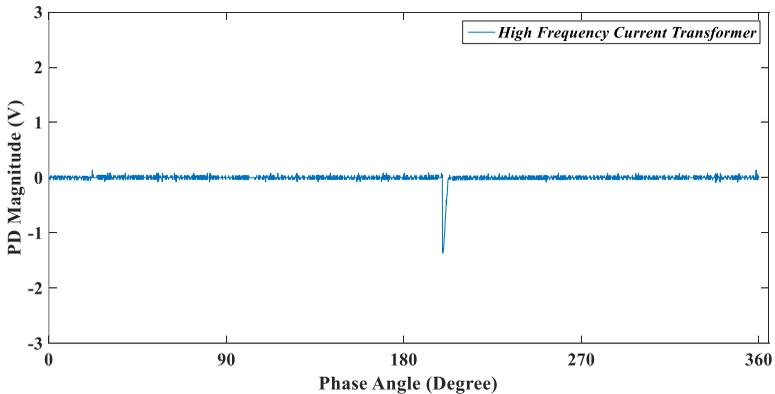
Gambar 4.10 menunjukkan gelombang elektromagnetik dari arus yang di tangkap HFCT pada *applied voltage* sebesar 15 kV. Pada gelombang tegangan suplai 0 kV, amplitudo tegangan maksimumnya

sebesar 0,156 V. Pada gelombang tegangan suplai 4 kV, amplitudo tegangan maksimumnya sebesar 0,58 V. Pada gelombang tegangan suplai 8 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 1,12 V. Pada gelombang tegangan suplai 12 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 1,68 V. Sedangkan pada tegangan suplai 14 kV, amplitudo tegangan maksimumnya 2,16 V. Leakage current dapat ditemukan pada gelombang 14 kV yang berada pada sudut fasa 198,1°. *Spike* yang ada pada gelombang 14 kV memiliki *magnitude* sebesar -1,44 V. Selisih dengan *magnitude* sebelumnya yaitu sebesar 1,44 V. Dengan menggunakan persamaan 3.1, dapat diketahui *leakage current* sebesar :

$$\frac{I_l}{1,44} = \frac{1}{16} \dots (4.7)$$

$$I_l = \frac{1,44}{16}$$

$$I_l = 90 \text{ mA}$$



Gambar 4. 10 *Leakage current* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 90° C dengan *applied voltage* 14 kV

4.3 Analisa PRPD

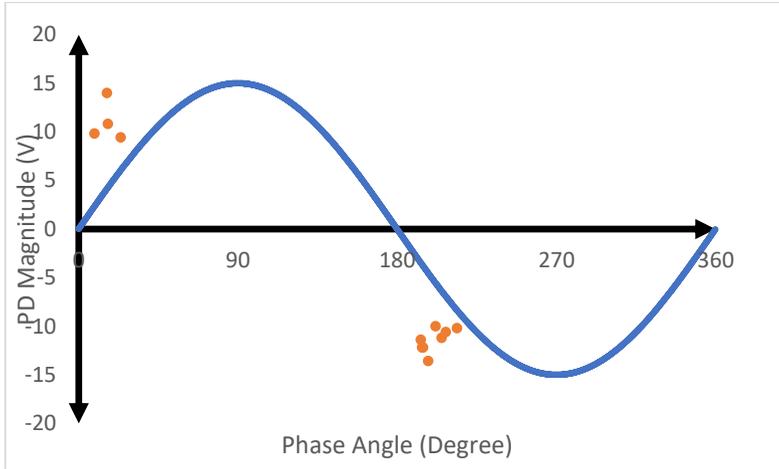
Phase Resolved Partial Discharge (PRPD) adalah metode yang mengukur dan merekam sinyal *partial discharge* pada siklus fasa tegangan yang berbeda. PRPD digunakan dalam menghitung banyaknya

partial discharge yang terjadi dalam kurun waktu tertentu. Analisa PRPD hanya dapat dilakukan pada kondisi *pre-breakdown*. Hasil yang didapatkan dapat terdistraksi oleh *noise* (gangguan sinyal). Variasi pengujian yang dilakukan berupa isolasi minyak dengan suhu pemanasan 30° C, 45° C, 60° C, 75° C, 90° C.

Ketika tegangan *applied* pada elektroda runcing melebihi kekuatan *breakdown* udara, ionisasi disekitar elektroda runcing akan terjadi. *Streamer* positif dan *streamer* negative dibentuk berdasarkan polaritas tegangan *applied*. *Streamer-streamer* tersebut merupakan *corona discharge*. *Corona discharge* tetap terjadi hingga *transient activity* berhenti dimana *discharge* tersebut menjadi *self sustained* dan cahaya akan muncul mendekati anoda. Ketika tegangan *applied* meningkat, jumlah *streamer* dapat tumbuh lebih lama. Medan listrik yang mengelilingi ujung elektroda runcing meningkat seiring amplitude tegangan *applied* sehingga memungkinkan terjadinya *partial discharge* yang lebih banyak.

4.3.1 Analisa PRPD pada Minyak Isolasi dengan Suhu Pemanasan 30° C

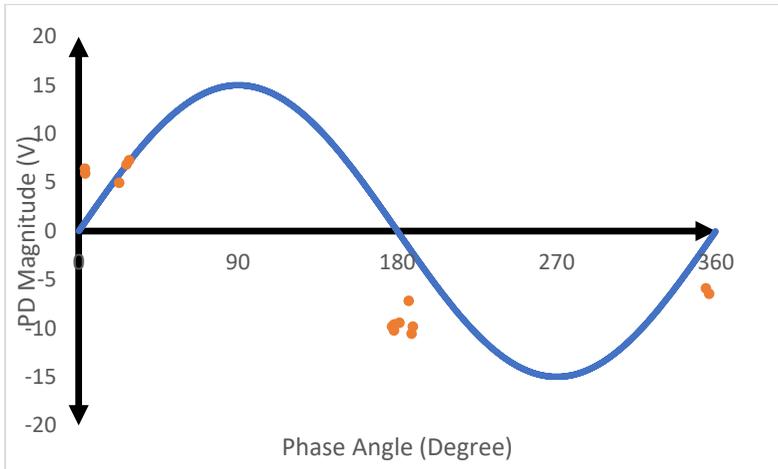
Pada gambar 4.11 menunjukkan pola *partial discharge* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 30° C, dimana tegangan *applied* sebesar 15 kV. Sumbu X menyatakan sudut fasa dan sumbu Y menyatakan besaran PD. Pola tersebut didapatkan dari 12 titik PD dimana setiap titik pada gambar merepresentasikan pulsa *partial discharge*. Pulsa *partial discharge* tersebut muncul pada siklus positif dan negatif. Pada siklus negatif, *corona discharge* muncul pada sudut fasa antara 193° hingga 214°. Sedangkan pada siklus positif, *corona discharge* muncul pada sudut fasa 9° hingga 24°. Pada siklus negatif terdapat 8 titik, sedangkan pada siklus positif terdapat 4 titik. Jumlah *cycles* yang berada pada siklus negatif lebih banyak dibandingkan dengan siklus positif. Hal tersebut dapat disebabkan oleh dua hal. Pertama, elektron yang tersedia dari elektroda polaritas positif untuk mengionisasi molekul udara netral disekitarnya untuk menghasilkan banjiran adalah sedikit. Kedua, pada tegangan *applied* yang rendah, probabilitas mendapat elektron bebas awal yang disebabkan oleh elektroda negatif yang bertujuan untuk memulai ionisasi adalah banyak. Sehingga, *corona discharge* yang berada pada siklus negatif lebih banyak dari siklus positif..



Gambar 4. 11 Pola PRPD pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 30° C

4.3.2 Analisa PRPD pada Minyak Isolasi dengan Suhu Pemanasan 45° C

Pada gambar 4.12 menunjukkan pola *partial discharge* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 45° C, dimana tegangan *applied* sebesar 15 kV. Sumbu X menyatakan sudut fasa dan sumbu Y menyatakan besaran PD. Pola tersebut didapatkan dari 15 titik PD dimana setiap titik pada gambar merepresentasikan pulsa *partial discharge*. Pulsa *partial discharge* tersebut muncul pada siklus positif dan negatif. Pada siklus negatif, *corona discharge* muncul pada sudut fasa antara 177° hingga 189° dan 354° hingga 357°. Sedangkan pada siklus positif, *corona discharge* muncul pada sudut fasa 3° hingga 29°. Pada siklus negatif terdapat 9 titik sedangkan pada siklus positif terdapat 6 titik *partial discharge*. Jumlah titik yang berada pada siklus negatif lebih banyak dibandingkan dengan siklus positif. Hal tersebut dapat disebabkan oleh dua hal. Pertama, elektron yang tersedia dari elektroda polaritas positif untuk mengionisasi molekul udara netral disekitarnya untuk menghasilkan banjir adalah banyak. Kedua, pada tegangan *applied* yang rendah, probabilitas mendapat elektron bebas awal yang disebabkan oleh elektroda negatif yang bertujuan untuk memulai ionisasi adalah tinggi. Sehingga, *corona discharge* yang berada pada siklus negatif lebih banyak dari siklus positif.

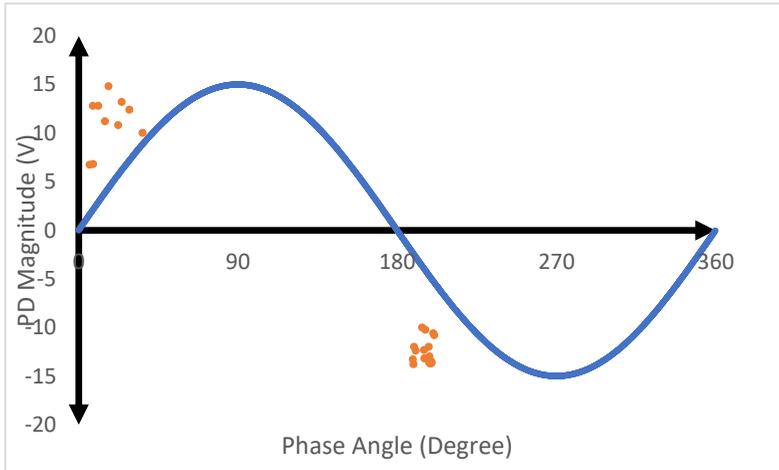


Gambar 4. 12 Pola PRPD pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 45° C

4.3.3 Analisa PRPD pada Minyak Isolasi dengan Suhu Pemanasan 60° C

Pada gambar 4.13 menunjukkan pola *partial discharge* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 45° C, dimana tegangan *applied* sebesar 15 kV. Sumbu X menyatakan sudut fase dan sumbu Y menyatakan besaran PD. Pola tersebut didapatkan dari 24 titik PD dimana setiap titik pada gambar merepresentasikan pulsa *partial discharge*. Pulsa *partial discharge* tersebut muncul pada siklus positif dan negatif. Pada siklus negatif, *corona discharge* muncul pada sudut fase antara 188° hingga 202°. Sedangkan pada siklus positif, *corona discharge* muncul pada sudut fase 6° hingga 37°. Pada siklus negatif terdapat 14 *cycles*, sedangkan pada siklus positif terdapat 10 *cycles*. Jumlah *cycles* yang berada pada siklus negatif lebih banyak dibandingkan dengan siklus positif. Hal tersebut dapat disebabkan oleh dua hal. Pertama, terdapat beberapa elektron yang tersedia dari elektroda polaritas positif untuk mengionisasi molekul udara netral disekitarnya untuk menghasilkan banjir. Kedua, pada tegangan *applied* yang rendah, probabilitas mendapat elektron bebas awal yang disebabkan oleh elektroda negatif yang bertujuan untuk memulai ionisasi adalah tinggi. Sehingga, *corona*

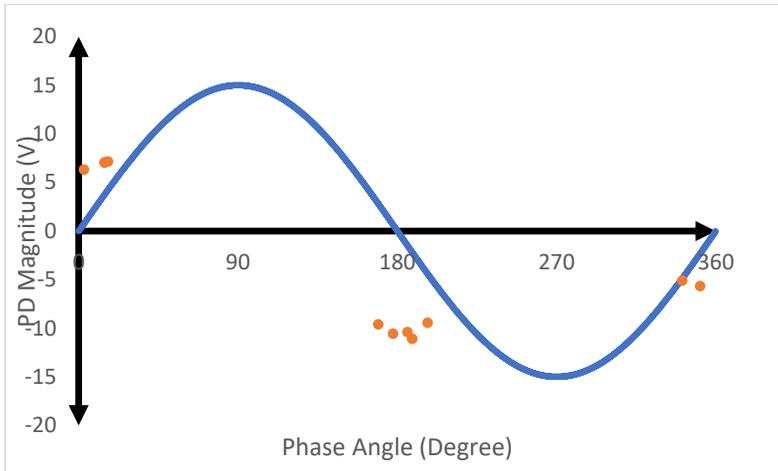
discharge yang berada pada siklus negatif lebih sedikit dari siklus positif dan ada terdapat kemungkinan tidak ada *corona discharge* pada siklus negatif.



Gambar 4. 13 Pola PRPD pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 60° C

4.3.4 Analisa PRPD pada Minyak Isolasi dengan Suhu Pemanasan 75° C

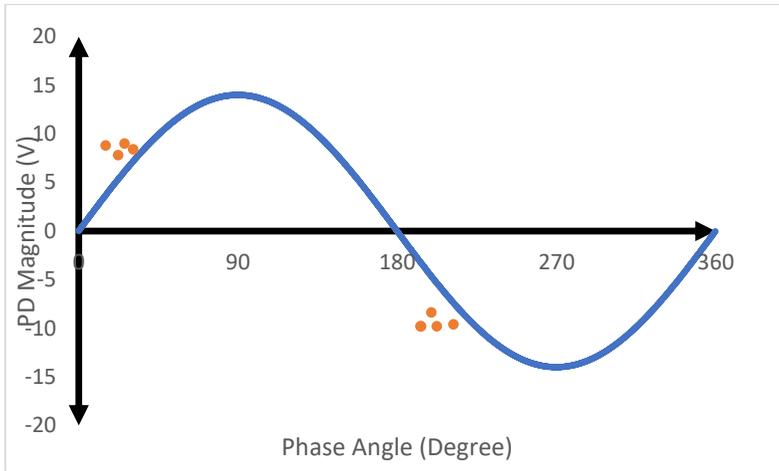
Pada gambar 4.14 menunjukkan pola *partial discharge* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 75° C, dimana tegangan *applied* sebesar 15 kV. Sumbu X menyatakan sudut fasa dan sumbu Y menyatakan besaran PD. Pola tersebut didapatkan dari 11 titik PD dimana setiap titik pada gambar merepresentasikan pulsa *partial discharge*. Pulsa *partial discharge* tersebut muncul pada siklus positif dan negatif. Pada siklus negatif, *corona discharge* muncul pada sudut fasa antara 169° hingga 198° dan 341° hingga 352°. Sedangkan pada siklus positif, *corona discharge* muncul pada sudut fasa 2° hingga 17°. Pada siklus negatif terdapat 6 titik PD sedangkan pada siklus positif terdapat 5 titik PD. Jumlah *cycles* yang berada pada siklus positif lebih sedikit dibandingkan dengan siklus negatif. Hal tersebut dikarenakan jumlah elektron yang berada pada elektroda positif untuk mengionisasi molekul netral disekitarnya banyak.



Gambar 4. 14 Pola PRPD pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 75° C

4.3.5 Analisa PRPD pada Minyak Isolasi dengan Suhu Pemanasan 90° C

Pada gambar 4.15 menunjukkan pola *partial discharge* pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 90° C, dimana tegangan *applied* sebesar 14 kV. Sumbu X menyatakan sudut fasa dan sumbu Y menyatakan besaran PD. Pola tersebut didapatkan dari 9 titik PD dimana setiap titik pada gambar merepresentasikan pulsa *partial discharge*. Pulsa *partial discharge* tersebut muncul pada siklus positif dan negatif. Pada siklus negatif, *corona discharge* muncul pada sudut fasa antara 193° hingga 212°. Sedangkan pada siklus positif, *corona discharge* muncul pada sudut fasa 15° hingga 31°. Pada siklus negatif terdapat 5 *cycles*, sedangkan pada siklus positif terdapat 4 titik PD. Jumlah titik PD yang berada pada siklus positif lebih sedikit dibandingkan dengan siklus negatif. Hal tersebut dikarenakan jumlah elektron yang berada pada elektroda positif untuk mengionisasi molekul netral disekitarnya adalah banyak.



Gambar 4. 15 Pola PRPD pada minyak isolasi dengan suhu pemanasan 90° C

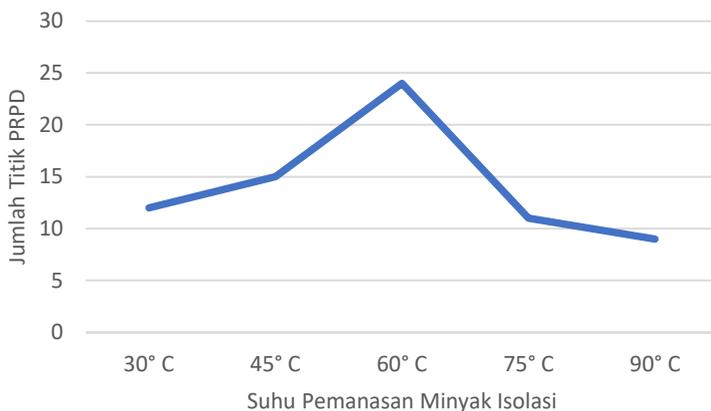
4.3.6 Analisa Pola PRPD pada Minyak Isolasi dengan Suhu Pemanasan 30° C, 45° C, 60° C, 75° C, dan 90° C

Untuk mencapai kondisi *pre-breakdown* pada isolasi minyak, terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi, salah satunya adalah kontaminan. Beberapa kontaminan yang biasanya dijumpai adalah gelembung gas, kandungan air, dan furan. Kandungan air muncul dikarenakan suhu minyak yang terlalu tinggi atau uap air dari luar trafo yang masuk ketika sedang melakukan inspeksi. Gambar 4.11 hingga gambar 4.15 merupakan pola PRPD pada minyak isolasi yang dipanaskan dengan suhu 30° C, 45° C, 60° C, 75° C, dan 90° C. Dari tabel 4.1 dan gambar 4.16 terlihat jumlah titik PRPD yang paling banyak pada suhu pemanasan 60° C, lalu 45° C, 30° C, 75° C, dan yang paling sedikit pada suhu pemanasan 90° C. Hal tersebut dikarenakan medan elektromagnetik disekitar elektroda pada suhu pemanasan minyak isolasi 60° C lebih besar dari pada medan elektromagnetik disekitar elektroda pada suhu pemanasan minyak isolasi lainnya. Sedangkan pada suhu pemanasan minyak isolasi 90° C, dengan tegangan *applied* 14 kV sudah mulai muncul desis dan spike pada gelombang yang ditangkap antenna maupun

HFCT. Dengan tegangan *applied* 14 kV, medan elektromagnetik yang muncul di sekitar elektroda lebih kecil daripada yang lain.

Tabel 4. 1 Tabel hubungan suhu pemanasan minyak isolasi dengan jumlah Titik PRPD

Suhu Pemanasan Minyak Isolasi	Jumlah Titik PRPD
30° C	12
45° C	15
60° C	24
75° C	11
90° C	9

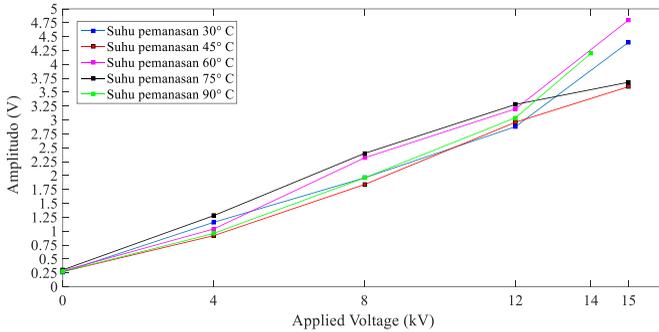


Gambar 4. 16 Perbandingan suhu pemanasan minyak isolasi dengan jumlah titik PRPD

4.4 Analisa Amplitudo Tegangan Antena

Partial discharge (PD) dapat diketahui dari amplitudo tegangan yang merupakan output dari antena yang mendeteksi medan elektromagnetik yang muncul di sekitar elektroda. Menurut hasil dari pengujian yang telah dilakukan, semakin tinggi tegangan *applied* pada elektroda maka semakin kuat medan elektromagnetik yang muncul

diantara kedua elektroda. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.17 yang merupakan kenaikan amplitudo tegangan ketika tegangan suplainya dinaikan setiap 4 kV hingga *inception voltage*. Nilai-nilai tersebut merupakan *attenuation* 10X dari probe yang digunakan.



Gambar 4. 17 Grafik pembacaan amplitudo antena setiap kenaikan *applied voltage*

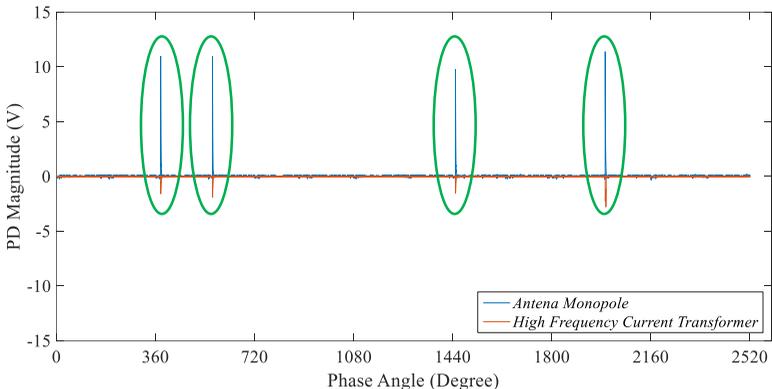
4.5 Metode *Leakage Current* Sebagai Validasi Data dan Komparasi Data

Metode *leakage current* digunakan sebagai validasi data *partial discharge*. *Leakage current* yang digunakan berbentuk gelombang yang ditangkap oleh HFCT. Arus bocor dideteksi dengan menggunakan HFCT yang dipasang pada kabel *grounding* dan ditampilkan pada osiloskop. Data yang divalidasi merupakan gelombang yang ditangkap pada saat *inception voltage*.

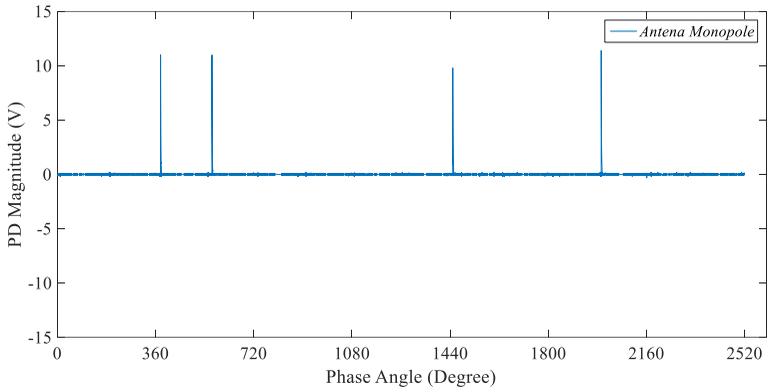
Data yang divalidasi adalah *magnitude* arus yang terbaca oleh HFCT pada *inception voltage*. Satuan arus adalah ampere, namun output dari HFCT berupa tegangan. Dari datasheet HFCT yang digunakan dijelaskan jika arus bocor yang lewat sebesar 1 mA, maka output dari HFCT sebesar 16 mV. Gambar 4.18 merupakan grafik dari *partial discharge* yang divalidasi menggunakan *leakage current*. Gambar 4.19 dan gambar 4.20 merupakan hasil dari gambar 4.18 yang dipisah menjadi grafik data *partial discharge* dan grafik data *leakage current*. Dari gambar tersebut terdapat 4 *spike* yang menandakan bahwa adanya *partial discharge*. Lokasi dari *spike partial discharge* maupun *spike leakage*

current adalah sama. *Spike-spike* tersebut berada di sudut fase $18,9^\circ$, $207,4^\circ$, 11° , dan 195° . Maka dari itu, data *leakage current* dapat digunakan sebagai validasi data *partial discharge*.

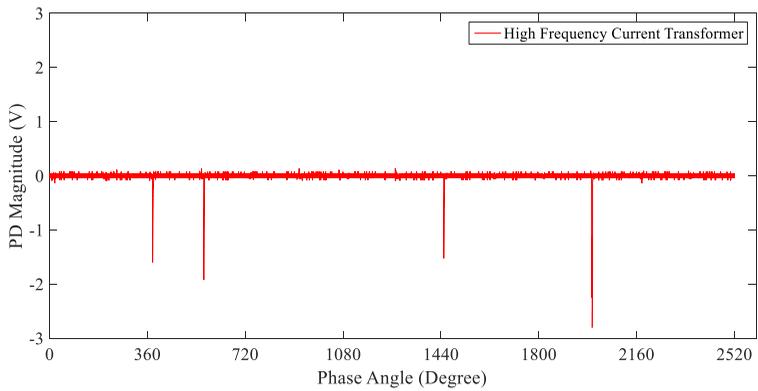
Berdasarkan gambar 4.19 dan gambar 4.20 dapat disimpulkan bahwa metode deteksi *partial discharge* dengan metode antena *very high frequency* memiliki beberapa keunggulan daripada metode *leakage current*. Metode antena VHF dapat membentuk pola *partial discharge* tentang besaran dan lokasi sudut fase terjadinya. Selain hal tersebut, metode antena *very high frequency* memiliki sensitivitas yang lebih tinggi. Hal tersebut dapat dilihat dengan perbandingan *spike* yang muncul. *Spike* yang ada pada gambar 4.19 lebih tinggi dibandingkan *spike* yang ada pada gambar 4.20. Metode antena *very high frequency* juga lebih ekonomis daripada metode *leakage current* yang menggunakan HFCT. Hal tersebut dikarenakan metode antena *very high frequency* hanya memerlukan antena.



Gambar 4. 18 Data *very high frequency* validasi *Partial discharge* dengan *Leakage current*



Gambar 4. 19 Data *partial discharge* menggunakan antena



Gambar 4. 20 Data *leakage current* menggunakan HFCT

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Berdasarkan analisa amplitudo, antenna *monopole* yang diatur menggunakan *bandwidth very high frequency* dapat mendeteksi medan elektromagnetik yang muncul disekitar elektroda yang akan menguat ketika *applied voltage* dimana setiap penambahan *applied voltage*, amplitudo dari gelombang output antenna semakin besar.
2. Temperature minyak dapat mempengaruhi *inception voltage* dimana pada suhu 30°C, 45°C, 60°C, dan 75° sudah terdapat desis di saat *applied voltage* 15 kV sedangkan pada suhu 90°C sudah terdengar desis pada *applied voltage* 14 kV.
3. Temperature minyak juga berpengaruh pada pola PRPD, dimana jumlah titik *partial discharge* pada suhu 30°C berjumlah 12 titik, pada 45°C terdapat 15 titik *partial discharge*, pada 60°C terdapat 24 titik *partial discharge*, pada 75° terdapat 11 titik *partial discharge*, dan pada suhu 90° C terdapat 9 titik *partial discharge*.
4. Metode antenna VHF (*Very High Frequency*) dan metode *leakage current* menggunakan HFCT (*High Frequency Current Transformer*) dapat digunakan sebagai metode deteksi *partial discharge*.
5. Antena dengan *bandwidth* VHF (*Very High Frequency*) lebih baik dibandingkan metode *leakage current* yang menggunakan HFCT untuk mendeteksi *partial discharge* dikarenakan metode *leakage current* susah untuk membentuk pola *partial discharge*.

5.2 **Saran**

Tugas akhir selanjutnya mempunyai beberapa saran, sebagai berikut :

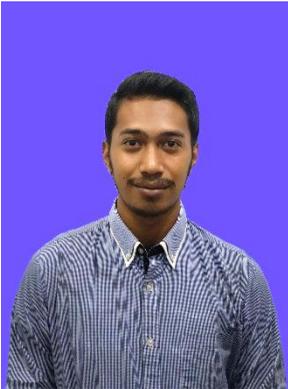
1. Kenaikan tegangan akan mempengaruhi *partial discharge*. Oleh karena itu, pengaruh kenaikan tegangan terhadap PRPD dapat dilakukan dimasa mendatang.
2. Setiap bahan isolasi memiliki kekuatan dielektrik yang berbeda, sehingga pada masa mendatang dapat melakukan penelitian dengan menggunakan jenis isolasi yang berbeda maupun jenis minyak yang berbeda.
3. Medan elektromagnetik pada saat terjadi *partial discharge* memiliki frekuensi yang tinggi (*High Frequency*). Pada penelitian mendatang dapat membandingkan pendeteksian menggunakan *bandwith high frequency* (HF), *very high frequency* (VHF), dan *ultra high frequency* (UHF).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Mohamed *dkk.*, “Partial discharge localization based on received signal strength,” dalam *2017 23rd International Conference on Automation and Computing (ICAC)*, 2017, hlm. 1–4.
- [2] M. Pompili, C. Mazzetti, dan E. O. Forster, “Partial discharge distributions in liquid dielectrics,” *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. 27, no. 1, hlm. 99–105, Feb 1992.
- [3] Wenbo Fan *dkk.*, “Comparison study of partial discharge detection methods for switchgears,” dalam *2016 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*, 2016, hlm. 319–323.
- [4] I Made Yulistya Negara, *Teknik Tegangan Tinggi Prinsip dan Aplikasi Praktis*. Graha Ilmu, 2013.
- [5] Janny Olmy Wuwung, “PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP KENAIKAN SUHU PADA BELITAN TRANSFORMATOR DAYA JENISTERENDAM MINYAK,” *ejournal UNSRAT*, 2010.
- [6] Kelompok Pembakuan Bidang Transmisi dan Kelompok Kerja Transformator Tenaga, “SPLN 8-2:1991.” DEPARTEMEN PENGEMBANGAN DAN ENERGI PERUSAHAAN UMUM LISTRIK NEGARA, 1991.
- [7] G. Robles, M. Sánchez-Fernández, R. Albarracín Sánchez, M. V. Rojas-Moreno, E. Rajo-Iglesias, dan J. M. Martínez-Tarifa, “Antenna Parametrization for the Detection of Partial Discharges,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 62, no. 5, hlm. 932–941, Mei 2013.
- [8] INNOVIT, “iHFCT.” www.innovit.com, 01-Des-2018.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Handi Aditya Wiguna lahir pada hari Selasa tanggal 12 bulan Desember tahun 1995 di Klaten, Jawa Tengah. Anak kedua dan satu satunya anak laki-laki dari 3 bersaudara. Mengawali pendidikan di SDII Nurul Mustofa lalu melanjutkan ke tingkat menengah pertama di SMP Negeri 2 Klaten dan dilanjutkan ke tingkat menengah atas di SMA Negeri 1 Klaten. Pada tahun 2014 lulus dari SMA dan melanjutkan ke tingkat perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Di ITS mengambil Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro. Di saat menimba ilmu di ITS, kesibukan yang dijalani selain kuliah yaitu dengan mengikuti kepanitiaan dalam event event yang ada di ITS maupun diluar ITS. Selain itu, kesibukan yang dijalani yaitu berolah raga khususnya futsal dan kebetulan sempat pernah menjadi salah satu pemain dari tim Elektro maupun FTE yang mengikuti perlombaan di ITS maupun di luar ITS. Penulis dapat dihubungi dengan mengirim pesan ke handiaw18@gmail.com.