TUGAS AKHIR – EE 145561

DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* AKIBAT PARTIKEL BENDA MELAYANG TERHADAP KARAKTERISTIK BREAKDOWN PADA ISOLASI CAIR MENGGUNAKAN METODE *ULTRA HIGH FREQUENCY*

Muhammad Faisal Ijlal 'Azmi
NRP 07111745000010

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc
Daniar Fahmi S.T., M.T

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

FINAL PROJECT – EE 145561

PARTIAL DISCHARGE DETECTION DUE TO THE EFFECT OF FLOATING PARTICLES METAL ON THE BREAKDOWN CHARACTERISTICS OF OIL INSULATION USING THE ULTRA HIGH FREQUENCY METHOD

Muhammad Faisal Ijlal 'Azmi
NRP 07111745000010

Advisor
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc
Daniar Fahmi S.T., M.T

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

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Deteksi *Partial Discharge* akibat partikel benda melayang terhadap karakteristik *Breakdown* pada isolasi cair mengunakan metode *Ultra High Frequency***" 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 dalam Tugas Akhir ini.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar atau terjadi kesalahan dan pelanggaran, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 17 Juni 2019

Muhammad Faisal Ijlal A
NRP 07111745000010

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* AKIBAT PARTIKEL BENDA MELAYANG TERHADAP KARAKTERISTIK *BREAKDOWN* PADA ISOLASI CAIR MENGGUNAKAN METODE *ULTA HIGH FREQUENCY*

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

Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc
NIP. 197007121998021001

Dosen Pembimbing II

Daniar Fahmi, S.T., M.T
NIP. 198909252014041002

SURABAYA
JUNI, 2019

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* AKIBAT PARTIKEL BENDA MELAYANG TERHADAP KARAKTERISTIK *BREAKDOWN* PADA ISOLASI CAIR MENGGUNAKAN METODE *ULTA HIGH FREQUENCY*

Nama	: Muhammad Faisal Ijlal ‘Azmi
NRP	: 07111745000010
Dosen Pembimbing 1	: Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc
Dosen Pembimbing 2	: Daniar Fahmi, S.T., M.T

ABSTRAK

Partial discharge adalah Peluahan sebagian yang secara definisi mempunyai arti pelepasan muatan listrik sebagian atau keseluruhan antara dua elektroda yang seharusnya tidak terhubung, sehingga berakibat timbulnya bunga api pada suatu bahan isolasi. Apabila dibiarkan hal ini dapat berpengaruh terhadap ketahanan isolasi yang menyebabkan kegagalan isolasi. Isolasi merupakan suatu media yang memisahkan antara bagian bertegangan dan tidak bertegangan pun juga antara dua konduktor lebih yang memiliki beda tegangan. Isolasi sendiri memiliki kekuatan dielektrik yang mana jika terjadi penurunan kekuatan dielektrik akibat beda potensial yang sangat tinggi menyebabkan terjadinya kegagalan (*breakdown*). Pada tugas akhir ini membahs tentang deteksi *partial discharge* akibat kontaminan melayang terhadap tegangan *breakdown* pada isolasi cair dengan metode UHF, dimana PD yang dideteksi tidak tampak secara visual sehingga di tugas akhir ini menggunakan antenna *monopole* untuk menangkap medan elektromagnetik saat objek pengujian disuplai tegangan tinggi. Dimana hasil sinyal elektromagnetik yang dideteksi antenna akan divalidasi oleh HFCT bahwa yang terdeteksi adalah benar *partial discharge.* Pada pengujian ini menggunaklan kontaminan berukuran masing-masing 5 mm dan 10 mm. Dan hasil dari pengujian ini selama *pre-breakdown* PD yang terdeteksi paling banyak jumlahnya adalah saat kontaminan berada dijarak 10mm atau pusat celah elektroda dimasing-masing kontaminan. Dan tegangan tembus paling tinggi bernilai 80 kV yang menandakan isolasi minyak masih baik dan dapat digunakan.

***Kata Kunci*:** *Ultra high frequency, Breakdown characteristics, Partial Discharge, HFCT*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

PARTIAL DISCHARGE DETECTION DUE TO THE EFFECT OF FLOATING PARTICLES METAL ON THE BREAKDOWN CHARACTERISTICS OF OIL INSULATION USING THE ULTRA HIGH FREQUENCY METHOD

Nama	: Muhammad Faisal Ijlal ‘Azmi
NRP	: 07111745000010
Dosen Pembimbing 1	: Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc
Dosen Pembimbing 2	: Daniar Fahmi, S.T., M.T

ABSTRACT

Partial discharge is a partial discharge which by definition means the partial or total release of electric charge between two electrodes which should not be connected, resulting in sparks on an insulating material. If left unchecked this can affect the resistance of insulation which causes insulation failure. Isolation is a media that separates between the voltage and non-voltage parts also between two more conductors which have a voltage difference. Insulation itself has a dielectric strength which if there is a decrease in dielectric strength due to a very high potential difference causes a breakdown. In this final assignment, the detection of partial discharge is due to floating contaminants against breakdown voltage in liquid isolation using the UHF method, where PD is detected visually so that in this final project uses a monopole antenna to capture electromagnetic fields when the test object is supplied with high voltage. Where the result of an antenna-detected electromagnetic signal will be validated by HFCT that what is detected is a true partial discharge. In this test using contaminants measuring 5 mm and 10 mm each. And the results of this test during the PD pre-breakdown detected the most amount is when the contaminants are at a distance of 10mm or the center of the electrode gap in each contaminant. And the highest breakdown voltage is 80 kV which indicates that oil insulation is still good and can be used.

***Keywords*:** *Ultra high frequency, Breakdown characteristics, Partial Discharge, HFCT.*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang selalu memberikan rahmat, berkat dan karuniaNya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Tugas Akhir tersebut disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan Strata-1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul Tugas Akhir yaitu:

DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* AKIBAT PARTIKEL BENDA MELAYANG TERHADAP KARAKTERISTIK *BREAKDOWN* PADA ISOLASI CAIR MENGGUNAKAN METODE *ULTA HIGH FREQUENCY*

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada ibu saya tercinta Diah Irawati, pakpuh saya Ibnu Pudji Rahardjo, dosen pembimbing saya bapak I made yulistya Negara dan bapak Daniar Fahmi, kakak saya Anindya Dita Khoirina dan Arief Rahmadi Priyastomo, adik saya Nabil Fahmi, keluarga besar eyang Tarie Dwijosoesastro, teman teman saya, Catur Andianto, Adhestian Naufal R, mas Hadi Lidzikri al-azmi, mas Basith Akbar Felayati yang telah banyak membantu memberikan masukan serta ilmu baru dan juga solusi selama pengerjaan buku tugas akhir ini, serta teman-teman DE-08 yang turut serta mendo'akan meski terpisah jauh karena bekerja serta kuliah dan tersebar dari sabang sampai merauke mendoakan, dan tak lupa kepada Agung Fauzi sang pujangga senja dimana tulisannya menginspirasi saya dalam penulisan buku tugas akhir ini, serta teman-teman Lintas Jalur TST angkatan 2017 dan asisten laboratorium tegangan tinggi serta banyak pihak yang penulis tidak dapat menyebutkan satu persatu yang selalu mendukung dan membantu penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir tersebut baik dalam bentuk moral maupun materil.

Semoga buku ini dapat membantu banyak insan dalam berbagai penelitian selanjutnya, akhir kata terimakasih banyak.

Surabaya, **(17 Juni 2019)**

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

HALAMAN

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN JUDUL i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR v
ABSTRAK ix
ABSTRACT xi
KATA PENGANTAR xiii
DAFTAR ISI xv
DAFTAR GAMBAR xix
DAFTAR TABEL xxi

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Permasalahan 2
1.3 Tujuan 2
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Metodologi Penelitian 3
1.6 Sistematika Laporan 4
1.7 Relevansi 6

BAB II FENOMENA PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI CAIR, DENGAN BENDA MELAYANG, DAN ANTENA MONOPOLE 7
2.1 Isolasi cair 7
2.1.1 Karakteristik isolasi cair 7
2.1.2 Karakteristik fisik isolasi cair [12] 9
2.2 Dielektrik 10
2.2.1 Pengertian Dielektrik 10
2.2.2 Kekuatan Dielektrik 10
2.3 Mekanisme kegagalan dielektrik cair 12
2.3.1 Teori kegagalan elektronik 12
2.3.2 Fenomena *Pre-Breakdown* 13
2.3.3 Teori volume minyak tertekan 14
2.3.4 Pengaruh temperature, kandungan gas, dan air. 14
2.4 Partikel Kontaminan 15
2.5 *Ultra High Frequency* (UHF) 15
2.6 Antenna *Monopole* 16

BAB III ALAT PENGUJIAN DAN METODE PENGAMBILAN DATA 19
3.1 Alat Pengujian 19
3.1.1 Pembangkitan tegangan tinggi DC 20
3.1.2 Elektroda uji. 22
3.1.3 Partikel kontaminan 23
3.1.4 Isolasi minyak 23
3.1.5 *High Frequency Current Transformator* (HFCT) 26
3.1.6 *Oscilloscope* 28
3.1.7 DMI 551 OT 276 28
3.2 Antenna *Monopole* 29
3.3 Pelaksanaan pengujian dan akuisisi data 30
3.3.1 Pengolahan data dengan MATLAB dan *Microsoft Excell* 31
3.4 Tes performansi antenna *monopoloe* 33
3.5 Metode Pengujian 35
3.5.1 Flowchart Pengujian 35

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS 37
4.1 *Breakdown voltage* tanpa adanya kontaminan melayang 37
4.2 Analisa hasil deteksi PD, pengaruh jarak terhadap deteksi PD dan validasi HFCT 38
4.2.1 Analisa *partial discharge* oleh antena pada isolasi cair dengan kontaminan ukuran 5 mm dan jarak melayang 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, dan 20 mm. 38
4.2.2 Analisa *partial discharge* oleh antena pada isolasi cair dengan kontaminan ukuran 10 mm dan jarak melayang 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, dan 20 mm. 40
4.2.3 Pengaruh jarak dan ukuran kontaminan melayang dalam mendeteksi *partial discharge* 43
4.2.4 Validasi PD menggunakan *High Frequency Current Transformator* (HFCT) 45
4.3 Analisa *inception* dan *breakdown voltage* 50
4.4 Analisa *Leakage current* oleh *high frequency current transformer* 54
4.5 Perbandingan metode deteksi *partial discharge* dengan metode UHF, *leakage current* oleh HFCT, dan juga membandingkan dengan tegangan sebelum terjadinya PD 59

BAB V PENUTUP 63

5.1 Kesimpulan..... 63
5.1 Saran 64

DAFTAR PUSTAKA 65

BIOGRAFI PENULIS 67

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

Gambar 2.1 Orde tigkat kegagalan material isolasi.....9
Gambar 2.2 Orde kegagalan material isolasi.....11
Gambar 2.3 Kegagalan elektronik.....13
Gambar 2.4 Gelombang elektromagnetik pada GIS 14
Gambar 2.5 *Vertical monopole* diatas *ground*.....17
Gambar 3.1 *setup* pengambilan data yang digunakan 19
Gambar 3.2 Skema pengujian karakteristik *breakdown*.....20
Gambar 3.3 Rangkaian pembangkit DC 21
Gambar 3.4 Skema elektroda uji yang digunakan pada penelitian dengan pembangkitan DC.....22
Gambar 3.15 Flowchart Pengujian dan pengambilan data.....35
Gambar 4.1 Hasil gelombang dijarak 0 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*) 39
Gambar 4.2 Hasil gelombang dijarak 5 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*) 39
Gambar 4.3 Hasil gelombang kontaminan melayang dijarak 10 mm, dan pada tegangan 65 kV (ketika terjadinya *partial discharge*) 39
Gambar 4.4 Hasil gelombang kontaminan melayang dijarak 15 mm, dan pada tegangan 65 kV (ketika terjadinya *partial discharge*) 39
Gambar 4.5 Hasil gelombang kontaminan melayang dijarak 20 mm, dan pada tegangan 65 kV (ketika terjadinya *partial discharge*) 40
Gambar 4.6 Hasil gelombang dijarak 0 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*) 41
Gambar 4.7 Hasil gelombang dijarak 5 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*) 41
Gambar 4.8 Hasil gelombang dijarak 10 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*) 41
Gambar 4.9 Hasil gelombang dijarak 15 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*) 42

Gambar 4.10 Hasil gelombang dijarak 20 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*) 42
Gambar 4.11 grafik perbandingan jarak kontaminan melayang terhadap *represented rate* pada ukuran partikel 5 dan 10mm. 44
Gambar 4.12 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 0 mm 46
Gambar 4.13 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 5 mm 46
Gambar 4.14 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 10 mm 47
Gambar 4.15 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 15 mm 47
Gambar 4.16 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 20 mm 47
Gambar 4.17 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 0 mm 48
Gambar 4.18 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 5 mm 48
Gambar 4.19 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 10 mm 49
Gambar 4.20 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 15 mm 49
Gambar 4.21 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 20 mm 49
Gambar 4.22 Grafik *inception* dan *breakdown voltage* terhadap jarak dari kontaminan melayang 5 mm. 51
Gambar 4.23 Grafik *inception* dan *breakdown voltage* terhadap jarak dari kontaminan melayang 10 mm. 51
Gambar 4.24 Mekanisme pelepasan korona pada partikel melayang dekat dengan elektroda negatif. 53
Gambar 4.25 Mekanisme pelepasan korona pada partikel melayang berada di pusat celah tepatnya pada jarak 20 mm. 54
Gambar 4.26 Gambar *Leakage current* pada isolasi minyak partikel ukuran 5 mm, pada jarak 0, 5, 10, 15, 20 mm. 56
Gambar 4.27 *Leakage current* kontaminan ukuran 5 mm pada jarak 0 mm. 58
Gambar 4.28 Validasi hasil deteksi PD dengan metode HFCT dan UHF serta membandingkan dengangan sebelum terjadinya PD dengan kontaminan 5 mm di jarak 5 mm. 61
Gambar 4.29 Validasi hasil deteksi PD dengan metode HFCT dan UHF serta membandingkan dengangan sebelum terjadinya PD dengan kontaminan 10 mm di jarak 5 mm. 62

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 2.1 Klasifikasi serta fungsi frekuensi menurut ITU 15
Tabel 3.1 Spesifikasi peralatan yang ada pada pembangkitan tegangan tinggi DC 21
Tabel 3.2 Minyak Isolasi Shell Diala B[10].....24
Tabel 3.3 Minyak Shell Diala B [10] (Lanjutan) 24
Tabel 3.4 Minyak Shell Diala B [10] (Lanjutan) 25
Tabel 3.5 Spesifikasi iHFCT-54 27
Tabel 4.1 *Breakdown voltage* minyak tanpa kontaminan dengan elektroda *plan to plane*.....37
Tabel 4.2 *Breakdown voltage* minyak tanpa kontaminan dengan elektroda setenagh bola.....37
Tabel 4.3 Hubungan antara jarak dengan jumlah *spark partial discharge* pada isolasi minyak, dengan ukuran kontaminan 5 mm. 43
Tabel 4.4 Hubungan antara jarak dengan jumlah *spark partial discharge* pada isolasi minyak, dengan ukuran kontaminan 10 mm. 44
Tabel 4.5 Hasil dari perbandingan jumlah PD terhadap pengaruh jarak 45
Tabel 4.6 Inception dan breakdown voltage partikel ukuran 5 mm 50
Tabel 4.7 Inception dan breakdown voltage partikel ukuran 10 mm 50
Tabel 4.8 Nilai rata-rata *inception* dan *breakdown voltage* di masing-masing partikel.....54
Tabel 4.9 tabel arus bocor yang ditangkap HFCT dengan kontaminan ukuran 5 mm. 56
Tabel 4.10 tabel arus bocor yang ditangkap HFCT dengan kontaminan ukuran 10 mm. 58
Tabel 4.11 tabel arus bocor yang ditangkap HFCT dengan membandingkan partikel berukuran 5 mm dan partikel kontaminan berukuran 10 mm. 59

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini banyak peralatan tegangan tinggi yang perannya cukup besar dalam sistem tenaga listrik, utamanya pada pembangkitan transmisi dan distribusi. Peralatan tegangan tinggi tersebut diantaranya adalah transformator, generator, dan *circuit breaker* [1]. Agar tetap bekerja dengan maksimal pada tiap-tiap peralatan juga terdapat isolasi yang berupa padat, cair,dan gas menurut macam bahan yang dipakai. Adapun isolasi dari setiap peralatan berbeda, pun juga dengan sifat serta kemampuannya, sehingga pada penerapannya juga tidak sama.

Isolasi merupakan suatu media yang memisahkan antara bagian bertegangan dan tidak bertegangan. Isolasi cair umumnya berupa minyak yang manfaatnya untuk memadamkan *arching* apabila terjadi kegagalan pada *arching horn*. Isolasi minyak sendiri lebih unggul dari pada isolasi yang lain, karena selain mampu *self healing* apabila terjadi pelepasan muatan juga memiliki kemampuan dielektrik lebih baik. Meskipun memiliki beberapa keunggulan diatas isolasi cair juga tetap tidak seluruhnya sempurna sehingga masih berpotensi untuk terjadi peluahan sebagian dan juga tegangan tembus [2].

Kemudian *Partial Discharge*, merupakan fenomena berupa peluahan sebagian atau pelepasan bunga api listrik, terjadi pada suatu bagian isolasi (pada rongga dalam atau pada permukaan) sebagai akibat adanya beda potensial cukup tinggi dan berakibat terhubungnya dua elektroda yang terpisah, pada peralatan tegangan tinggi [3]. Fenomena yang terjadi pada isolator cair terjadi karena adanya perpindahan elektron pada media *liquid* sehingga menyebabkan kegagalan. *Partial Discharge* sendiri dapat menjadi salah satu penyebab penurunan kualitas dari peralatan tegangan tinggi karena PD menghasilkan panas, *arc* dan karbonisasi pada peralatan. Apabila peralatan tersebut tidak dilakukan pemeliharaan/*maintenance* maka peningkatan karbonisasi akan menuju *breakdown* sepenuhnya sehingga berakibat *arc* akan merusak peralatan listrik [4].

Kontaminasi pada isolasi minyak dapat berupa gelembung gas, kandungan air hingga partikel pejal. Kandungan air dalam isolasi minyak dapat berasal dari penurunan kualitas dari isolasi kertas yang biasa digunakan pada trafo pada umumnya, kemudian gelembung gas

dapat pula bersal dari suhu minyak yang berada diatas suhu kerja dalam waktu yang lama. Lalu factor kontaminan yang terakhir dapat berasal dari partikel pejal dimana dampak dari penurunan kualitas bagian dalam transformer seperti belitan, inti besi, badan trafo atau partikel pejal yang sewaktu waktu dapat masuk akibat dampak yang telah disebutkan diatas [5].

Partikel pejal atau disebut kontaminan ini dapat bergerak/melayang didalam isolasi minyak akibat terinduksi muatan. Partikel kontaminan yang terinduksi muatan akan bergerak melayang diantara bagian bertegangan dan tidak bertegangan (*floating particle*), proses ini dapat disebut (*partial discharge*). Kemudian *floating particle* ini akan tetap melayang sampai terjadi kegagalan isolasi [6].

Partikel kontaminan saat melayang memiliki pengaruh besar terhadap kegagalan pada isolasi minyak, berdasarkan masalah tersebut maka dari itu dilakukan lah penelitian yang akan dikerjakan penulis. Dimana penelitian ini nantinya akan mendeteksi *partial discharge* terhadap karakteristik *breakdown* pada isolasi minyak dengan menggunakan metode UHF.

Adapun luaran yang diharapkan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui fenomena PD akibat partikel kontaminan melayang terhadap tegangan tembus dari pada isolasi minyak dengan menggunakan ukuran dan bentuk kontaminan yang berbeda. Selain itu, tugas akhir ini diharapkan dapat bermanfaat untuk menjadi refrensi penilitian selanjutnya dan menjadi media belajar dalam mempelajari deteksi fenomena *partial discharge* dikemudian hari.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini ada beberapa subyek, antara lain adalah sebagai berikut: Bagaimana cara merealisasikan gambaran umum pengujian tugaas akhir, bagaimana susunan rangkaian dan peralatan apa saja yang dapat dignakan untuk menangkap sinyal frekuensi *partial discharge* pada isolasi cair, bagaimana karakteristik bentuk gelombang/sinyal frekuensi yang terdeteksi oleh antenna *monopole* ketika *partial discharge* terjadi pada isolasi cair, dan yang terakhir mengetahui hasil komparasi dan validasi data dengan menggunakan metode UHF.

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Mendeteksi sinyal berfrekuensi tinggi yang dihasilkan oleh pengujian isolasi cair dengan menggunakan elektroda *plate to plate* dengan mengguinakan metode UHF.
2. Mendapatkan karakteristik dari aktivitas *partial discharge* terhadap tegangan tembus pada isolasi cair.
3. Menganalisa gelombang/sinyalyang diperoleh antenna saat terjadi perubahan jarak.
4. Mendapatkan hasil validasi dan komparasi dari metode UHF dan hasil dari HFCT.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan Batasan permasalahan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah, sebagai berikut: Antena yang digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* adalah jenis antenna *monopole* dengan frekuensi 1.5 GHZ sesuai dengan paper. Kemudian berikutnya adalah mengenai suhu ruangan untuk pengujian *partial discharge* pada media isolasi cair diabaikan, dengan isolasi cair yang digunakan adalah minyak Shell Diala jenis mineral bertipe B. Pengujian *partial discharge* sendiri menggunakan pembangkit tegangan tinggi DC, dengan elektroda *plate to plate* dan juga menggunakan partikel melayang berjenis *stainless steel* dengan besar 5 mm. Kemudian partikel melayang tersebut divariasikan di 5 titik diantara elektroda *plate to plate*. Untuk antenna yang digunakan, diletakkan dengan jarak 20 cm di depan objek. Dan yang terakhir adalah gelombang yang diolah dan dianalisa merupakan gelombang murni yang ditangkap antenna monopole tanpa ada filter *noise*.

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara bertahap dengan beberapa peralatan pendukung. Dimulai dari yang paling awal adalah dengan melakukan *setup* pembangkitan tegangan tinggi DC, kemudian *setup* untuk pemasangan partikel melayang, dengan pemasangan elektroda secara *vertical*. *Step* selanjutnya adalah dengan variasi jarak yang dilakukan terhadap partikel melayang yaitu dengan mengambil 5 titik untuk varian jaraknya, diantaranya menempel pada elektroda paling bawah, ¼ dari elektroda paling bawah, berada ditengah, ¾ dari elektroda paling bawah, dan yang terakhir menempel pada elektroda paling atas. Langkah selanjutnya adalah pemasangan alat pendeteksi berupa antenna

monopole yang terhubung dengan *port* 2 *oscilscope,* dengan *port* 1 *osciloscope* terhubung ke HFCT (*high frequency current transformator)*.

Pengujian dan analisis pada tugas akhir tersebut menggunakan beberapa software pendukung yaitu *Office,* dan *Mathematics Laboratory* (MATLAB). Kemudian dengan mempertimbangkan berbagai alas an diputuskan bahwa pengujian sendiri dilakukan dengan menggunakan pembangkitan tegangan tinggi DC HAFELY yang baru.

Untuk data yang diambil dari *oscilloscope* berupa data *excel* dengan format (.CSV), dan terdapat 2 data gelombang, diantaranya *port 1* untuk data dari HFCT dan *port 2* untuk data yang ditangkap oleh antenna. Yang kemudian diolah dengan mendiskriminasi dari masing-masing gelombang disetiap variabel yang akan divalidasi oleh HFCT. Dalam pengolahan data sendiri terdapat beberapa tahapan, diantaranya memisahkan gelombang, menentukan *amplitude* gelombang normal, mencari data lokasi *partial discharge,* dan memasukan nilai *magnitude* yang menjadi penanda lokasi *partial discharge* pada satu gelombang. Setelah semua sudah siap maka tahapan terakhir adalah memasukan semua data kedalam buku tugas akhir dan melakukan penulisan buku tugas akhir serta publikasi ilmiah.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika dalam laporan pembahasan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab, sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab pendahuluan yang berisi 6 subbab, menjelaskan mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika,dan relevansi. Selain itu, latar belakang membeberkan keseluruhan dari penelitian yang dilakukan mulai dari permasalahan hingga solusi yang ditawarkan. Sementara itu untuk subbab permasalahan menerangkan mengenai hal-hal yang dibahas dan dianalisis pada tugas akhir ini. Kemudian metodologi yaitu membahas tentang langkah-langkah yang dilakukan untuk penelitian tugas akhir. Selanjutnya adalah sistematika yang hadir uuntuk menjelaskan tentang struktur dari tugas akhir ini. Dan yang terakhir

releevansi yang merupakan manfaat dari tugas akhir ini terhadap beberapa instansi.

Bab II **Dasar Teori**

Pada bab II yang berisikan tentang dasar teori akan memaparkan penjelasan teori penunjang yang digunakan untuk membahas tugas akhir ini. Adapun teori penunjang ini mencakup tentang teori-teori *dc breakdown*, isolasi minyak, *partial discharge*, *floating particle*, kontaminan, dan kegagalan isolasi cair.

Bab III **Metode Penelitian**

Pembahasan pada bab III ini mengenai tentang alat pengujian dan metode pengambilan data. Data diambil dengan menggunakan pembangkitan tegangan tinggi DC, minyak isolasi, dan kemudian metode pengambilan data dengan menggunakan MATLAB.

Bab IV **Analisis Data Pengujian**

Pada bab Analisa data ini akan membahas tentang hasil yang telah diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan. Materi yang dibahas berupa mekanisme *breakdown voltage* pada isolasiminyak yang kemudian akan dilanjutkan dengan melakukan Analisa sinyal/gelombang yang telah didapat dari antenna dan HFCT. Kemudian untuk Analisa selanjutnya adalah tentang pengaruh jarak *floating particle*, ukuran *floating particle* terhadap pengujian.

Bab V **Penutup**

Kemudian pada bab terakhir ini akan membahas tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisa eksperimen deteksi *partial discharge* akibat pengaruh benda melayang terhadap karakteristik *breakdown* pada isolasi cair dengan menggunakan meode UHF (*Ultra High Frequency*).

1.7 Relevansi

Hasil pengujian dan analisis yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain:

1. Industri

Dimana industri yang dapat memanfaatkan adalah yang bergerak dibidang kelistrikan system tenaga dimana dapat menerapkan metode pada tugas akhir ini untuk digunakan uuntuk mendeteksi *parial discharge* pada peralatan. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah serta menekan biaya deteksi *partial discharge* dimana dewasa ini masih kurang relevan.

2. Penelitian

Untuk penelitian dapat dipergunakan oleh lembaga-lembaga dimana metode dan hasil eksperimen pendeteksian *partial discharge* ini dapat terus dikembgkan serta dianalisa lebih lanjut terutama dalam hal akurasi dari hasil yang diperoleh serta tingkat presisi alat dalam pengambilan data.

3. Mahasiswa

Penelitian pada buku tugas akhir ini dapat dimanfaatkan sebagai refrensi penelitian serta disemppurnakan kembali untuk menghasilkan metode deteksi yang lebih baik dan lebih akurat.

BAB II
FENOMENA PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI CAIR, DENGAN BENDA MELAYANG, DAN ANTENA MONOPOLE

2.1 Isolasi cair

Isolasi cair adalah salah satu dari media isolasi. Sedikit menerangkan tentang media isolasi yaitu media dalam system tenaga listrik yang digunakan untuk mengisolasi dua atau lebih penghantar yang mempunyai tegangan supaya tidak terjadi lompatan listrik (*flash over*) atau percikan (*spark*). Apabila media isolasi tersebut mengalami dua kejadian yang disebutkan diatas maka dapat disimpulkan bahwa media isolasi sudah tidak dapat digunakan kembali.

Isolasi cair sendiri mempunyai beberapa fungsi, sebaga berikut [7]:

- Isolasi untuk penghantar peralatan tenaga listrik,
- Pendingin transformator,
- Melarutkan udara yang timbul, dan
- Peredam busur listrik.

2.1.1 Karakteristik isolasi cair

Isolasi cair sering digunakan untuk mengisi rongga dari peralatan listrik yang berfungsi sebagai pemisah bagian-bagian bertegangan seperti pada kabel dan transformator, sebagai pendingin seperti pada transformator untuk mengurangi rugi-rugi yang disebabkan oleh panas, pemadam busur api seperti pada pemutus tenaga/*circuit breaker*, sebagai dielektrikum yang nilai dielektriknya tinggi seperti pada kapasitor [8].

Sifat-sifat listrik memiliki peranan penting dalam menentukan kinerja dari isolasi cair, seperti:

- *Withstand Breakdown* merupakan kemampuan dalam mempertahankan isolasi saat terjadi tekanan listrik *(electric stress)* yang tinggi. Tegangan pada isolasi cair harus lebih tinggi dari tegangan *rating* karena terdapat kemungkinan adanya *overvoltage* dari system tersebut.
- Permitivitas relatif dari isolasi minyak yang ditentukan oleh kapasitansi listrik per unit volume. Minyk askarel dapat dijadikan contoh yang memiliki permitivitas baik yang berkisar 4.5 hingga 5.0. Kemudian permitivitas dielektrik dipengaruhi oleh udara. Suhu udara dipengaruhi

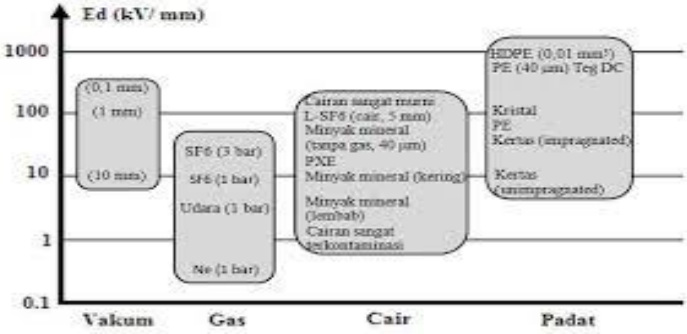
oleh magnitude dan frekuensi dari tegangan suplai. Dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 . \varepsilon_r \tag{2.1}$$

Dimana:
$\varepsilon = Permitivitas\ media\ isolasi$
$\varepsilon_0 = Permitivitas\ ruang\ hampa\ (8{,}85x10^{-12} F/m)$
$\varepsilon_r = Permitivitas\ relatif$

- Faktor daya dari minyak dibawah tekanan bolak balik dan tinggi aan menjadi factor penentu kualitas minyak karena berpengaruh terhadap rugi-rugi dielektrik. Faktor disipasi minyak yang baik menurut IEC 60247 maksimum adalah 0.005 (kondisi baru). Sebagai contoh adalah pada trafo berminyak dengan jenis minyak shell diala B dengan suhu 90°C adalah 0.002.
- Kemudian berikutnya ada resistivitas pada isolasi cair haruslah lebih besar dari 10^9 ohm-meter dan pada tegangan tinggi harus lebih besar dari 10^6 ohm-meter. Dan juga resistivitas dipengaruhi oleh konduktivitas dari bahan tersebut [9].
- Kemampuan islasi cair menahan tekanan listrik tinggi [10].

Isolasi cair lebih baik dari pada isolasi gas akan tetapi jika dibandingkan dengan isolasi padat maka kemampuan isolasi cair masih dibawahnya. Kemudian isolasi cair sendiri memiliki beberapa kelemahan berupa kekuatan elektrik berkurang akibat penuaan dan kontaminasi, pemuaian panas, membutuhkan wadah kedap air dan harga lebih mahal. Perbandigan kegagalan isolasi dari material yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 2.1[11].



Gambar 2.1 Orde tigkat kegagalan material isolasi.

2.1.2 Karakteristik fisik isolasi cair [12]

Berikut beberaa karakteristik yang tampak secara fisik dari isolasi cair, yang berguna untuk mengetahui kualitas dari isolasi tersebut. Sebagai berikut:

- Massa jenis
  Masa jenis ialah nilai perbandingan dari massa cairan dengan volume tersebut, menurut SPLN 49-91: 1982, massa jenis isolasi cair tidak boleh melebihi dari angka 0.859 gr/cm^3 [13].
- Titik tuang
  Batas dari isolasi cair dapat mengalir pada temperatur rendah, dengan demikian isolsi dinilai bagus sebagaui isolator.
- Viskositas
  Kekentalan atau viskositas ini wajib hukum nya bernilai rendah tidak lain bertujuan supaya isolasi cair tidak mudah terkontaminasi dan isolasi cair mudah dalam bersirkulasi untuk kepentingan pendinginan.
- Kejernihan fluida
  Ada beberapa tanda yang mengindikasikan bahwa isolasi cair dikatakan baik, diantaranya seperti bersih, jernih, dan bebas endapan. Kemudian endapan yang berada dalam isolasi cair akan dilarutkan oleh isolasi tersebut, namun apabilasudah terdapat banyak zat terlarut pada isolasi cair maka isolasi tersebut akan berubah menjadi keruh pada

tampilan fisiknya dikarenakan salah satunya adalah banyaknya endapan.

- Titik nyala
  Batas isolasi cair terhadap pemanasan, dan dikatakan baik apabila bernilai tinggi titik nyala itu.

2.2 Dielektrik

2.2.1 Pengertian Dielektrik

Dielektrik merupakan suatu bahan yang apabila diberikan medan potensial yang berbeda (tegangan) mampu untuk mempertahankan medan potensial tersebut sehingga medan potensial tersebut tidak dengan mudah melewati bahan dielektrik tersebut. Ada beberapa jenis dari dielektrik memiliki pola pengutupan sebagai polarisasinya, seperti kapasitor dan komponen lainnya, namun adapun beberapa contoh bahan atau komponen dielektrik yang tidak memiliki polarisasi antara lain: keramik, dan kertas.

Bahan dielektrik sangat penting dalam dunia kelistrikan karena bahan tersebut digunakan untuk memisahkan antara *circuit* yang dilalui oleh arus dan bagian yang tidak menerima hantaran arus listrik tersebut. Selain itu, agar sistem dapat berjalan sesuai dengan perhitungan dan tidak mengganggu atau merusak sistem tersebut.

Dalam pemilihan bahan dielektrik pada suatu peralatan atau komponen listrik menjadi hal yang patut diperhatikan yaitu dengan meminimalkan semua rugi-rugi yang mungkin terjadi di dalam sistem, memiliki kekuatan mekanisme yang baik, tahan terhadap lingkungan sekitar. Bahan dielektrik dapat terbuat dari 3 jenis, yaitu: gas, cair, dan padat.

2.2.2 Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik merupakan tingkat kemampuan dan ketahanan bahan atau komponen dari setiap jenis bahan dielektrik terhadap tegangan yang diterima pada setiap bagian sisi permukaannya. Tentunya, pada setiap jenis dielektrik memiliki kekuatan yang berbeda-beda tergantung bagaimana peralatan atau komponen dibuat. Kemudian ada beberapa factor yang mempengaruhi kekuatan dielektrik suatu bahan isolasi, antara lain:

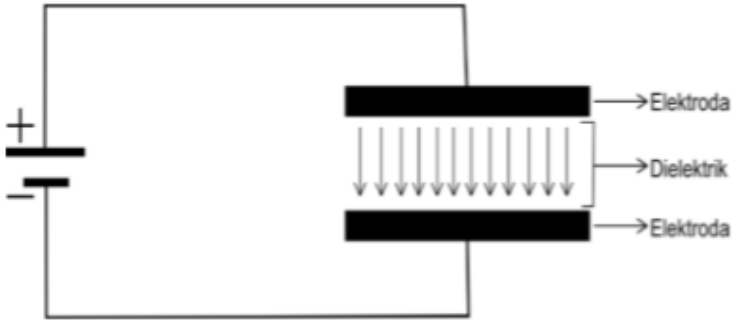
- Material elektroda
- Suhu
- Bentuk tegangan yang diberikan

- Sifat dari atom dan molekul
- Udara dalam cairan

Kekuatn dielektrik pada isolasi cair setara dengan tegangan kegagalan yang terjadi. Kekuatan dielektrik dirumuskan sebagai berikut:

$$Dielectric\ strength = \frac{Breakdown\ voltage}{Jarak\ antar\ elektroda} \quad (2.2)$$

Teori dasar dalam sebuah kegagalan dielektrik adalah terdapat sepasang elektroda yang terlihat pada gambar (2.2), kemudian elektroda tersebut mengapit bahan dielektrik lalu kedua elektroda dihubungkan dengan sumber listrik maka akan membngkitkan medan listrik (E). Lalu elektro-elektron akan terlepas dari ikatannya dikarenakan oleh medan listrik tersebut. Elektron-elektron bebas trsebut akan bersifat seperti konduktor didalam medan dielektrik tersebut. Tiap bahan dielektrik memiliki kemampua yang berbeda-beda untuk menahan sifat konduktor yang ditimbulkan dari electron bebas, kemampuan ini disebut kekuatan dielektrik. Saa bahan dielektrik sudah tidak dapat menahan beban tersebut maka akan terjadi fenomena *breakdown*. Teori tersebut dirumuska sebagai berikut:



Gambar 2.2 Orde kegagalan material isolasi

$$E = \frac{V}{d} \quad (2.3)$$

Dimana:
E = Kuat medan listrik yang dapat ditahan oleh dielektrik (kV/cm)
V = Tegangan maksimum yang dapat dibaca alat ukur (kV)

D = Tebal isolasi

2.3 Mekanisme kegagalan dielektrik cair

Tegangan pada isolasi adalah suatu tekanan yang harus dilawan oleh gaya pada isolasi tersebut. Prinsip dasar pada struktur molekul isolasi adalah elektron-elektron terikat pada molekulnya. Lalu karena adanya tegangan maka elektron yang masih terikat melawan. Apabila ikatan electron tersebut putus pada lokasi tertentu maka sifat isolasi pada lokasi tersebut hilang karena telah terurai menjadi elektron bebas.

Terdapat tiga bentuk kegagalan isolasi zat cair, yaitu partikel padat, uap air (*moisture*), dan gelembung gas. Bentuk partikel padat yang terbentuk merupakan efek yang terjadi karena adanya pemanasan (*thermal stress*) dan tegangan lebih. Uap air terbentuk jika terdapat medan listrik yang mana molekul ap air terlarut memisah dari isolasi cair lalu terpolarisasi membentuk suatu dipol. Bentuk gelembung gas disebabkan karena adanya gelembung-gelembung gas dalam isolasi cair tersebut.

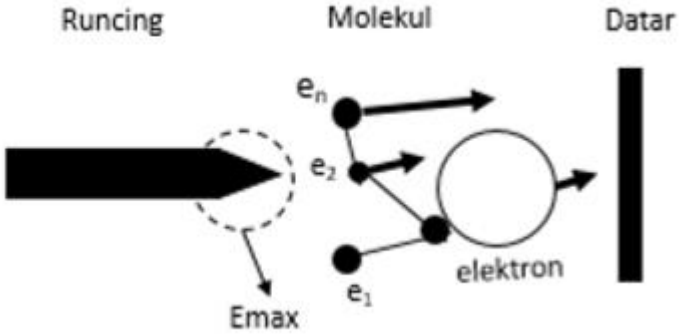
Kegagalan pada isolasi cair dipengaruhi oleh beberapa oleh jenis bahan, besar tegangan yang di suplai, bentuk, material, dan kesempurnaan elektroda. Kegagalan elektik pada isolasi cair memiliki empat teori dasar diantaranya adalah kegagalan elektronik, kavitasi, bola cair, dan butiran pada isolasi cair [11][15].

2.3.1 Teori kegagalan elektronik

Teori ini menganggap mekanisme kegagalan yang serupa dengan isolasi gas, bahwa electron berasal dari emisi medan yang terjadi di katoda. Elektron dianggap memperoleh energi dari medan listrik lalu akan meumbuk molekul-molekul disekitarnya proses ini disebut ionisasi, akibat ionisasi ini akan menyeabkan banjiran electron (*avelance*). Adanya elktron yang bergerak menuju anoda dan ion positif yang bergerak menuju katoda menyebabkan timbulnya arus konduksi serta memicu kegagalan [14].

Kemudian electron yang sudah di suplai dalam isolasi cair aan menyerap energi dari medan yang telah terbentuk pada elektroda. Teori elektronik mengasumsikan bahwa beberapa electron menyerap lebih banyak eneri dari medan dibandingkan yang kemudian akan terjadi tabrakan antar molekul. Elektron tersebut akan berakselerasi hingga mendapatkan energi yang cukup untuk mengionisasi molekul pada saat tabrakan dan mulai terjadi banjiran. Kondisi untuk melakukan banjiran

electron didapatkan melalui persamaan penguatan energi dari sebuah electron melalui *free mean path* yang dibutuhkan uuntuk ionisasi molekul. Proses terebut dapat dituliskan sesuai persamaan berikut [15]:



Gambar 2.3 Kegagalan elektronik

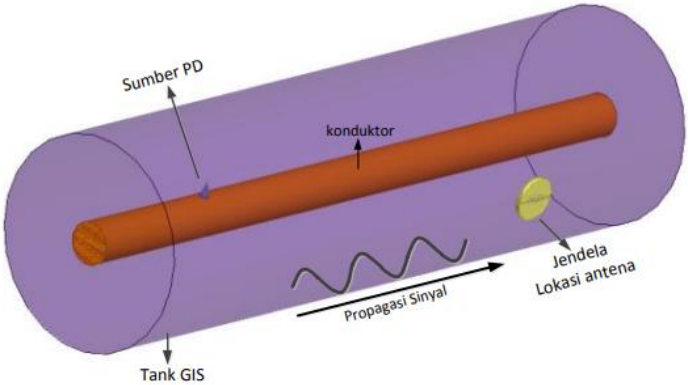
$$chv = e\,E\lambda \tag{2.4}$$

Dimana:
C = Konstanta *arbitrary*
hv = Kuantum energi untuk mengionisasi molekul (joule)
e = Jumlah electron bebas
E = Medan yang diterapkan (Vcm^{-1})
$\lambda = Lintasan$ free mean path (cm)

2.3.2 Fenomena *Pre-Breakdown*

Partial discharge (peluahan parsial) adalah peristiwa pelepasan/loncatan bunga api listrik yang terjadi pada suatu bagian isolasi (pada rongga dalam atau pada permukaan) sebagai akibat adanya beda potensial yang tinggi dalam isolasi tersebut Partial discharge dapat terjadi pada bahan isolasi padat, bahan isolasi cair maupun bahan isolasi gas. PD menghasilkan pulsa arus dalam orde nanodetik. Terbentuknya pulsa arus diikuti dengan perubahan medan listrik. Jika perubahan ini terjadi secara kontinu maka akan terbentuk gelombang elektromagnetik yang merambat ke segala arah. Perambatan (propagasi) gelombang elektromagnetik sangat dipengaruhi oleh media rambat dan bentuk

geometri lingkungan sekitar. Propagasi gelombang elektromag-netik dapat dimodelkan seperti kabel koaksial [14].



Gambar 2.4 Gelombang elektromagnetik pada GIS

Komponen frekuensi tinggi merambat sepanjang jalur koaksial dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya (c) dengan media udara. Propagasi gelombang pada media lain memiliki kecepatan yang berbeda tergantung pada nilai permitifitas relatif (εr), hubungan kecepatan propagsai (v), Seperti di rumuskan pada persamaan dibawah:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{2.5}$$

2.3.3 Teori volume minyak tertekan

Kontaminan serta ketidak murnian menentukan kuat gagal dari isolasi cair, kuat gagal isolasi cair ditentukan oleh daerah terlemah dari isolasi tersebut. Kuat gagal berbanding terbalik dengan volume minyak tertekan kandungan gas, kekentalan dan keberadaan kotaminasi mempengaruhi tegangan gagal karena terdistribusi tidak merata sehingga menyebabkan penurunan tegangan gagal [8].

2.3.4 Pengaruh temperature, kandungan gas, dan air.

Kemudian pengaruh temperature dan kandungan air ditentukan dari kelembapan relative isolasi cair tersebut. Temperatur hanya

memperngaruhi isolasi cair/minyak yang memiliki kandungan air tertentu. Begitu pula dengan gelembung gas pada isolasi cair, dengan jumlah gas yang terlarut tidak mempengaruhi kuat gagal isolasi melainkan jenis dari gas tersebut yang mempengaruhi kuat gagal isolasi cair [8].

2.4 Partikel Kontaminan

Partikel kontaminan berbentuk benda pejal dapat masuk kedalam peralatan listrik atau berada didalam peralatan listrik berasal dari penurunan kualitas bagian dalam transformer seperti belitan, inti besi, badn trafo atau partikel pejal dapat masuk kedalam bagian peralatan pada saat pemasangan atau pemeliharaan peralatan [16].

Kemudian partikel pejal ini berasal dari penurunan kualitas peralatan lsitrik umumnya yang bersifat konduktif atau logam. Lalu komponen didalam peralatan listrik terdiri dari bermacam-macam jenis logam diantaranya besi, tembaga, maupun aluminium.

2.5 *Ultra High Frequency* (UHF)

Gelombang radio merupakan gelombang elektromagnetik yang dapat merambat dengan kecepatan 300.000 km/detik yang merambat dalam ruang tanpa media penghantar buatan. Disamping itu perlu diketahui bahwa definisi dari frekuensi itu adalah banyaknya gelombang elektromagnetik dalam satu satuan waktu dan dinyatakan dengan siklus/detik atau *hertz* (Hz).

Menurut ITU (*International Telecomunication Union*), frekuensi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa *range* yang dapat dilihat pada table berikut [17]:

Tabel 2.1 Klasifikasi serta fungsi frekuensi menurut ITU

Rentang Frekuensi	Jenis Band	Frekuensi (Hz)	Panjang Gelombang (km)
	Low Frequency	30-300k	10-1
Medium Frequency	*Medium Frequency*	300-3000k	1-0.1
High Frequency	*High Frequency*	3-30 M	0.1-0.01
	Very High	30-300 M	0.001-0.0001

Rentang Frekuensi	Jenis Band	Frekuensi (Hz)	Panjang Gelombang (km)
	Frequency		
High Frequency	*Ultra High Frequency*	300-3000 M	0.00001-0.000001
	Super High Frequency	3-30 G	0.000001-0.0000001
	Extremely High Frequency	30-300 G	0.0000001-0.00000001

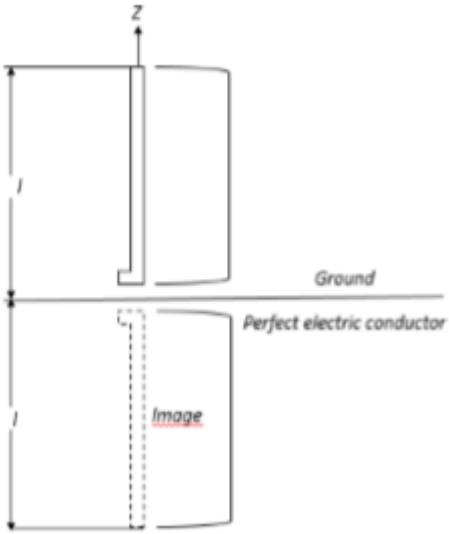
2.6 Antenna *Monopole*

Antena adalah komponen yang mampu mengkonversi besaran listrik menjadi gelombang elektromagnetik untuk diradiasikan ke udara melalui saluran udara yaitu melalui saluran transmisi. Selain itu antena juga pada umumnya memiliki beberapa bentuk, seperti: antena pantul, antena kabel, antena *microstrip*, antena *log periodic*, *monopole* antena.

Antena dapat mengirim dan menerima sinyal. Antena dapat dibuat dari yang dapat berfungsi sebagai transmitter dan receiver yang dapat menangkap induksi magnetic. Antena pada aplikasi peralatan power digunakan untuk menerima sinyal UHF. Ketika medan magnet melewati kumparan, maka menghasilkan tegangan induksi yang melewati lilitan. Berdasarkan hokum faraday, Medan magnet yang melewati permukaan yang dibatasi oleh jalur tertutup menginduksi tegangan di sekitar

Pada penelitian ini menggunakan antena *monopole. Monopole* sendiri merupakan antena yang paling banyak digunakan dalam media telekomunikasi dikarenakan memiliki *broadband* dan konstruksi yang bias dikatakan sederhana dibandingkan antena pada umumnya, sehingga memungkinkan untuk digunakan pada peralatan seperti *handphone*, telepon tanpa kabel, mobil, dan lain-lain lagi. Kemudian karakteristik *gain* dan tingkat efisiensi radiasi dari *monopole* sendiri dipengaruhi oleh Panjang *electrical* antena *monopole* sendiri yang terhubung langsung dengan operasi frekuensinya. Posisi dari *element* komponen antena *monopole* sendiri pada peralatan *portable* yang disebutkan diatas sedikit banyak mempengaruhi pola meskipun tidak memberi kontribusi yang signifikan kepada impedansi input dan frekuensi resonansi. Kemudian

dalam pengaplikasiannya sendiri antena *monopole* dengan ¼ Panjang gelombang banyak sekali dipergunakan dalam kehidupan sehari-hari.



Gambar 2.5 *Vertical monopole* diatas *ground*

Dari gambar diatas didapatkan penjelasan bahwa antena *monopole* memancarkan sinyalnya menjadi setengah pola bidangnya menjadi setengah bagian. Hal ini disebabkan oleh 2 hal, diantaranya: yang pertama adalah untuk bidang tanah yang terbatas yang terbuat dari konduktor difraksi di tepi menghasilkan sejumlah radiasi *spill over* menjadi Z < 0 dengan nilai maksimumnya adalah pada sudut diatas horizon. Kemudian hal yang kedua adalah ketika bidang yang luas tetapi didalam ruang hampa, radiasi yang ada pada horizon akan berkurang dikarenakan adanya ohmik dibumi dengan nilai maksimum yang terjadi pada sudut atas horizon. Adapun Hitungan untuk menentukan Panjang antenna sebagai penangkap gelombang PD yang sudah disesuaikan dengan frekuensi PD, sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{C}{F}\ (meter) \tag{2.6}$$

Dimana:

$\lambda = panjang\ antena\ (meter), dikonversi\ menjadi\ (centimeter)$

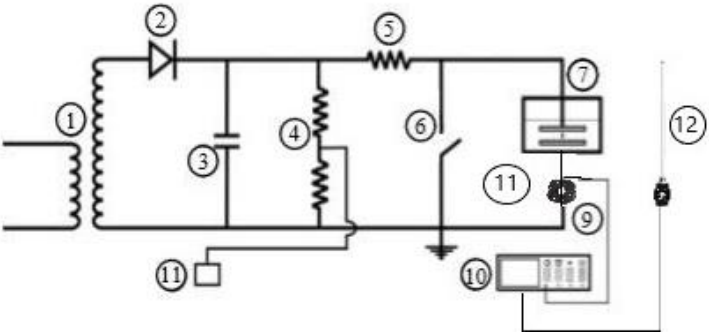
$C = kecepatan\ rambat\ diudara\ (3x10^8)$
$F = frekuensi\ PD\ yang\ telah\ ditentukan\ (1.5x10^9)$

BAB III
ALAT PENGUJIAN DAN METODE PENGAMBILAN DATA

Pada bab ke tiga ini akan menjelaskan tentang peralatan yang digunakan untuk pengambilan data/pengujian, dan juga menjelaskan tentang metode pengambilan data dengan menggunakan metode UHF dan validasi dengan menggunakan HFCT.

3.1 Alat Pengujian

Pada tugas akhir ini penulis menggunakan pembangkit tegangan tinggi DC untuk mengetahui pengaruh kontaminan logam melayang terhadap karakteristik tegangan tembus pada isolasi cair (minyak). Kemudian pada gambar yang akan dilampirkan dibawah adalah merupakan skema dari *setup* rangkaian dan peralatan yang digunakan ketika proses pengujian/pengambilan data pada tugas akhir kali ini. Terdapat beberapa peralatan yang digunakan, anatara lain sebagai berikut: pembangkitan tegangan tinggi DC, antena *monopole*, objek percobaan (berupa akrilik berisikan minyak *shell diala*, yang didalamnya terdapat partikel logam melayang yang disusun diberbagai jarak pada pengujian), *oscilloscope*, HFCT (*High Frequency Current Transformator*). Adapun gambar rangkaian sebagai berikut:

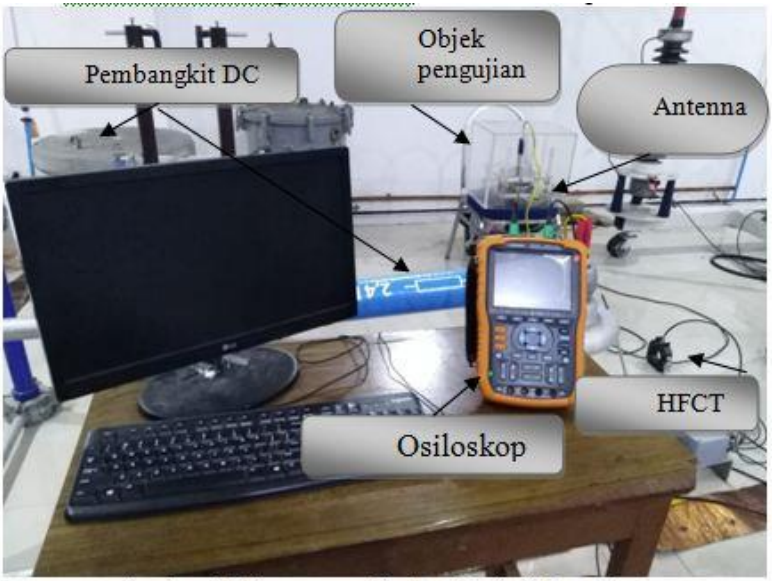


Gambar 3.1 *setup* pengambilan data yang digunakan

Keterangan:

1. Trafo Tegangan Tinggi 7. Objek Pengujian

2. Dioda
3. *Smoothing Capasitor*
4. Resistor Pengukuran
5. Resistor Damping
6. Saklar Grounding
8. Arrester Tube
9. HFCT
10. *Oscilloscope*
11. *Digital Measuring Instrument*
12. Antenna *Monopole*



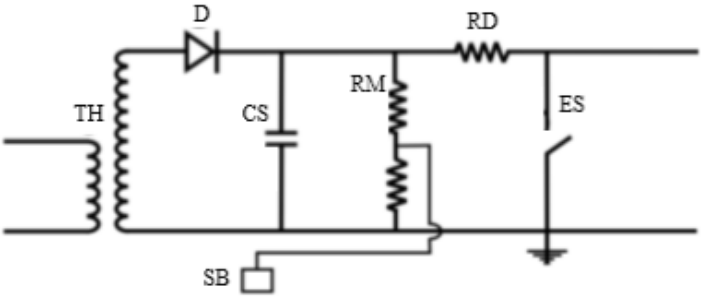
Gambar 3.2 Skema pengujian karakteristik *breakdown*

Pengujian diatas menggunakan peralatan *Hardware* maupun *Software*, dimana peralatan *Hardware* meliputi yang telah dijelaskan diketerangan Gambar 3.1, kemudian untuk pengolahan data di *Software* menggunakan MATLAB, dan Ms Excell. Yang kemudian hasil data akan dianalisa oleh penulis.

3.1.1 Pembangkitan tegangan tinggi DC

Tegangan tinggi DC yang digunakan untuk pengujian kali ini dibangkitkan dari transformator tegangan tinggi AC di laboratorium tegangan tinggi elektro ITS yang mana didalam rngakaian pembangkitan

diberi diode yang berfungsi untuk merubah tegangan tinggi AC menjadi tegangan tinggi DC.



Gambar 3.3 Rangkaian pembangkit DC

Kemudian berikut ini adalah spesifikasi peralatan pembangkitan tegangan tinggi DC:

Tabel 3.1 Spesifikasi peralatan yang ada pada pembangkitan tegangan tinggi DC

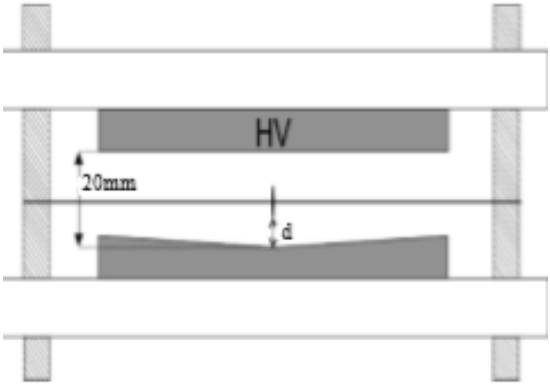
Nama peralatan	Spesifikasi
High Voltage Transformer	100 kV; 10 kVA
High Voltage Diode	140 kV; 20 mA
Smoothing Capacitor	140 kV; 25000pF
Measuring Resistor	140 kV DC; 280 MΩ
Resistor Damping	6 kΩ
Grounding Switch	-
Control Box	OT276 dan DMI551
Secondary Part for RM (DC)	75Ω

Kemudian cara kerja dari pada rangkaian pembangkitan DC ini yaitu tegangan suplai yang dipergunakan menyuplai transformator ini adalah tegangan yang berasal dari PLN 220V dengan perbandingan 220/100.000 V, tegangan output trafo merupakan tegangan AC yang mana kemudian dirubah menjadi tegangan DC dengan disearahkan menggunakan diode tegangan tinggi, lalu kemudian terdapat kapasitor yang berfungsi untuk mengurangi *ripple* agar hasil dari gelombang DC yang dikeluarkan halus. Selanjutnya tegangan tinggi DC yang telah dihaluskan oleh kapasitor tadi akan diukur dengan menggunakan resistor

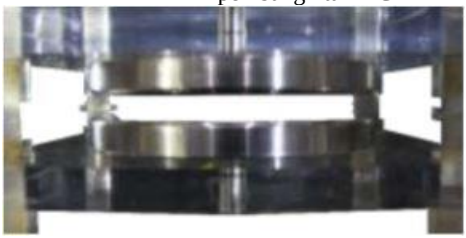
pengukuran yang nantinya setelah dari resistor pengukuran akan diukur oleh *control box*, sebelum menuju objek yang diuji, tegangan tinggi DC terlebih dahulu melewati resistor *damping*. Lalu yang paling terakhir adalah *grounding switch* setelah dan sebelum pengujian aka nada pada posisi menutup untuk menyalurkan arus sisa pembangkitan menuju tanah.

3.1.2 Elektroda uji.

Dibawah ini merupakan tampilan dari elektroda uji yang digunakan pada pengujian kali ini, dan elektroda yang digunakan adalah elektroda jenis *plate to plate*. Mengapa menggunakan elektroda ini dikarenakan untuk mendapatkan pengujian dengan medan yang seragam diperlukan komposisi elektroda yang seperti ini. Kemudian elektroda ini memiliki diameter 17 cm dan tebal 2 cm serta berbahan dasar *stainless steel*. Dengan dimensi dari akrilik berukuran 41 cm x 31 cm x 36 cm.



Gambar 3.4 Skema elektroda uji yang digunakan pada penelitian dengan pembangkitan DC



Gambar 3.5 elektroda uji yang digunakan pada penelitian dengan pembangkitan DC

3.1.3 Partikel kontaminan

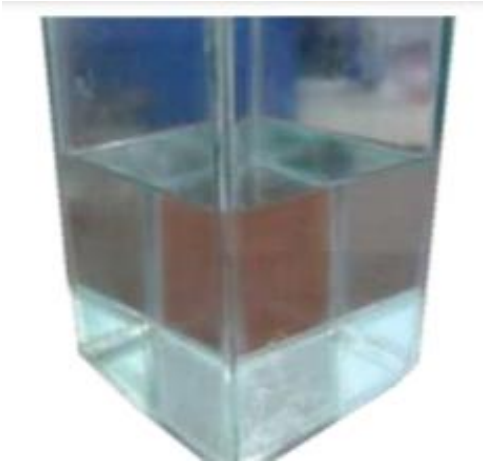
Pada pengujian kali ini penulis menggunakan kontaminan melayang yang mana kontaminan tersebut terbuat dari bahan dasar *stainless steel* serta memiliki ukuran dan bentuk yang berbeda. Pada gambar dibawah menerangkan tampilan dari desain/bentuk dari kontaminan yang akan digunakan untuk pengujian. Serta kontaminan yang digunakan adalah yang simetris dengan ukuran 5mm dan 10 mm.

Kontaminan 5 mm Kontaminan 10 mm

Gambar 3.6 Desain kontaminan melayang dan tampilan kontaminan yang akan diuji

3.1.4 Isolasi minyak

Isolasi yang digunakan pada pengujian ini adalah isolasi cair, yang mana menggunakan minyak dengan jenis *shell diala* B. Dikarenakan minyak dengan tipe tersebut adalah yang sangat sering dipergunakan pada transformator khususnya yang ada di Indonesia, kemudian minyak dengan tipe ini dituangkan ke dalam akrilik berukuran 41 cm x 31 cm x 36 cm dengan volume sekitar 20 liter yang digunakan untuk mengisi akrilik yang didalamnya terdapat partikel kontaminan melayang agar dapat terendam oleh minyak tersebut.



Gambar 3.7 Isolasi minyak

Tabel 3.2 Minyak Isolasi Shell Diala B[10]

Properties	ASTM Method	Spesification	Typical Values
Appearance	-	Clear Sediment Free ParticularFree	Clear Sediment Free ParticularFree
Density, kg/dm3 @20°C	ISO 3675	0,895 max	0,866
PMCC Flash Point, °C	ISO 2719	143 min	146

Tabel 3.3 Minyak Shell Diala B [10] (Lanjutan)

Properties	ASTM Method	Spesification	Typical Values
Interfacial Tension, dynes/cm @25°C	ISO 6295	40 min²	45
Pour Point, °C	ISO 3016	-30 max	-34

Properties	ASTM Method	Spesification	Typical Values
Neutralization Value, mgKOH/g	IEC 296	0,03 max	IEC 296A
Kinematic Viscosity: @ 40°C, cSt @20°C, cSt	ISO 3104	 16,5 max 40 max	 9,102 21
Corrosive Sulfur	ISO 5662	Non-corrosive	Non-corrosive
Water Content, mg/kg	IEC 733	30 max bulk[3] 40 max bulk[3]	25 16
Anti-oxidant Content	IEC 666	ND[4]	ND[4]
Breakdown Voltage As Delivered After Treatment	IEC 156	 30 min 50 min	IEC 74 52 60
Dissipation Factor, 40-62 Hz	IEC 247	0,0030 max	0,0016

Tabel 3.4 Minyak Shell Diala B [10] (Lanjutan)

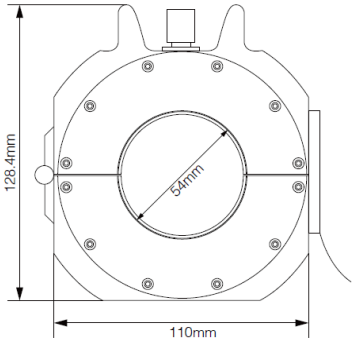
Properties	ASTM Method	Spesification	Typical Values
Interfacial Tension, dynes/cm @25°C	ISO 6295	40 min[2]	45
Pour Point, °C	ISO 3016	-30 max	-34
Neutralization Value,	IEC 296	0,03 max	IEC 296A

Properties	ASTM Method	Spesification	Typical Values
mgKOH/g			
Kinematic Viscosity: @ 40°C, cSt @20°C, cSt	ISO 3104	 16,5 max 40 max	 9,102 21
Corrosive Sulfur	ISO 5662	Non-corrosive	Non-corrosive
Water Content, mg/kg	IEC 733	30 max bulk[3] 40 max bulk[3]	25 16
Anti-oxidant Content	IEC 666	ND[4]	ND[4]
Breakdown Voltage As Delivered After Treatment	IEC 156	 30 min 50 min	IEC 74 52 60
Dissipation Factor, 40-62 Hz	IEC 247	0,0030 max	0,0016

3.1.5 *High Frequency Current Transformator* (HFCT)

HFCT adalah suatu peralatan yang digunakan untuk keperluan pengukuran dalam sistem tenaga listrik tenaga tinggi. HFCT yang digunakan adalah iHFCT-54 yang diproduksi oleh Innovit. HFCT dirancang khusus untuk mendeteksi sinyal partial discharge dalam bentuk sinyal arus yang mengalir pada kabel pentanahan (*earth conductor*). HFCT terbuat dari bahan ferit yang kokoh dan dilapisi dengan bodi aluminium sehingga memberikan ketahanan terhadap *Radio Frequency* sehingga HFCT bisa bekerja optimal dalam keadaaan yang memiliki *noise* banyak sekalipun. HFCT didesain dengan engsel dan

kait pelepas sehingga bisa lebih mudah dan lebih cepat dalam pemasanganya.



Gambar 3.8 Desain iHFCT-54

Berikut ini juga dilampirkan table spesifikasi iHFCT-54, sebagai berikut:

Tabel 3.5 Spesifikasi iHFCT-54

Type	**iHFCT-54**
Application	Indoor or Outdoor
Bandwith	0.3~150 ,MHz
Sensitivity	I_{in} 1 mA (p-), V_{out} ≥16 mV
Load impedance	50 Ω
Operating temperature	-45 ~+80^{0}C
Storage temperature	-55 ~+90^{0}C
Signal termination	BNC or N-50
Protection class	Up to IP68
Internal diameter	**∅54**
Weight	0.855 Kg
Dimensions	1284.4 mm x110 mm x30 mm

3.1.6 *Oscilloscope*

Oscilloscope merupakan alat ukur elektronika yang digunakan untuk memproyeksikan suatu sinyal listrik dan frekuensi menjadi bentuk gelombang sehingga mudah untuk dianalisa dan dipelajari. Pada pengujian kali ini osiloskop yang digunakan adalah osiloskop digital model SIGLENT. Pada pengujian kali ini osiloskop dihubungkan dengan *monopole antenna*, HFCT dan pembangkit tegangan DC sehingga bisa menangkap aktivitas partial discharge dalm bentuk gelombang sehingga bisa dipelajri dan dianalisa. Hasil gelombang akan disimpan dalam format .CSV sehingga bisa diolah lebih lanjut. Adapun tampilan osiloskop sebagai berikut:

Gambar 3.9 Tampilan *osciloosccope SIGLENT*

3.1.7 DMI 551 OT 276

Pada pengujian ini juga menggunakan alat *Digital Measuring Instrument 551 dan Operating Terminal 276* yaitu alat yang digunakan untuk pengukuran tegangan tinggi sekaligus juga alat pengatur tegangan yang akan dibangkitkan pada transformator uji tegangan tinggi. Kemudian DMI 551 ini digunakan untuk menampilkan tegangan yang terbangkit pada trafo yang akan digunakan untuk mengetahui nilai dari

inception voltage dan nilai *breakdown voltage* pada pengujian ini. Untuk tampilan fisik dari alat ini dapat dilihat pada gambar dibawah.

Gambar 3.10 Digital Measuring Instrument 551 dan Operating Terminal 276

3.2 Antenna *Monopole*

Digunakan untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik yang kemudian diradiasikan menuju udara. *Monopole* sendiri adalah antenna yang digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* yang bekerja pada range frekuensi UHF (*Ultra High Frequency*), dimana antenna ini mendeteksi gelombang elektromagnetik yang diinduksi oleh *partial discharge* dalam rentang frekuensi tertentu dengan *bandwith* yang lebar. Lalu hasil frekuensi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan dari *partial discharge* bergantung dari struktur elektroda dan insulasi antar elektroda.

Gambar 3.11 Antenna monopole

3.3 Pelaksanaan pengujian dan akuisisi data

Pengujian untuk tugas akhir ini dilakukan di laboratorium tegangan tinggi Teknik elektro ITS. Yang mana dalam pengujian ini menggunakan pembangkitan tegangan tinggi DC yang kemudian dihubungkan kepada objek pengujian berupa elektroda datar yang berada di dalam minyak, lalu diantara dua elektroda terdapat kontaminan melayang yang terbuat dari bahan dasar *stailess steel*, dimana kontaminan yang digunakan pada pengujian kali ini memiliki perbedaan bentuk serta ukuran yaitu masing masing 5 mm dan 10 mm dengan bentuk simetris.

Pertama-tama mempersiapkan semua keperluan untuk kepentingan pengujian mulai dari pembangkit tinggi DC, isolasi minyak, kotak akrilik, kontaminan melayang, elektroda datar, HFCT, *oscilloscope*, serta antenna. Selanjutnya kita memulai *setup* yang mula mula di awali dengan memasang kontaminan melayang, dimana yang seperti sudah terlihat pada gambar 3.4 yaitu d adalah diameter atau jarak yang divariasikan berada pada lima titik, diantaranya 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, dan juga 20 mm.

Jika merujuk pada standart IEC 156 dan SPLN 49-1:1982, untuk pengujian minyak isolasi menggunakan jarak antar elektroda yaitu 2,5 mm dengan nilai tegangan tembus 30 kV. Namun pada tugas akhir ini diberlakukan jarak antar elektroda yaitu 20 mm serta menggunakan jenis elektroda *plane to plane*, dimana ini bertujuan agar memudahkan kontaminan memiliki jarak yang berbeda-beda saat berada diantara elektroda.

Selanjutnya setelah *setup* objek pengujian berikutnya adalah memberi tegangan tinggi DC secara perlahan dengan kenaikan 2 kV tiap 2 detiknya. Lalu kabel *grounding* terhubung elektroda datar yang mana akan diseri terhadap HFCT untuk memvalidasi kepada antenna saat penangkapan fenomena *partial discharge* yang kita dapat saksikan di osiloskop, sementara antenna *monopole* digunakan untuk mendeteksi adanya fenomena *partial discharge* yang diakibatkan kontaminan benda melayang. Kemudian HFCT yang akan diteruskan terhubung kepada *port* 1 *oscilloscope*, lalu *port* 2 *oscilloscope* tersambung ke antenna. Kemudian kabel positif terhubung ke rangkaian pembangkit DC yang mana nanti dari rangkaian itu terhubung kepada *Digital Measuring Instrument 551* untuk melihat *breakdown voltage*.

3.3.1 Pengolahan data dengan MATLAB dan *Microsoft Excell*.

Selain itu akuisisi data serta pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB dan juga *Microsoft excel*. Dimana proses pengambilan data dimulai dari ketika data hasil pengujian dari *oscilloscope* yang berupa *excel* tampilan pada gambar 3.7 dijadikan satu dengan dengan membuka *excel* baru dan menjadikan satu data antena dari *port 2 oscilloscope* dan data HFCT dari *port 1 oscilloscope*.

MATLAB sendiri ialah *software* dengan kemampuan tingkat tinggi untuk komputasi teknis. Ia mampu menggabungkan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam satu kesatuan yang mudah digunakan dimana masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam notasi matematik yang telah dikenal. Adapun penggunaan MATLAB, umumnya adalah sebagai berikut:

- Matematika dan komputasi
- Pengembangan algoritma
- Akuisisi data
- Permodelan, simulasi, dan prototype
- Grafik saintifik dan *engineering*
- Perluasan pemakaian, seperti *graphical user interface* (GUI).

Melihat beberapa kegunaan dari MATLAB diatas, dengan disesuaikan kebutuhan pengujian maka dipergunakan matlab berdasarkan poin 4 dan 5 diatas.

Lalu kita melakukan pengujian dengan cara HFCT tersambung ke *channel 1* osiloskop, dimana HFCT di *clamp* kan atau dikaitkan ke kabel *ground* yang telah kita *setup*. Kemudian *channel 2* osiloskop terhubung dengan antenna sebagai media penangkap medan elektromagnetik dari objek yang terjadi fenomena *partial discharge*. Kemudin disuplai tegangan dari pembangkit yang dikonfigurasi DC, setelah itu hasil yang ditangkap akan dimasukkan ke dalam *flashdisk*. Hasil data yang didapat saat pengujian, dimana data sendiri berformat *Microsoft excel* dengan penamaan SHS default dari osiloskop *Siglent Handheld*. Berikutnya didalam format itu ketika dibuka berisikan data tegangan, antenna, serta HFCT seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.. Yang mana dalam satu file ini terdapat 2500 data.

Source	CH1	CH2
Second	Volt	Volt
-0,08192	-0,014	-0,01
-0,08191	-0,008	-0,01
-0,0819	0,022	0,018
-0,0819	0,026	0,034
-0,08189	0,03	0,03
-0,08188	0,03	0,024
-0,08187	0,018	0,022
-0,08186	0,016	0,016
-0,08186	-0,032	-0,036
-0,08185	-0,028	-0,024
-0,08184	-0,022	-0,024
-0,08183	-0,016	-0,02
-0,08182	-0,014	-0,01
-0,08182	-0,016	-0,01
-0,08181	0,008	0,004
-0,0818	0,028	0,032
-0,08179	0,026	0,036

SHS00004

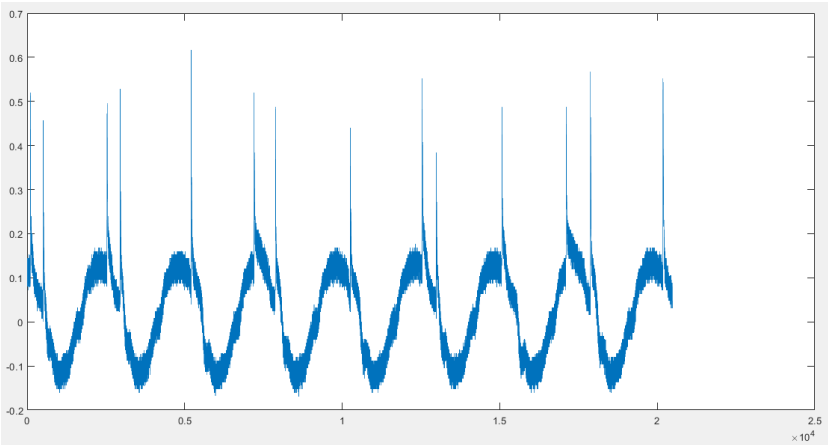
Gambar 3.12 Isi dari file SHS 00004

Kemudian setelah ini langkah selanjutnya ialah memindahkan data antena dan HFCT dari tiap SHS file yang ada menjadi satu, hal ini dimaksudkan agar ketika *plot* gelombang di MATLAB menjadi mudah,

Kemudian langkah selanjutnya adalah dengan *ploting* data menjadi gelombang dengan menggunakan *software* MATLAB, yang mana setelah tampilan awal tersaji langkah selanjutnya adalah dengan meng import data setelah diklik dan langkah selanjutnya adalah memilih file data yang ada di computer, yang kemudian setelah dibuka akan muncul tampilan data HFCT dan antena yang telah dijadikan satu.

Kemudian setelah tampil data yang diimport akan muncul tampilanexcel yang terdapat data yang telah dijadikan satu tadi. Dan kemudian selanjutnya pilih opsi import kembali selanjutnya data yang telah diimport telah masuk ke *workspace* MATLAB. Setelah data yang masuk di *workspace* MATLAB di pilih maka kita telah siap melakukan *ploting* sesuai dengan catatan data saat pengujian.

Adapun hasil dari ploting yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:



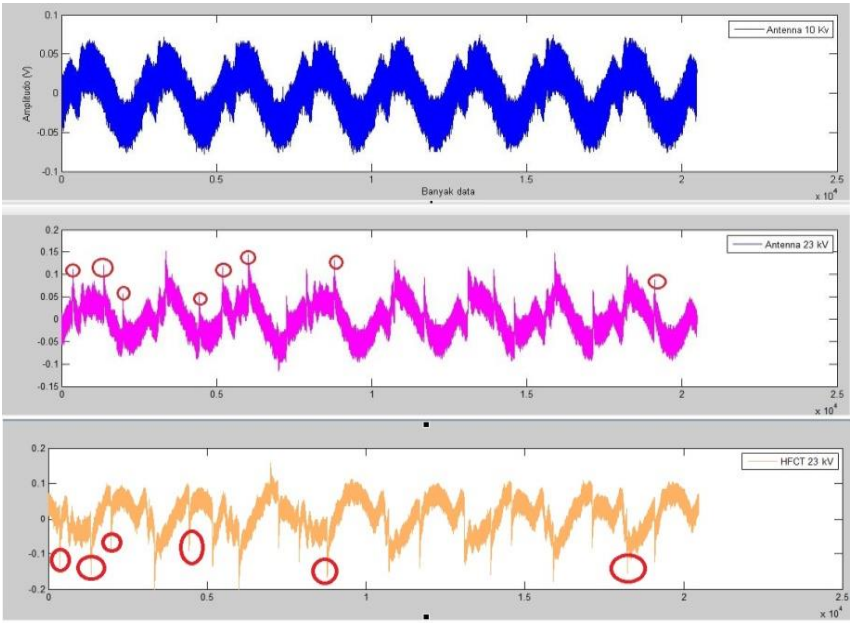
Gambar 3.13 Hasil dari *ploting antenna graphics* pada MATLAB yang berhasil mendeteksi fenomena PD.

Terlihat dari gambar bahwa antenna dapat mendetksi *Partial discharge* ketika tegangan di suplai sebesar 65 kV dengan menggunakan pembangkit DC. Yang juga telah bandingkan dengan gambar gelombang ketika belum terjadi PD, dan divalidasi oleh HFCT. Dimana validasi tersebut akan dibahas lebih lanjut pada bab 4.

3.4 Tes performansi antenna *monopoloe*

Pada pengujian kali ini menggunakan isolasi cair minyak *shell diala* tipe B tanpa menggunakan kontaminan melayang. Tes ini dilakukan bukan lain bertujuan untuk melihat kemampuan antenna untuk menangkap ataupun mendeteksi *partial discharge* dengan dibangkitkan oleh pembangkitan tegangan tinggi DC. Adapun hasil dari tes performansi antena *monopole* ini dapat dilihat pada Gambar 3..

Dan tes performansi menggunakan objek yaitu akrilik kecil bukan seperti yang seharusnya dilakukan pada pengujian tugas akhir ini yang tertera pada Gambar 3.. Adapun hasil tes sebagai berikut:

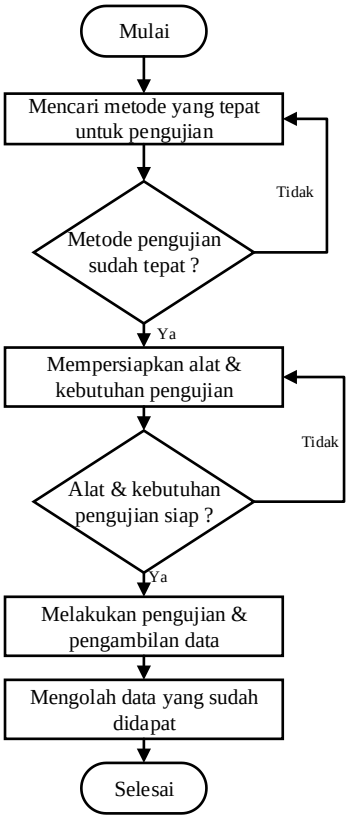


Gambar 3.14 Hasil dari uji performansi dan validasi HFCT terhadap antenna *monopole*

Dari hasil pengujian performa antenna diatas bisa dikatakan bahwa antenna dapat mendeteksi PD pada saat tegangan 23 kV dengan tinggi amplitudo dari medan elektromagnetik yang ditangkap oleh antenna adalah 1,5 volt. Dan dari hasil diatas dapat dikatakan *partial discharge* yang terdeteksi oleh antenna karena dibandingkan dari tegangan sebelumnya yaitu di 10 kV sebelum PD belum terjadi lonjakan, namuyn ketika tegangan dinaikkan ke angka 23 kV terlihat lonjakan seperti yang telah di *highlight.* Pada Gambar 3. hasil dari uji performa antenna divalidasi oleh HFCT, sebagai berikut.

3.5 Metode Pengujian

3.5.1 Flowchart Pengujian



Gambar 3.155 Flowchart Pengujian dan pengambilan data

Flowchart pada Gambar 3.155 merupakan langkah-langkah yang harus dilakukan secara bertahap dalam setiap melakukan pengujian dan juga pengambilan data *breakdown voltage* serta deteksi *partial discharge* pada masing-masing Kontaminan.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB IV
HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini akan membahas tentang data dari hasil deteksi antena terhadap *partial discharge* pada pengujian yang dilakukan pada Laboratorium Tegangan Tinggi, pada hasil pengujian menggunakan tabel dan grafik untuk mempermudah dalam menganalisisnya. Pada deteksi *partial discharge* akan dilakukan dengan ukuran kontaminan 5 mm dan 10 mm, dan pada setiap ukuran kontaminan dilakukan pengujian dengan jarak kontaminan diantara elektroda yaitu 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, dan 20 mm.

4.1 *Breakdown voltage* tanpa adanya kontaminan melayang

Hasil pengujian *breakdown voltage* dengan kondisi murni atau tanpa adanya partikel kontaminan. Pengujian ini dilakukan melalui dua objek berbeda, objek pertama dengan menggunakan elektroda plane to plane dan objek yang kedua dengan menggunakan elektroda setengah bola dan jarak antar kedua elektroda sejauh 2,5 mm.

Tabel 4.1 *Breakdown voltage* minyak tanpa kontaminan dengan elektroda *plan to plane*

Percobaan ke-	Tegangan (kV)
1	82
2	84
3	85
4	76
5	75
Rata-rata	**80,4**

Tabel 4.2 *Breakdown voltage* minyak tanpa kontaminan dengan elektroda setenagh bola

Percobaan ke-	Tegangan (kV)
1	55
2	61
3	62
4	66
5	65
Rata-rata	**61.8**

Pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 merupakan hasil pengujian breakdown voltage pada isolasi minyak tanpa adanya kontaminan benda melayang, dan didapatkan hasil rata rata pada masing-masing table adalah 80,4 kV dan 61.8 kV untuk isolasi minyak dengan jarak elektroda 2,5 mm dalam kondisi murni. Pengujian ini adalah sebagai langkah awal pengujian sebelum menggunakan kontaminan melayang untuk mengetahui nilai acuan yang akan digunakan dipengujian selanjutnya pada penelitian ini.

4.2 Analisa hasil deteksi PD, pengaruh jarak terhadap deteksi PD dan validasi HFCT

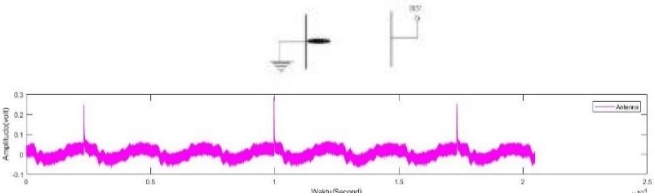
4.2.1 Analisa *partial discharge* oleh antena pada isolasi cair dengan kontaminan ukuran 5 mm dan jarak melayang 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, dan 20 mm.

- Pada penelitian ini, penulis menggunakan 2 buah partikel dengan ukuran masing-masing partikel adalah 5 mm dan 10 mm dan berbentuk simetris. Adapun parameter yang diteliti adalah sebagai berikut:
  - Hasil dan analisa gelombang yang telah terdeteksi PD dengan variasi jarak pada partikel 5 mm.
  - Jumlah *partial discharge* yang tedeteksi diberbagai jarak pada partikel 5 mm.

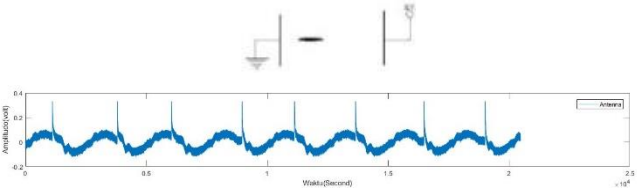
- Kemudian, menggunakan elektroda *plane to plane* dipasang vertical dengan jarak antar elektroda adalah sejauh 20 mm, maka data yang diambil di masing-masing partikel adalah pada jarak:
  - 0 mm (menempel pada elektroda paling bawah),
  - 5 mm (1/4 dari elektroda paling bawah),
  - 10 mm (1/2 dari elektroda atas dan bawah),
  - 15 mm (3/4 dari elektroda paling bawah), dan
  - 20 mm (menempel pada elektroda paling atas).

- Berikut adalah hasil pengujian dari parameter yang pertama yaitu gelombang saat terdeteksi *partial discharge*.

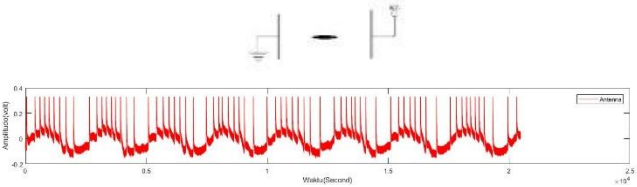
- Hasil ini diuji dengan menggunakan partikel berukuran 5 mm terlebih dahulu. Dan didapatkan hasil, sebagai berikut:



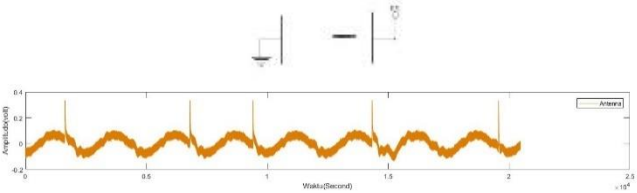
Gambar 4.1 Hasil gelombang dijarak 0 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*)



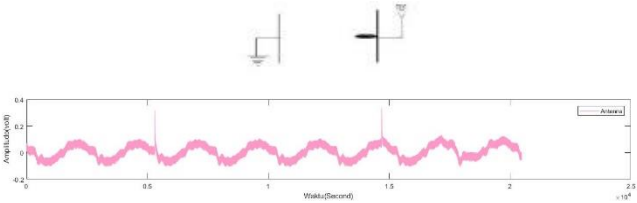
Gambar 4.2 Hasil gelombang dijarak 5 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*)



Gambar 4.3 Hasil gelombang kontaminan melayang dijarak 10 mm, dan pada tegangan 65 kV (ketika terjadinya *partial discharge*)



Gambar 4.4 Hasil gelombang kontaminan melayang dijarak 15 mm, dan pada tegangan 65 kV (ketika terjadinya *partial discharge*)



Gambar 4.5 Hasil gelombang kontaminan melayang dijarak 20 mm, dan pada tegangan 65 kV (ketika terjadinya *partial discharge*)

Gelombang diatas adalah hasil dari deteksi *partial discharge* yang ditangkap oleh antenna *monopole*, Dapat dilihat dari gambar terdapat perbedaan ketika kita bandingkan tegangan di *setting* ke angka 65 KV, dari karakteristik kondisi di level tegangan 65 KV *amplitude* akan naik ketika terdeteksi *partial discharge* dan muncul 3, 8, 71, 5, dan 2 *represented rate* masing-masing terjadi pada 0, 5, 10, 15, 20 mm. Dan PD relative meningkat pada saat jarak kontaminan berada ditengah-tengah yaitu di jarak 10 mm lalu kemudian kembali menurun lagi di jarak 15 dan 20 mm. Pola kenaikan *represented rate* dapa dilihat di Gambar 4.511.

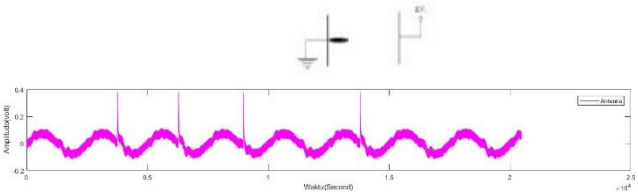
4.2.2 Analisa *partial discharge* oleh antena pada isolasi cair dengan kontaminan ukuran 10 mm dan jarak melayang 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, dan 20 mm.

- Pada penelitian ini, penulis menggunakan kontaminan melayang dengan ukuran kontaminan 10 mm dan berbentuk simetris. Adapun parameter yang diteliti adalah sebagai berikut:
- Hasil dan analisa gelombang yang telah terdeteksi PD dengan variasi jarak pada partikel 10 mm.
- Jumlah *partial discharge* yang tedeteksi diberbagai jarak pada partikel 5 mm.

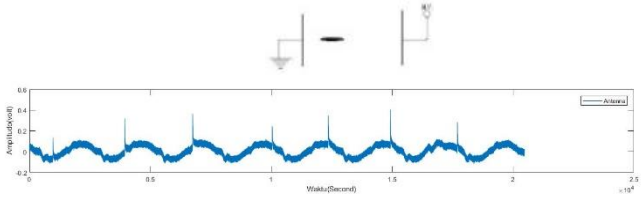
- Kemudian, menggunakan elektroda *plane to plane* dipasang vertical dengan jarak antar elektroda adalah sejauh 20 mm, maka data yang diambil di masing-masing partikel adalah pada jarak:
  - 0 mm (menempel pada elektroda paling bawah),
  - 5 mm (1/4 dari elektroda paling bawah),
  - 10 mm (1/2 dari elektroda atas dan bawah),

- 15 mm (3/4 dari elektroda paling bawah), dan
- 20 mm (menempel pada elektroda paling atas).

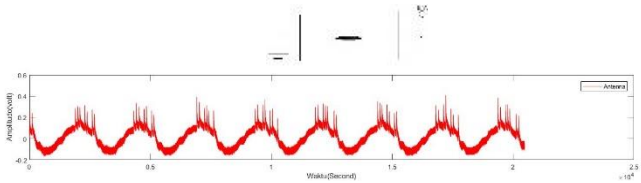
- Berikut adalah hasil pengujian dari parameter yang pertama yaitu gelombang saat terdeteksi *partial discharge*.
  - Hasil ini diuji dengan menggunakan partikel berukuran 10 mm. Dan didapatkan hasil, sebagai berikut:



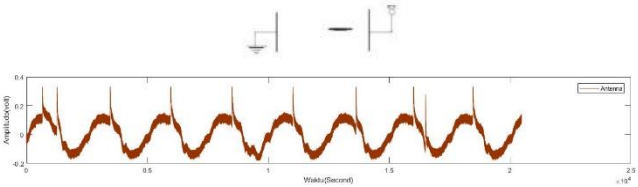
Gambar 4.6 Hasil gelombang dijarak 0 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*)



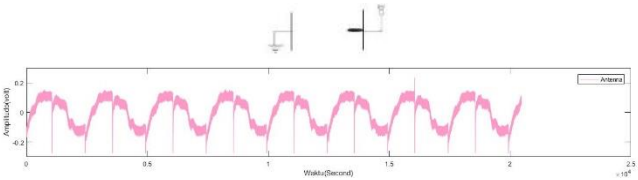
Gambar 4.7 Hasil gelombang dijarak 5 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*)



Gambar 4.8 Hasil gelombang dijarak 10 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*)



Gambar 4.9 Hasil gelombang dijarak 15 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*)



Gambar 4.10 Hasil gelombang dijarak 20 mm dan dengan tegangan 65 kV (ketika terdeteksi *partial discharge*)

Gelombang diatas adalah hasil dari deteksi *partial discharge* yang ditangkap oleh antenna *monopole*, Dapat dilihat dari gambar terdapat perbedaan ketika kita bandingkan tegangan di *setting* ke angka 65 KV, dari karakteristik kondisi di level tegangan 65 KV *amplitude* akan naik ketika terdeteksi *partial discharge* dan muncul 4, 7, 56, 10, dan 17 *represented rate* masing-masing terjadi pada 0, 5, 10, 15, 20 mm. Dan untuk partikel kontaminan melayang ukuran 10 mm PD *relative* sering kemunculannya pada saat jarak kontaminan berada di jarak 10 mm dan semakin menurun seiring kontaminan berada pada jarak hampir dekat dengan elektroda tegangan tinggi pada jarak 15 mm, lalu kemudian meningkat lagi jumlahnya pada saat menempel pada elektroda tegangan tinggi. Pola kenaikan *represented rate* dapa dilihat di Gambar 4.11.

Mengingat *partial discharge* dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu jarak antar elektroda, jarak kontaminan melayang terhadap elektroda dll. Jarak yang semakin jauh dapat meningkatkan nilai tegangan tembus pada isolasi minyak. Hal ini dikarenakan pada saat jarak kontaminan semakin jauh maka medan pergerakan elektron

memerlukan energi yang lebih besar untuk bisa bergerak menuju katoda. Dikarenakan jarak elektroda semakin jauh, maka medan elektromagnetik yang terkumpul pada ujung kontaminan juga semakin besar. Sehingga besar amplitudo dari *spark* sinyal gelombang yang ditangkap oleh *antenna* juga semakin besar. Pada sub bab selanjutnya akan dibahas lebih lanjut mengenai pengaruh jarak dan ukuran dalam mendeteksi *partial discharge.*

4.2.3 Pengaruh jarak dan ukuran kontaminan melayang dalam mendeteksi *partial discharge*

Stainless steel merupakan salah satu bahan elektroda uji yang digunakan juga salah satu bahan uji dari kontaminan yang digunakan. Pengujian pada bahan *stainless steel* yang menggunakan elektroda berdiameter 2 cm / 20 mm. Kemudian dengan melakukan pengujian di 5 titik diantar elektroda, yaitu pada titik mepet dengan elektroda *ground*, ¼ dari elektroda bawah, setengah atau berada pada pusat celah elektroda, pada titik ¾ dari elektroda bawah, dan yang terakhir adalah pada titik menempel pada elektroda tegangan tinggi.

Dari hasil pengujian tugas akhir ini, menghasilkan Jumlah PD yang banyak atau paling sering muncul ketika kontaminan baik yang berukuran 5 mm dan 10 mm berada pada jarak 5 mm atau berapa di titik ¼ dari elektroda paling bawah (*ground*).

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui Banyak *spark* atau lonjakan *partial discharge* yang terjadi, ketika melihat hasil grafik pada gambar 4.11 dari *represented rate* yang membandingkan antara partikel kontaminan ukuran 5 mm dengan 10 mm bahwa medan magnet yang tertangkap oleh antena yang kemudian ditampilkan diosiloskop pada kontaminan ukuran 10 mm cenderung lebih baik dan dari grafik stabil dari kenaikan jumlahnya dibandingkan di partikel ukuran 5 mm yang cenderung tidak stabil.

Tabel 4.3 Hubungan antara jarak dengan jumlah *spark partial discharge* pada isolasi minyak, dengan ukuran kontaminan 5 mm.

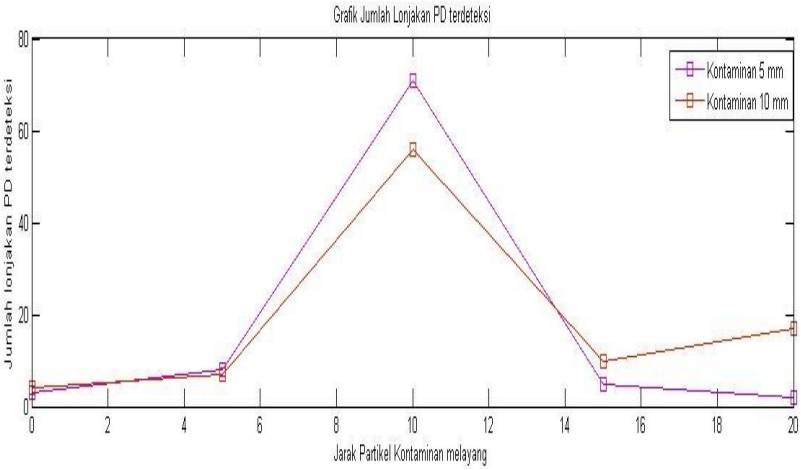
Jarak kontaminan melayang (mm)	**Jumlah lonjakan PD terdeteksi**
0	3
5	8

10	71
15	5
20	2

Tabel 4.4 Hubungan antara jarak dengan jumlah *spark partial discharge* pada isolasi minyak, dengan ukuran kontaminan 10 mm.

Jarak kontaminan melayang (mm)	**Jumlah lonjakan PD terdeteksi**
0	4
5	7
10	56
15	10
20	17

Dari tabel 4.3 dan 4.4 diatas akan dibuat dan dilampirkan pada grafik, untuk mempermudah pembacaan dan menganalisa dari hasil pengujian deteksi *partial discharge* tersebut.



Gambar 4.11 grafik perbandingan jarak kontaminan melayang terhadap *represented rate* pada ukuran partikel 5 dan 10mm.

Untuk lebih mempermudah mengamati hasil atau *trend* dari peningkatan maupun penurunan jumlah PD, berikut akan ditampilkan perbandingan nilai rata-rata dari jumlah PD diberbagai jarak dan juga di masing-masing partikel kontaminan.

Tabel 4.5 Hasil dari perbandingan jumlah PD terhadap pengaruh jarak

Partikel Kontaminan melayang (mm)	**Rata-rata banyak *partial discharge***
5	17.8 ~18
10	18.8~19

Karena mengingat bahwa pengujian deteksi PD ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan dari sebuah isolator, dalam tugas akhir ini pengujian isolator/isolasi minyak terdapat beberapa parameter yang salah satunya adalah tinggi *amplitude* dan juga banyak *represented rate.*

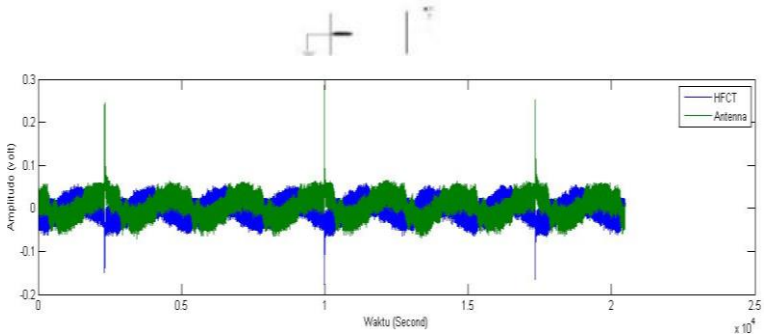
Ketika tegangan *applied* pada elektroda melebihi kekuatan *breakdown* udara, ionisasi disekitar elektroda akan terjadi. *Streamer* positif dan *streamer* negative dibentuk berdasarkan tegangan *applied*. *Streamer-streamer* tersebut merupakan *corona discharge*. *Corona discharge* tetap terjadi hingga *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 kontaminan melayang meningkat seiring amplitude tegangan *applied* sehingga memungkinkan terjadinya *partial discharge* yang lebih banyak.

Maka dari sini dapat disimpulkan bahwa dari grafik *representation rate* diatas dan juga dari hasil perbandingan jumlah *represented rate* pada tabel 4.5 menyatakan jika semakin besar ukuran dari kontaminan melayang maka akan semakin banyak jumlah dari *partial discharge*. Dengan kata lain semakin besar ukuran partikel semakin besar pula jumlah dari *represented rate*.

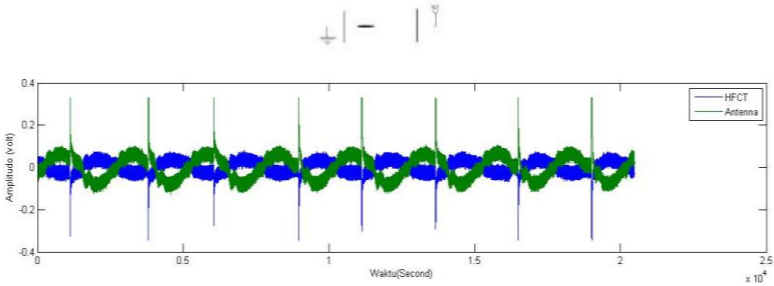
4.2.4 Validasi PD menggunakan *High Frequency Current Transformator* (HFCT)

Setiap pendeteksian *partial discharge* membutuhkan konfirmasi apakah yang dideteksi merupakan *partial discharge* atau bukan, dalam

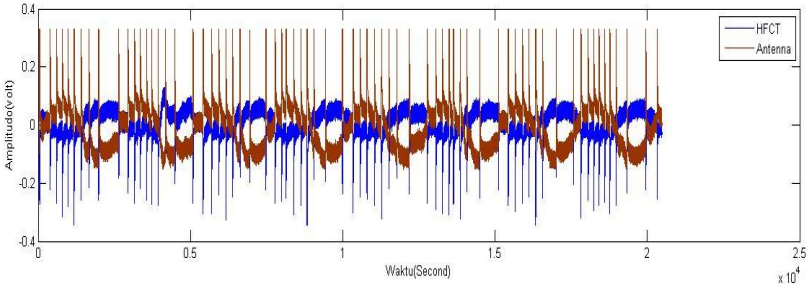
hal ini validasi diperlukan untuk itu. Dalam tugas akhir kali ini menggunakan HFCT yang dirancang khusus untuk mendeteksi adanya fenomena *partial discharge* lalu kemudian HFCT ini nantinya menampilkan keluaran berupa tegangan yang akan ditampilkan di *oscilloscope.* Metode validasi ini merupakan plotting gelombang dari HFCT yang berupa arus bocor yang dikaitkan di kabel *grounding* serta ditampilkan pada *Handheld Digital Oscillscope*. Gambar dibawah ini dapat memudahkan dalam Analisa validasi HFCT pendeteksian *partial discharge* dengan kontaminan berukuran 5 mm.



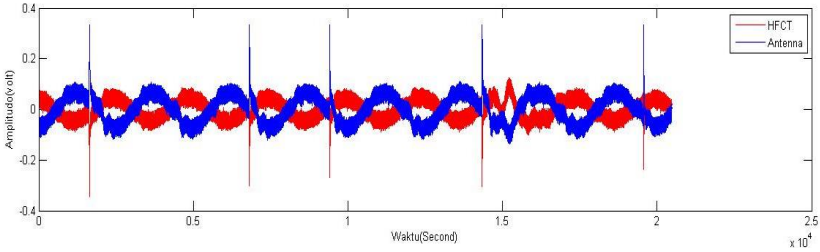
Gambar 4.12 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 0 mm



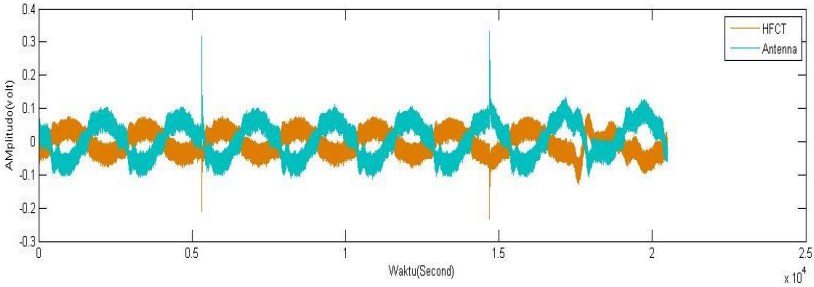
Gambar 4.13 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 5 mm



Gambar 4.14 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 10 mm

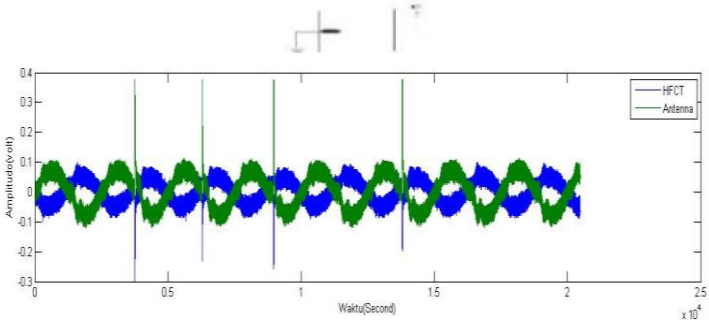


Gambar 4.15 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 15 mm

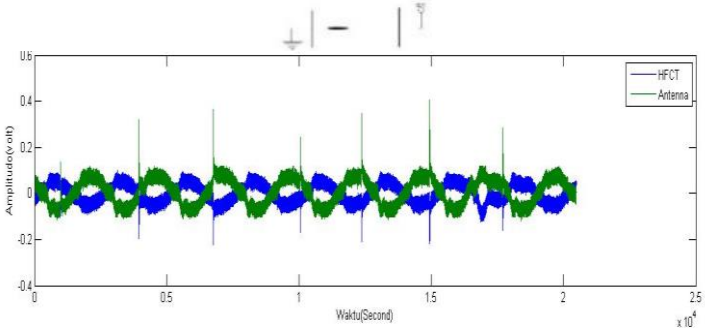


Gambar 4.16 PD yang ter validasi oleh HFCT dijarak 20 mm

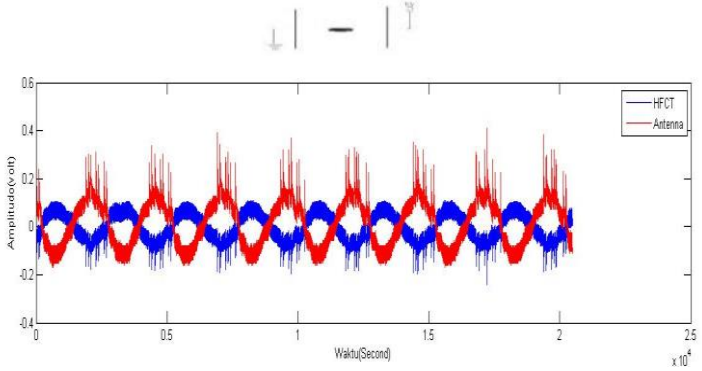
Gambar dibawah dapat memudahkan dalam Analisa validasi HFCT pendeteksian *partial discharge* dengan kontaminan berukuran 10 mm.



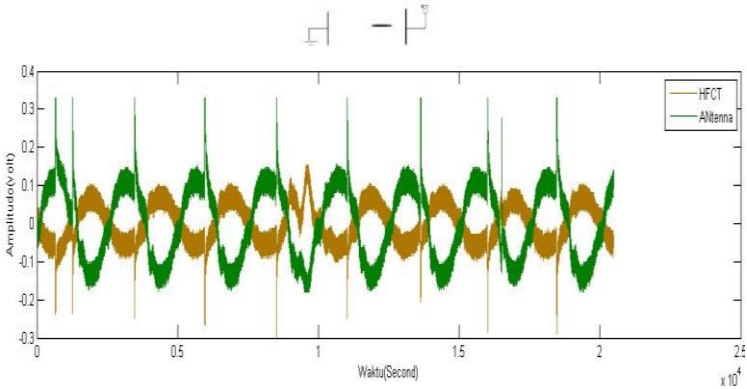
Gambar 4.17 PD yang ter validasi oleh HFCT 0 mm



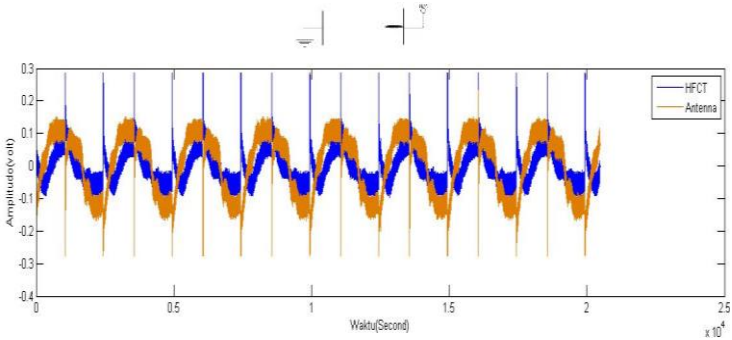
Gambar 4.18 PD yang tervalidasi oleh HFCT 5 mm



Gambar 4.19 PD yang tervalidasi oleh HFCT dijarak 10 mm



Gambar 4.20 PD yang tervalidasi oleh HFCT dijarak 15 mm



Gambar 4.21 PD yang tervalidasi oleh HFCT dijarak 20 mm

Dapat dilihat dari gambar hasil validasi dari gelombang HFCT menandakan bahwa fenomena PD yang dideteksi oleh antena benar adanya sebagai *partial discharge*, dikarenakan pada gambar diatas pada jarak 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm dan dengan menggunakan partikel kontaminan melayang ukuran 10 mm dan 5 mm dapat ditarik kesimpulan bahwa seiring munculnya *spark* atau *partial discharge* yang ditangkap oleh antenna, HFCT juga mengkonfirmasi adanya fenomena PD.

4.3 Analisa *inception* dan *breakdown voltage*

Pada pengujian kali ini bertujuan untuk mengetahui nilai *inception* dan *breakdown voltage* dari sebuah isolasi yang digunakan terhadap jarak dari kontaminan dan juga ukuran kontaminan itu sendiri.

Inception voltage didefinisikan sebagai tegangan dengan pertama kali muncul arus korona sedangkan *breakdown voltage* adalah tegangan saat kekuatan dielektrik dari isolasi minyak sudah tidak mampu menahan tegangan tersebut. Pengujian *inception* dan *breakdown voltage* yang telah dilakukan menghasilkan data sebagai berikut.

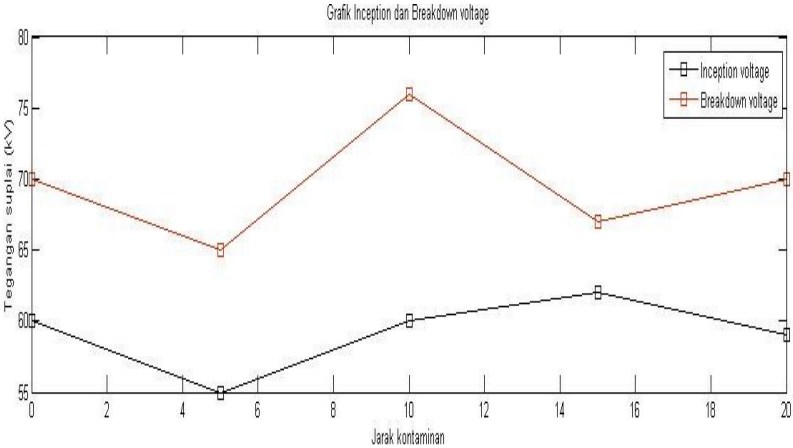
Tabel 4.6 Inception dan breakdown voltage partikel ukuran 5 mm

Jarak (mm)	Inception (kV)	Breakdown (kV)
0	60	70
5	55	66
10	60	76
15	62	67
20	59	70

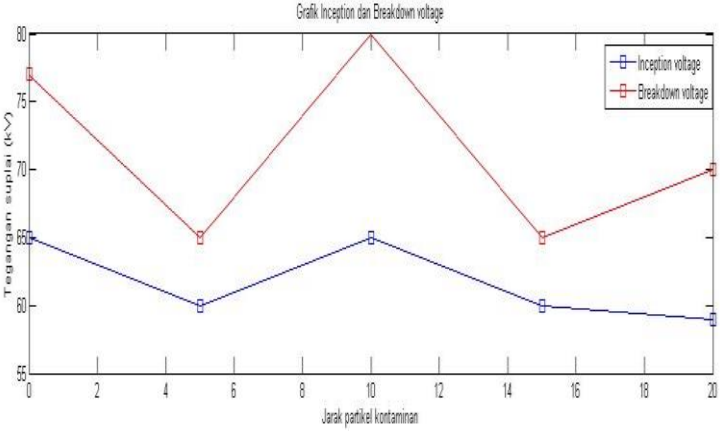
Tabel 4.7 Inception dan breakdown voltage partikel ukuran 10 mm

Jarak (mm)	Inception (kV)	Breakdown (kV)
0	65	77
5	60	67
10	65	80
15	60	68
20	59	70

Nilai *inception* dan *breakdown voltage* partikel kontaminan ukuran 5 mm dan 10 mm masing-masing tertera pada table 4.5 dan 4.6, yang kemudian agar lebih mempermudah untuk diamati, hasil dari *inception* dan *breakdown voltage* pada table 4.5 dan 4.6 disajikan pada grafik yang terlampir pada gambar 4.17 dan 4.18.



Gambar 4.22 Grafik *inception* dan *breakdown voltage* terhadap jarak dari kontaminan melayang 5 mm.



Gambar 4.23 Grafik *inception* dan *breakdown voltage* terhadap jarak dari kontaminan melayang 10 mm.

Terlihat pada gambar 4.23 bahwa tegangan *inception voltage* pada isolasi minyak dengan partikel kontaminan berukuran 5 mm bernilai 55kV-62kV. Kemudian untuk nilai terendah dari grafik tersebut terjadi pada saat partikel kontaminan berada di jarak 5 mm atau ¼ dari elektroda paling bawah (*ground*) dan berada pada jarak 20 mm elektroda

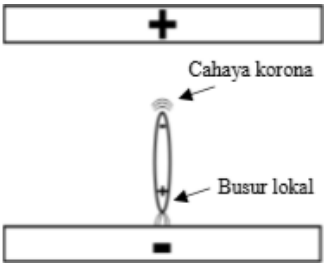
paling atas dengan nilai masing-masing 55 kV dan 59 kV. Sementeara nilai tegangan *breakdown* isolasi minyak dengan partikel kontaminan melayang berukuran 5 mm bernilai antara 65 kV-76 kV. Sementara nilai terendah terjadi ketika partikel berjarak 5 mm atau berada 1/4 dari elektroda paling bawah (*ground*) dan pada jarak 15 mm dengan nilai masing-masing 65 kv-67 kV. Untuk nilai tertinggi dari *breakdown voltage* pengujian pada partikel ukuran 5 mm adalah di nilai 76kV ketika partikel kontaminan berada pada jarak 10 mm atau ditengah-tengah dari elektroda.

Selanjutnya untuk Gambar 4.23 menunjukkan bahwa tegangan *inception voltage* isolasi minyak dengan kontaminan melayang berukuran 10 mm bernilai antara 59kV-65kV. Nilai terendah terjadi pada saat partikel kontaminan berada pada jarak 20 mm atau berada di menempel dari eletroda paling atas dengan nilai 59 kV. Sementara untuk nilai tegangan *breakdown voltage* isolasi minyak dengan partikel kontaminan melayang berukuran 10 mm diantara 65kV-80kV. Nilai terendah terjadi pada saat kontaminan melayang berada di jarak 5 mm atau ¼ dari elektroda bawah dengan nilai 65 kV dan pada jarak 15 mm dengan nilai 65 kV, dan untuk nilai tertinggi terjadi pada saat partikel melayang berada pada jarak 10 mm atau ditengah-tengah antara elektroda atas maupun bawah dengan nilai 80kV.

Dari hasil pengujian *inception* dan *breakdown voltage* partikel kontaminan berukuran 5 mm dan 10 mm diatas, dapat disimpulkan bahwa pengaruh partikel melayang terhadap tegangan *inception* cenderung stabil di beberapa jarak namun mengalami penurunan pada titik ¼ dari elektroda *ground* dan pada titik ketika menyentuh elektroda paling atas. Sedangkan untuk pengaruh tegangan tembus atau *breakdown voltage* memiliki tegangan *breakdown* paling rendah pada titik 1/4 dan 3/4 atau berada dekat dengan elektroda paling bawah dan elektroda tegangan tinggi tapi tidak menyentuh.

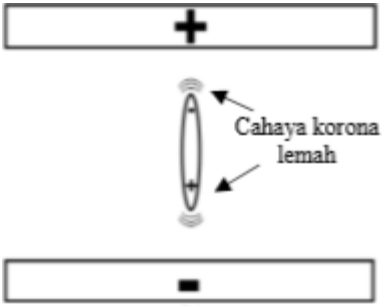
Adapun yang mempengaruhi dari terjadinya *inception voltage* dan kestabilan dari *breakdown voltage* adalah busur lokal (*local arc*), dimana ketika partikel kontaminan berada pada jarak 5 mm atau di titik ¼ dari elektroda *ground* timbul busur lokal (*local arc*) yang bertugas menjembatani celah terdekat antara elektroda *ground* dengan partikel melayang (*minor gap*). Akibat dari adanya busur lokal selain *minor gap* adalah adanya fluktuasi medan pada celah diantar partikel dengan elektroda paling jauh (*major gap*). Pengaruh dari terjadinya fluktuasi medan adalah dapat terjadinya ketidakstabilan korona, dan

ketidakstabilan korona sendiri berdampak pada pelepasan korona makin aktif pada *major gap* dan berakibat pada menurunnya nilai tegangan *breakdown*, seperti pada tampilan yang ada pada Gambar 4.24 dibawah.



Gambar 4.24 Mekanisme pelepasan korona pada partikel melayang dekat dengan elektroda negatif.

Pada saat partikel melayang berada pada jarak 10 mm atau berada di titik 1/5 dari elektroda bawah maupun elektroda tegangan tinggi nilai dari tegangan tembusnya lebih stabil dikarenakan dari kestabilan korona pada kedua celah antar partikel melayang terhadap elektroda, serta tidak terjadinya *local arc* yang berdampak tidak terjadinya fluktuasi medan di salah satu celah antara elektroda dan partikel kontaminan melayang. Seperti pada **Gambar 4.25**. Maka dari itu hasil dari pengujian didapatkan seperti **Gambar 4.3** dengan ukuran benda melayang 5 mm dan seperti **Gambar 4.8** dengan benda melayang berukuran 10 mm. Pada hasil pengujian yang didapat pada **Gambar 4.3** lonjakan *Partial discharge* cenderung lebih banyak dari pada dijarak yang lain, begitupun juga yang terjadi pada **Gambar 4.8**, hal ini dikarenakan ketika kontaminan berada ditengah dari elektroda pembentukan jembatan serat atau terbentuknya kanal cenderung lebih berimbang dan terjadi proses medan local yang dimana dikedua sisi bersifat saling menghilangkan yang mengakibatkan terjadinya lonjakan *partial discharge* terlihat lebih stabil dan kontinyu, dimana peristiwa ini disebut *streamer* dan *leader*. Jika dibandingkan dengan benda melayang berada di jarak 5 mm atau dijarak 0 mm dan 20 mm terjadinya lonjakan terbilang tidak stabil dan tidak kontinyu dikarenakan peristiwa terbentuknya medan local (*local arc*) untuk menuju proses *streamer* lebih cepat berakibat *partial discharge* yang dihasilkan tidak stabil dan tidak kontinyu dari pada ketika benda mlayang berada pada celah elektroda.



Gambar 4.25 Mekanisme pelepasan korona pada partikel melayang berada di pusat celah tepatnya pada jarak 20 mm.

Berikut akan dilampirkan juga tabel yang menampilkan perbandingan nilai tegangan *inception* dan *breakdown* dari partikel 5 mm dan 10 mm untuk memudahkan mencari hubungan antara ukuran dan bentuk partikel kontaminan dengan nilai tegangan *inception* dan *breakdown*.

Tabel 4.8 Nilai rata-rata *inception* dan *breakdown voltage* di masing-masing partikel

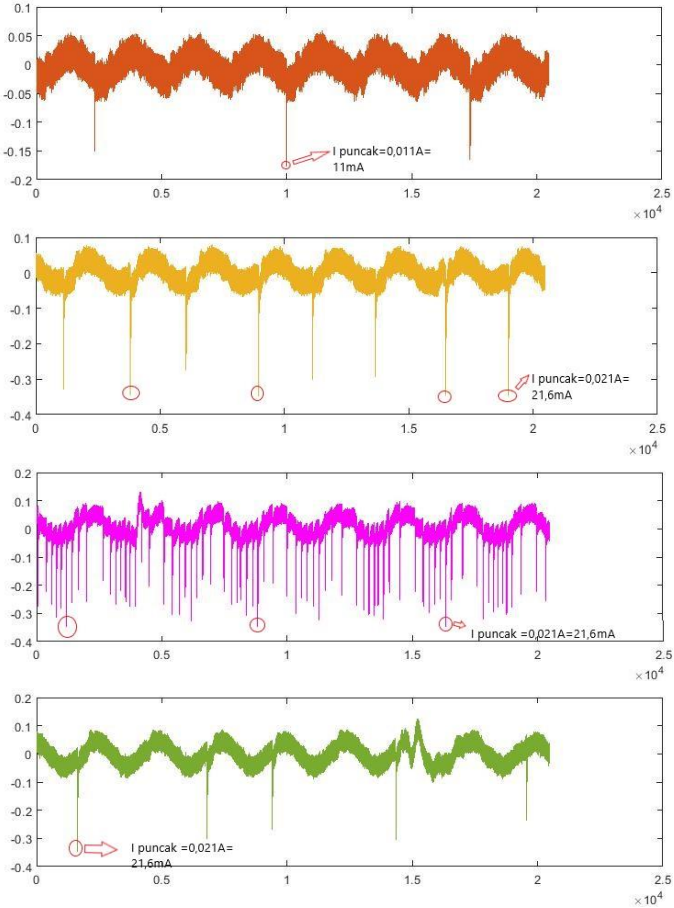
Ukuran partikel (mm)	**Rata-rata *inception voltage* (kV)**	**Rata-rata *breakdown voltage* (kV)**
5	59.2	69.5
10	61.8	71.4

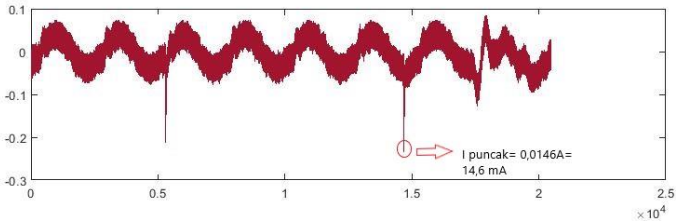
Dari tabel diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa makin besar ukuran kontaminan pada isolasi minyak, semakin tinggi nilai dari *inception* dan *breakdown voltage* nya. Sementara bentuk partikel tidak berpengaruh terhadap nilai tegangan *inception* maupun *breakdown* dikarenakan dalam pengujian tugas akhir kali ini menguji partikel kontaminan simetris.

4.4 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, adapun hasilnya adalah sebagai berikut:





Gambar 4.26 Gambar *Leakage current* pada isolasi minyak partikel ukuran 5 mm, pada jarak 0, 5, 10, 15, 20 mm.

Pada gambar 4.26 menunjukkan hasil dari gelombang elektromagnetik yang dideteksi HFCT untuk keperluan validasi dari antenna. Di pengujian HFCT untuk mendeteksi arus bocor yang ditangkap diambil dalam 5 titik, yaitu pada jarak 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, dan 20 mm, dengan masing masing jarak dibandingkan di tegangan suplai 65 kV. Dimana pada jarak 0 mm dapat dilihat bahwa amplitude tegangan puncak dari *spark* PD yang dideteksi adalah 0.176 volt, pada jarak 5 mm dapat dilihat bahwa amplitude tegangan puncak dari *spark* PD yang dideteksi adalah 0.346 volt, pada jarak 10 mm dapat dilihat bahwa amplitude tegangan puncak dari *spark* PD yang dideteksi adalah 0.346 volt, pada jarak 15 mm dapat dilihat bahwa amplitude tegangan puncak dari *spark* PD yang dideteksi adalah 0.346 volt, pada jarak 20 mm dapat dilihat bahwa amplitude tegangan puncak dari *spark* PD yang dideteksi adalah 0.234 volt. Setelah berhasil menganalisa V_{puncak} maka dapat dihitung I_{puncak} dengan menggunakan rasio HFCT, dan rumus perbandingan sebagai berikut:

$$\frac{I\ leakage}{V\ puncak} = \frac{1}{16} \tag{4.1}$$

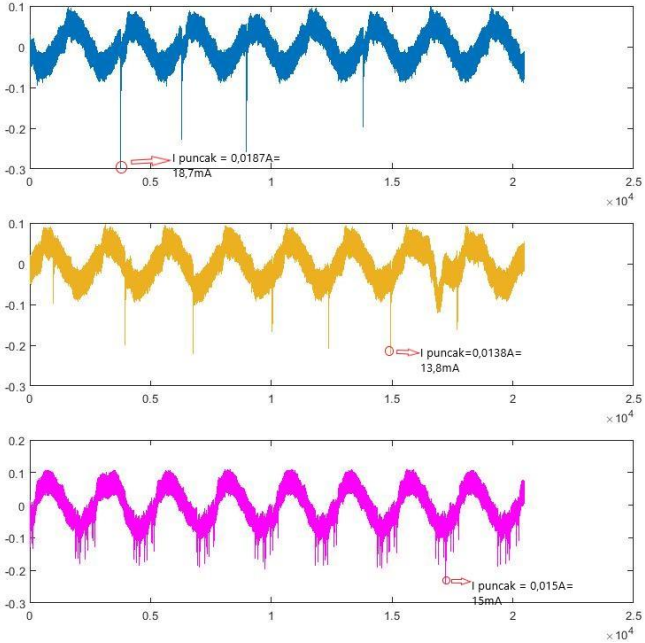
Dan dengan menggunakan rumusa perbandingan HFCT diatas maka akan didapatkan hasil seperti pada gambar 4.26. Suapaya mempermudah menganalisa maka akan di modelkan dengan tabel hasil dari I_{puncak} terhadap V_{puncak}, sebagai berikut:

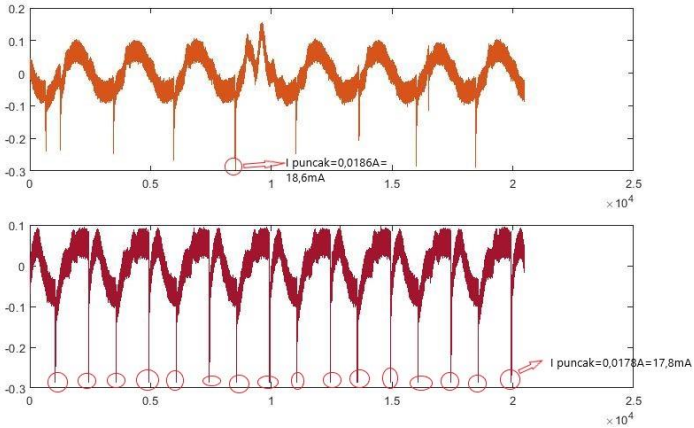
Tabel 4.9 tabel arus bocor yang ditangkap HFCT dengan kontaminan ukuran 5 mm.

Jarak (mm)	**V_{puncak} (volt)**	**I_{puncak} (mA)**

0	0,176	11
5	0,346	21.6
10	0,346	21.6
15	0,346	21.6
20	0,234	14.6

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai puncak arus bocor saat terjadi *partial discharge* adalah 21.6 mA yang terjadi saat kontaminan berada pada jarak 5 mm, 10 mm, dan 15 mm, sedangkan nilai puncak arus bocor terendah adalah 11 mA yang terjadai saat kontaminan berada di jarak 0 mm atau saat menyentuh elektroda bawah.





Gambar 4.27 *Leakage current* kontaminan ukuran 5 mm pada jarak 0 mm.

Pada gambar 4.27 menunjukkan hasil dari gelombang elektromagnetik yang dideteksi HFCT untuk keperluan validasi dari antenna. Di pengujian HFCT untuk mendeteksi arus bocor yang ditangkap diambil dalam 5 titik, yaitu pada jarak 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, dan 20 mm, dengan masing masing jarak dibandingkan di tegangan suplai 65 kV. Dimana pada jarak 0 mm dapat dilihat bahwa amplitude tegangan puncak dari *spark* PD yang dideteksi adalah 0.3 volt, pada jarak 5 mm dapat dilihat bahwa amplitude tegangan puncak dari *spark* PD yang dideteksi adalah 0.222 volt, pada jarak 10 mm dapat dilihat bahwa amplitude tegangan puncak dari *spark* PD yang dideteksi adalah 0.24 volt, pada jarak 15 mm dapat dilihat bahwa amplitude tegangan puncak dari *spark* PD yang dideteksi adalah 0.298 volt, pada jarak 20 mm dapat dilihat bahwa amplitude tegangan puncak dari *spark* PD yang dideteksi adalah 0.286 volt. Setelah berhasil menganalisa V_{puncak} maka dapat dihitung I_{puncak} dengan menggunakan rasio HFCT, dan rumus perbandingan seperti pada persamaan 4.1.

Dan dengan menggunakan rumus perbandingan HFCT diatas maka akan didapatkan hasil seperti pada gambar 4.27. Suapaya mempermudah menganalisa maka akan di modelkan dengan tabel hasil dari I_{puncak} terhadap V_{puncak}, sebagai berikut:

Tabel 4.10 tabel arus bocor yang ditangkap HFCT dengan kontaminan ukuran 10 mm.

Jarak (mm)	V_{puncak} (volt)	I_{puncak} (mA)
0	0,3	18,7
5	0,222	13,8
10	0,24	15
15	0,298	18,6
20	0,286	17,8

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai puncak arus bocor saat terjadi *partial discharge* adalah 18,7 mA yang terjadi saat kontaminan berada pada jarak 0 mm atau menempel pada elektroda bawah, sedangkan nilai puncak arus bocor terendah adalah 13,8 mA yang terjadi saat kontaminan berada di jarak 5 mm atau saat hampir menyentuh elektroda bawah.

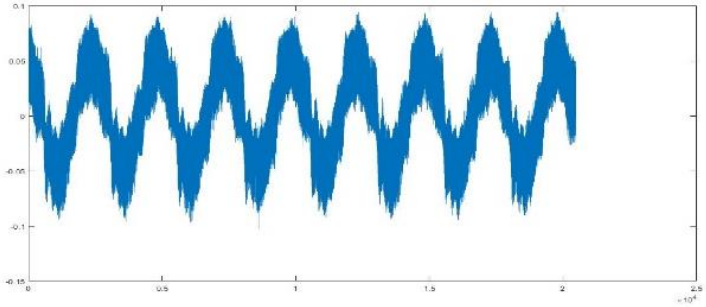
Tabel 4.11 tabel arus bocor yang ditangkap HFCT dengan membandingkan partikel berukuran 5 mm dan partikel kontaminan berukuran 10 mm.

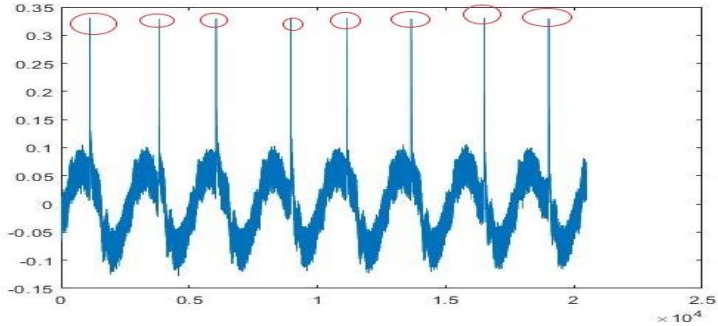
Partikel kontaminan (mm)	Rata-rata Arus bocor (mA)
5	18,08
10	16,78

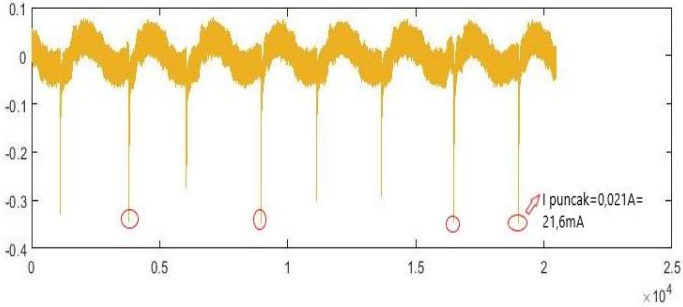
Dari Tabel 4.11 diatas merupakan perbandingan nilai puncak arus bocor yang terdeteksi oleh HFCT pada partikel kontaminan berukuran 5 mm dan 10 mm untuk memudahkan mencari hubungan antara ukuran dan bentuk partikel kontaminan dengan nilai puncak *leakage current* saat terjadi *partial discharge*. Dan dapat menunjukkan bahwa ukuran partikel kontaminan berbanding terbalik dengan nilai puncak arus bocor saat terjadi PD, semakin besar ukuran partikel kontaminan semakin kecil pula nilai puncak dari arus bocor saat terjadi *Partial discharge.*

4.5 Perbandingan metode deteksi *partial discharge* dengan metode UHF, *leakage current* oleh HFCT, dan juga membandingkan dengan tegangan sebelum terjadinya PD

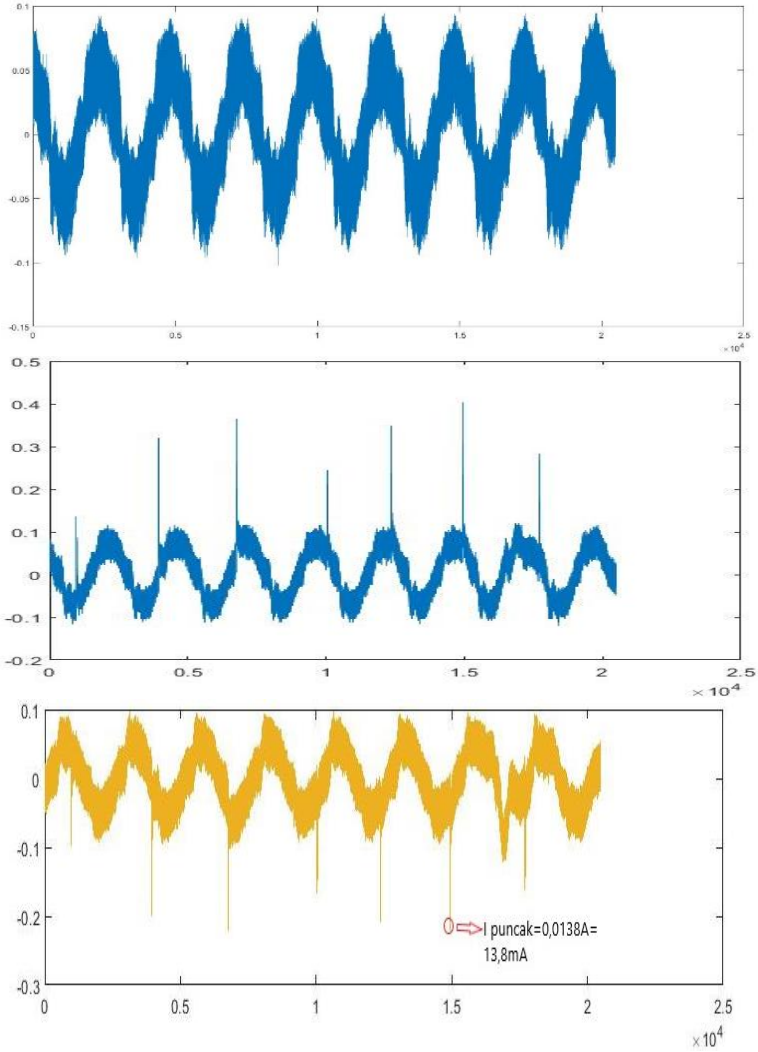
Metode *partial discharge* saat dideteksi dengan metode antenna UHF mempunyai kelebihan dalam hal sensitifitas pada saat mendeteksi *partial discharge* di isolasi minyak dibandingkan dengan *leakage current*. Selain itu metode antenna UHF juga lebih hemat dan ekonomis ketimbang metode *leakage current* dikarenakan hanya memerlukan antenna *monopole* dan *ultra high frequency*. Gambar dibawah ini menjelaskan validasi PD yang dideteksi oleh antenna dengan metode *leakage current*. Adapaun hasilnya sebagai berikut:







Gambar 4.28 Validasi hasil deteksi PD dengan metode HFCT dan UHF serta membandingkan dengangan sebelum terjadinya PD dengan kontaminan 5 mm di jarak 5 mm.



Gambar 4.29 Validasi hasil deteksi PD dengan metode HFCT dan UHF serta membandingkan dengangan sebelum terjadinya PD dengan kontaminan 10 mm di jarak 5 mm.

Dari gambar diatas terlihat bahwa Pendeteksian PD dapat di ketahui keberadaanya melalui metode penangkapan sinyal UHF, namun yang menjadi permasalahan adalah ketika yang dideteksi oleh antenna benar adanya *partial discharge* atau bukan, maka dari gambar diatas membandingkan antara sinyal hasil tangkapan osiloskop pada *apllied voltage* 40 kV sebelum terdeteksi PD, kemudian saat terdeteksi PD yaitu di angka 65 kV, serta *plotting* ke tiga adalah hasil validasi dari HFCT. Terlihat perbedaan dari hasil *plotting* diatas bahwasannya memang yang ditangkap antenna di *apllied voltage* 65 kV adalah benar adanya yaitu *partial discharge*.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dan analisa data mengenai hasil dari pengujian pada bab 4 sebelumnya, berikut beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian ini untuk mengetahui *partial discharge* akibat pengaruh partikel logam melayang terhadap karakteristik *breakdown* pada isolasi minyak, yaitu:

1. Nilai rata – rata tegangan *inception* berbanding lurus dengan ukuran partikel, semakin besar partikel pada isolasi minyak maka semakin tinggi tegangan *inception*. Nilai rata – rata *inception* terendah terjadi pada partikel ukuran 5 mm yaitu bernilai 59 KV dan nilai rata -rata *inception* tertinggi terjadi pada partikel ukuran 10 mm yaitu bernilai 61, KV.

2. Nilai rata - rata tegangan *breakdown* berbanding lurus dengan ukuran partikel, semakin besar partikel maka semakin tinggi tegangan breakdown pada isolasi minyak. Nilai rata – rata*breakdown* terendah terjadi pada partikel ukuran 5 mm yaitubernilai 69 KV dan nilai rata -rata *breakdown* tertinggi terjadi pada partikel ukuran 10 mm yaitu bernilai 71 KV.

3. Dan pada pegujian sebelumnya antenna *monopole* dapat mendeteksi fenomena *partial discharge*, hal ini diperkuat oleh pembuktian atau validasi terhadap HFCT.

4. Pada saat pendeteksian Antenna terhadap PD dapat disimpulkan bahwa dari grafik lonjakan PD dan juga dari hasil perbandingan jumlah *represented rate* pada tabel 4.5 menyatakan jika semakin besar ukuran dari kontaminan melayang maka akan semakin banyak jumlah dari *partial discharge*. Dengan kata lain semakin besar ukuran partikel semakin besar pula jumlah dari *represented rate*.

5. Jarak dari partikel pun mempengaruhi terjadinya atau terdeteksinya PD, hal ini terbukti dari semakin berada ditengah

PD yang terdeteksi semakin bertambah dari pada jarak sebelumnya.

5.1 Saran

Dalam pengujian dan pengambilan data selanjutnya, agar juga memperhatikan suhu ruangan dan juga suhu minyak ,serta menggunakan variasi Jarak yang disuplai oleh tegangan DC dan juga menggunakan kontaminan dengan bentuk dan jenis yg berbeda pula. Dan mengambil jarak yang berselisih pendek. Agar dapat dilihat *trend* dari hasil pengujiannya dan dibandingkan dengan pengujian-pengujian sebelumnya, supaya kedepan dapat lebih baik untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] N. Ra and U. Khayam, "Partial Discharge Measurement of 4 Types of Electrodes Configuration in Air Insulation using High Frequency Current Transformer Sensor," Jt. Int. Conf. Electr. Veh. Technol. Ind. Mech. Electr. Chem. Eng. ICEVT IMECE, vol. 4D1, no. 4, pp. 100–105, Nov. 2015.

[2] L. M. Salvatierra et al., "Self-healing during electrical treeing: A feature of the two-phase liquid-solid nature of silicone gels," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 23, no. 2, pp. 757–767, Apr. 2016.

[3] W. R. Putra, I. M. Negara, and I. Satriyadi, "Pengaruh Bentuk dan Material Elektrode terhadap," J. Tek. ITS, vol. 4, no. 1, p. 5, 2015.

[4] 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.

[5] A. D. P. D, "Analisis Pengaruh Temperatur Pada Karakteristik PreBreakdown Voltage Dengan Pengujian Isolasi Minyak Trafo," Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.

[6] M. Y. Setyawan, "Pengaruh Bentuk dan Jumlah Partikel Terhadap Karakteristik Partial Discharge dan Tegangan Tembus Isolasi Minyak Pada Medan Seragam," Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.

[7] K. S. Widyaningrum, D. K. Setiawan, and B. S. Kaloko, "Pengaruh Variasi Suhu Destilasi Terhadap Karakteristik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair pada Transformator Daya," BERKALA SAINSTEK, vol. 5, no. 1, p. 41, Sep. 2017.

[8] I. M. Y. Negara, Teknik Tegangan Tinggi dan Aplikasi Praktis. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.

[9] I. A. R. Gray, "RELATIVE PERMITTIVITY (DIELECTRIC CONSTANT)," p. 6.

[10] M. S. Naidu dan V. Kamaraju, High Voltage Engineering 2nd. New York: McGraw-Hill, 1995.

[11] I. M. Y. Negara, Teknik Tegangan Tinggi dan Aplikasi Praktis. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.

[12] R. Jauhari, “Analisis Karakteristik Fisik dan Elektrik untuk Estimasi Umur Minyak Transformator Menggunakan Hukum Arrhenius,” Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
[13] “Minyak Isolasi, SPLN 49_1.” 1982.
[14] M. S. Naidu dan V. Kamaraju, High Voltage Engineering 2nd. New York: McGraw-Hill, 1995.
[15] E. Kuffel, W. S. Zaengl, and J. Kuffel, High voltage engineering: fundamentals, 2. ed., reprint. Amsterdam: Newnes, Elsevier, 2008.
[16] A. D. P. D, “Analisis Pengaruh Temperatur Pada Karakteristik PreBreakdown Voltage Dengan Pengujian Isolasi Minyak Trafo,” Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.

BIOGRAFI PENULIS

Nama lengkap penulis adalah Muhammad Faisal Ijlal Azmi, dan biasa dipanggil faisal atau teman -teman biasa memanggil cumik. Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 21 Agustus 1995. Penulis memiliki riwayat pendidikan, sebagai berikut: pada tahun 2001 sampai 2007 bersekolah di SD Negeri Airlangga IV. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMP Muhammadiyah 9 surabaya pada tahun 2007 hingga 2010. Penulis kemudian menempuh pendidikan di SMA Dr.Soetomo surabaya tahun 2010 sampai 2013. Penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikan di program studi D3 Teknik Elektro Elektro Computer Control ITS, jurusan D3 Teknik Elektro ITS. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Strata-1 pada tahun 2017, program Lintas Jalur Teknik Elektro ITS program studi Teknik Sistem Tenaga. Kritik dan saran serta pertanyaan mengenai tugas akhir tersebut dapat langsung menghubungi penulis melalui email penulis, ijlal.azmi95@gmail.com.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----