



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

**INFLUENCE OF DESIGN AND MATERIAL ELECTRODE ON  
THE PARTIAL DISCHARGE**

Wildan Rahadian Putra  
NRP 2210 100 059

Advisor

Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.  
I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT.

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**PENGARUH BENTUK DAN MATERIAL ELEKTRODE  
TERHADAP *PARTIAL DISCHARGE***

Wildan Rahadian Putra  
NRP 2210 100 059

Dosen Pembimbing  
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.  
I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

**PENGARUH BENTUK DAN MATERIAL  
ELEKTRODE TERHADAP PARTIAL DISCHARGE**

**TUGAS AKHIR**

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

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

  
**Dr. Eng. I Made Yulistya N., ST., M.Sc.**  
**NIP. 197007121998021001**

  
**IGN Satrivadi Hernanda, ST., MT.**  
**NIP. 197301232002121001**

  
**SURABAYA  
JANUARI, 2015**

## ABSTRAK

Nama : Wildan Rahadian Putra  
NRP : 2210100059  
Pembimbing I : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.  
Pembimbing II : I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT.

### **Pengaruh Bentuk Dan Material Elektrode Terhadap *Partial Discharge***

*Partial discharge* (peluhan sebagian) merupakan suatu fenomena yang terjadi pada tegangan tinggi. Secara definisi, *partial discharge* adalah terjadinya pelepasan muatan bunga api listrik yang terjadi pada isolasi suatu bahan. *Partial discharge* merupakan peristiwa peluahan listrik yang terjadi sebagian kecil sehingga menghubungkan dua elektrode yang seharusnya tidak terhubung. Hal ini apabila dibiarkan dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan isolasi. *Partial discharge* dapat terjadi pada bahan isolasi padat, bahan isolasi cair maupun bahan isolasi gas. Pada penulisan Tugas Akhir ini penelitian *partial discharge* akan dilakukan pada isolasi gas yaitu udara bebas dengan menggunakan elektrode yang berbentuk jarum, silinder tumpul, dan datar. Sedangkan bahan jenis yang digunakan antara lain kuningan, baja, dan aluminium. Dari serangkaian pengujian yang sudah dilakukan maka didapatkan nilai tegangan pra-peluhan dan nilai arusnya untuk masing-masing elektrode. Kombinasi elektrode yang paling cepat mencapai tegangan pra-peluhan untuk kesemua jenis bahan adalah elektrode jarum dan datar. Hal itu disebabkan karena tingkat ketidakseragaman medan kedua elektrode yang tinggi dibandingkan kombinasi elektrode yang lain. Setelah pengujian maka tahap selanjutnya adalah pengambilan foto SEM. Foto SEM dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh tegangan pra-peluhan terhadap pengikisan ujung elektrode jarum diameter 1 mm. Dari hasil foto SEM maka dapat diketahui bahwa elektrode jarum berbahan jenis aluminium mengalami pengikisan yang paling besar pada ujungnya. Sedangkan elektrode jarum berbahan jenis baja menjadi elektrode yang mengalami pengikisan paling kecil.

**Kata Kunci** : *Partial discharge*, Isolasi gas, tegangan pra-peluhan, Ketidakseragaman medan

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## **ABSTRACT**

Name : Wildan Rahadian Putra  
NRP : 2210100059  
Advisor I : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.  
Advisor II : I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT.

### ***Influence of Design and Material Electrode on the Partial Discharge***

*Partial discharges is a phenomenon that occurs at high voltage. By definition, partial discharge is an electrical discharge sparks occurring at an insulating material. Partial discharge is an event that connects two electrode should not be connected. If it happen than insulation failure could be happen. Partial discharge can occur on an insulating material solid, an insulating material liquid nor gaseous insulating material. At this final project, the experimental is to be performed in a partial isolation discharge of gases that free air by means of a needle, cylindrical blunt and flat electrode. The material type that using at this final project are brass, steel, and aluminium. After all tests has been done than we got inception voltage value and the current for each electrode. Combination elektrode that the fastest to reach an inception voltage is needle and flat electrode. It was because the level of a varicosity of both electrode is higher than the others combination. After all testing and the next stage is take a photos with SEM . A SEM photograph held to find out how big the influence of inception voltage to the needle with diameter 1 mm. Based on the results of a SEM photograph so it can be seen that a needle electrode made from a kind of aluminium experienced the largest erotion on the tip .While a needle electrode made from a kind of steel that experienced the smallest erotion on the tip .*

**Keywords :** *Partial discharge, gas insulation, inception voltage, Non homogen field.*

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# DAFTAR ISI

	HALAMAN
<b>JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>BAB I</b>	
<b>PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	1
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Sistematika Penulisan .....	2
<b>BAB II</b>	
<b>DASAR TEORI</b>	
2.1 Karakteristik Dasar Gas .....	3
2.2 Kegagalan pada Medan Tak Seragam .....	4
2.2.1. Korona .....	5
2.2.1.1 Jarum Positif Plat .....	6
2.2.1.2 Jarum Negatif Plat .....	7
2.2.2. Peluahan Streamer .....	8
2.2.3. Peluahan Leader .....	8
2.3 Pengaruh Kekasaran Elektrode pada Kegagalan .....	9
<b>BAB III</b>	
<b>METODOLOGI PENELITIAN MENGENAI <i>PARTIAL DISCHARGE</i></b>	
3.1 Metode Studi .....	11

3.2	Persiapan Pengujian.....	12
3.3	Pengujian dan Pengambilan Data.....	15
3.4	Analisis Hasil.....	18

## **BAB IV**

### **HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS**

4.1	Persiapan Pengujian dan Metode.....	19
4.2	Hasil Pengambilan Data.....	22
4.3	Pengambilan Foto SEM.....	26

## **BAB V**

### **PENUTUP**

5.1	Kesimpulan.....	33
5.2	Saran .....	34

<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>35</b>
----------------------------	-----------

<b>RIWAYAT HIDUP PENULIS .....</b>	<b>37</b>
------------------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>39</b>
----------------------	-----------

## DAFTAR GAMBAR

### HALAMAN

Gambar 2.1	Pergerakan Molekul Dalam Gas .....	3
Gambar 2.2	Tegangan gagal dan tegangan mula pra-kegagalan tergantung pada tingkat kehomogenan.....	4
Gambar 2.3	Proses Jarum Positif Plat.....	6
Gambar 2.4	Proses Jarum Negatif Plat .....	7
Gambar 2.5	Mekanisme Streamer.....	8
Gambar 2.6	Mekanisme Leader.....	9
Gambar 2.7	Peningkatan Medan karena Kekasaran Elektrode .....	9
Gambar 3.1	Diagram Alir Metodologi.....	11
Gambar 3.2	Rangkaian Pembangkitan Tegangan Tinggi AC.....	13
Gambar 3.3	Control Box yang digunakan dalam pengujian.....	14
Gambar 3.4	Clamp Arus yang digunakan dalam pengujian.....	14
Gambar 3.5	Pengujian Kombinasi Elektrode Jarum dan Elektrode Datar .....	16
Gambar 3.6	Pengujian Kombinasi Elektrode Jarum dan Tumpul... ..	16
Gambar 3.7	Pengujian Kombinasi Elektrode Tumpul dan Datar. ..	17
Gambar 3.8	Peralatan SEM .....	18
Gambar 4.1	Rangkaian Pengujian AC.....	19
Gambar 4.2	Ilustrasi Bentuk 3D Elektrode Datar.....	21
Gambar 4.3	Ilustrasi Bentuk 3D Elektrode Silinder Tumpul.....	21
Gambar 4.4	Grafik hasil data elektrode jarum kuningan 1 mm.....	23
Gambar 4.5	Grafik hasil data elektrode jarum baja 1 mm.....	24
Gambar 4.6	Grafik hasil data elektrode jarum aluminium 1 mm.....	25
Gambar 4.7	Elektrode jarum diameter 1 mm baja .....	26
Gambar 4.8	Elektrode jarum diameter 1 mm aluminium .....	27
Gambar 4.9	Elektrode jarum diameter 1mm kuningan .....	27
Gambar 4.10	Permukaan elektrode kuningan sebelum diberi tegangan pra-peluahan .....	28
Gambar 4.11	Permukaan elektrode kuningan sesudah diberi tegangan pra-peluahan .....	28
Gambar 4.12	Permukaan elektrode aluminium sebelum diberi tegangan pra-peluahan .....	29

Gambar 4.13	Permukaan elektrode aluminium sesudah diberi tegangan pra-peluahan.....	30
Gambar 4.14	Permukaan elektrode baja sebelum diberi tegangan pra-peluahan .....	30
Gambar 4.15	Permukaan elektrode baja sesudah diberi tegangan pra-peluahan .....	31

## DAFTAR TABEL

	<b>HALAMAN</b>
Tabel 2.1 Pergerakan ion positif dan ion negatif pada tekanan 1 bar dan temperatur 20 <sup>0</sup> C dalam kuat medan yang sangat kecil..	4
Tabel 4.1 Data Pengujian.....	22
Tabel 4.2 Data mengenai kondisi elektrode jarum 1 mm .....	32

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayahNya buku Tugas Akhir dapat diselesaikan dengan baik. Adapun proses pengerjaan dan penyelesaian buku Tugas Akhir ini yang berjudul “**Pengaruh Bentuk dan Material Elektrode Terhadap *Partial Discharge***” membutuhkan waktu yang cukup lama akibat kesibukan penulis menyelesaikan perkuliahan di dalam kelas.

Adapun berikut dibawah ini penulis ucapkan terima kasih secara khusus kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam penyelesaian buku Tugas Akhir ini yaitu :

1. Orang tua, Papa (Drs. Frans Prasetya Budi Elias) dan Mama (Endang Kusumastuti Rahendra Hapsari) atas dukungan baik moril, materiil, kasih sayang maupun doa kepada penulis yang tak henti-hentinya. Adik penulis Irfan Ringgit Anshori
2. Dosen Pembimbing penulis yaitu Bapak Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT. Selaku dosen pembimbing 2 karena berkat bimbingan dan masukan beliau penulis dapat menyelesaikan buku ini
3. Asisten Laboratorium Teknik Material dan Matelurgi ITS karena berkat bantuannya penulis dapat mendapatkan data hasil yang diinginkan
4. Asisten Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Teknik Elektro ITS atas kerjasama dan solidaritas selama ini.
5. Keluarga besar e50, Senior, Junior yang ada di jurusan atas kebersamaan yang indah selama 4 tahun lebih ini.
6. Para kerabat di Gap Kerah yaitu Eng, Bimo, Aldi, Sapi, Bison, Fiko Siskal, Au, Mada, Haris, dan Bara atas kebersamaan yang menyenangkan selama ini.

Penulis sadar akan adanya kekurangan pada buku ini. Oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran guna perbaikan buku ini kedepannya. Terima kasih. Hormat saya.

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## RIWAYAT PENULIS



Penulis yang lahir dengan nama Wildan Rahadian Putra merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 9 Juni 1992. Nama ayah penulis adalah Drs Frans Prasetya dan ibunda bernama Endang Kusumastuti. Penulis memiliki hobi menonton konser dan berselancar di dunia maya. Mempunyai cita-cita dan keinginan menjadi traveller yang mengelilingi dunia. Mengawali pendidikan di SDN Kertajaya 13 Surabaya, lalu melanjutkan di SMPN 6 Surabaya, dan SMAN 16 Surabaya. Sekarang penulis merupakan mahasiswa Teknik elektro ITS angkatan 2010 bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Jika kita mendiskusikan tentang tegangan tinggi, maka kecenderungan yang akan kita diskusikan adalah mengenai sistem penyaluran tenaga listrik. Dalam sistem tegangan tinggi terdapat sebuah fenomena *partial discharge*. *Partial discharge* merupakan peristiwa pelepasan listrik yang terjadi sebagian kecil sehingga menghubungkan dua elektrode yang seharusnya tidak terhubung. Hal ini apabila dibiarkan dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan isolasi. Penyebaran tegangan tembus pada celah udara dalam jarak yang besar dapat dijelaskan dengan mempertimbangkan mekanisme sebelum terjadi pelepasan *partial discharge*. Pengujian *partial discharge* dengan menggunakan batang dengan batang maupun batang dengan bidang datar mengakibatkan penyebaran yang besar terhadap nilai tegangan tembus pada sela jarak tertentu. Fenomena *partial discharge* merupakan bagian yang penting dalam teknik tegangan tinggi terutama dalam bidang yang tidak seragam (non uniform fields). *Partial discharge* dapat terjadi didalam peralatan seperti didalam kabel dan transformator. Dalam penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, pengujian hanya dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh bentuk elektrode. Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis ingin melakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh bentuk, jenis, dan ukuran elektrode terhadap fenomena *partial discharge* dengan menggunakan sumber tegangan AC.

### 1.2. Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah mempelajari pengaruh bentuk, jenis bahan, dan ukuran elektrode terhadap *partial discharge*. Bentuk elektrode yang akan digunakan pada Tugas Akhir ini terdiri dari tiga yaitu elektrode jarum, elektrode silinder tumpul, dan elektrode datar. Sedangkan jenis bahan terdiri dari kuningan, baja, dan aluminium. Untuk ukuran dibagi menjadi elektrode jarum berdiameter 1 mm dan 1,1 mm. Permasalahan lain yang akan dibahas adalah mengamati dampak kerusakan material elektrode akibat pengaruh *partial discharge*.

### **1.3. Tujuan**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pengujian *partial discharge* terhadap materi bahan
2. Mengetahui pengaruh bentuk, jenis dan ukuran elektrode terhadap *partial discharge*.

### **1.4. Sistematika Penulisan**

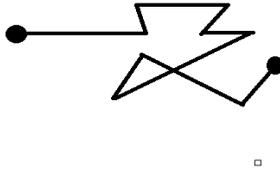
Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima bab yang dibagi menjadi lima bagian yaitu BAB I yang terdiri dari pendahuluan, BAB II yang berisi landasan teori, BAB III mengenai metodologi penelitian mengenai *partial discharge*, BAB IV berisikan hasil pengujian dan analisis, dan terakhir BAB V sebagai penutup. Pada BAB I terdapat berbagai poin yaitu antara lain latar belakang, tujuan, dan sistematika penulisan. Pada BAB II akan dibahas mengenai teori-teori penunjang yang digunakan dalam penulisan Tugas Akhir ini. BAB III akan dijelaskan mengenai metodologi serta alat-alat apa saja yang digunakan dalam pengujian *partial discharge*. Pada BAB IV berisikan pembahasan mengenai data hasil pengujian yang telah dilakukan beserta analisis terhadap besar nilai tegangan dan arus yang dihasilkan suatu elektrode untuk mencapai tegangan pra-peluahan serta dampak kerusakan terhadap material elektrode akibat tegangan pra-peluahan. Untuk BAB V berisi kesimpulan dan saran dari hasil pengujian guna keperluan penelitian mengenai *partial discharge* selanjutnya.

## BAB II

### Kegagalan Elektrik pada Bahan Isolasi Gas

#### 2.1. Karakteristik Dasar Gas

Pembawa muatan dalam gas yang terdiri dari elektron-elektron dan ion-ion sangat berpengaruh terhadap proses kegagalan dalam bahan isolasi gas. Karakteristik pembawa muatan pada gas dipengaruhi oleh pergerakan molekul. Pembawa muatan ini dapat bergerak bebas karena pengaruh dari medan listrik. Pembawa muatan pada gas dapat terbentuk melalui proses ionisasi. Saat terjadinya proses ionisasi, suhu disekitar elektrode akan naik secara bertahap. Kenaikan suhu ini diakibatkan oleh pergerakan termal sebuah molekul dalam gas yang tak beraturan. Pergerakan molekul ini dapat digambarkan seperti pada gambar 2.1



□

**Gambar 2.1** Pergerakan molekul dalam gas

Pada saat proses peluahan dalam gas, pergerakan termal molekul gas bergerak sejauh 1mm dalam  $1\mu s$ , sedangkan elektron bergerak sejauh 100mm. Pada saat terjadi proses benturan terdapat pertukaran energi antar molekul. Proses benturan ini dapat mengakibatkan ionisasi sehingga pembawa muatan (elektron) akan bertambah. Saat energi dan kecepatan pembawa muatan melampaui suatu batas nilai tertentu maka proses kegagalan pada isolasi gas akan terjadi [1]. Saat terjadi benturan, partikel elektron dan ion akan menyerap energi dari medan listrik. Benturan antara molekul dengan partikel netral akan meningkatkan kecepatan pembawa muatan pada gas dan ketika kondisi tersebut terus berlangsung, maka kecepatan pembawa muatan akan terhenti pada batas nilai tertentu. Sebelum berbenturan dengan partikel lain, partikel pada gas bergerak sepanjang jalur bebas  $\lambda$ . Jalur bebas ini disebut dengan jalur bebas rata-

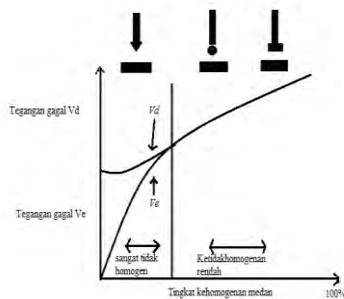
rata ( $\lambda m$ ). Jalur bebas rata-rata ini sangat berpengaruh terhadap proses peluahan gas. Pada benturan tingkat lanjut, partikel akan mentransfer sebagian energinya kepada partikel lain. Setelah beberapa kali proses benturan, ion akan mencapai kecepatan akhir. Ion akan berhenti bergerak karena transfer energi ion ke partikel netral yang terlalu besar selama berbenturan. Pergerakan untuk beberapa ion dengan jenis gas yang berbeda dapat dilihat pada tabel 2.1

**Tabel 2.1** Pergerakan ion positif dan ion negatif pada tekanan 1 bar dan temperatur 20<sup>0</sup>C dalam kuat medan yang sangat kecil.

Jenis gas	$b^+ cm^2/Vs$	$b^- cm^2/Vs$
$H_2$	6.7	7.9
$N_2$	1.6	-
$O_2$	1.4	1.8
$CO_2$	1.1	1.3
$SF_6$	0.8	0.8

## 2.2 Kegagalan pada Medan Tak-Seragam

Pada medan yang seragam atau medan yang memiliki nilai ketidakseragaman lemah, kegagalan streamer terjadi tanpa didahului oleh proses pra-peluahan (*voltage inception*). Pra-peluahan dan korona akan terbentuk pada tingkat ketidakseragaman medan yang lebih tinggi [5] seperti yang terlihat pada gambar 2.2



**Gambar 2.2** Tegangan gagal dan tegangan mula pra-kegagalan tergantung pada tingkat kehomogenan

Proses pra-peluahan akan berkembang menjadi peluahan apabila nilai tegangan dinaikkan. Terjadinya kegagalan diakibatkan oleh adanya Streamer dan Leader. Muatan ruang terbentuk melalui proses pra-peluahan yang biasanya terjadi pada elektrode yang runcing. Elektrode yang memiliki ujung yang runcing sangat berpengaruh terhadap proses pra-peluahan. Pengaruh tersebut biasa disebut dengan efek polaritas. Efek polaritas terbentuk akibat adanya perbedaan pergerakan elektron dan ion, interaksi antara medan muatan ruang, pembentukan muatan ruang dan perbedaan pembentukan peluahan. Seiring dengan peningkatan nilai tegangan, peluahan yang akan terjadi pada elektrode yang memiliki tingkat ketidakhomogenan tinggi adalah sebagai berikut :

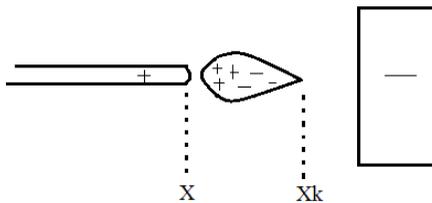
- Korona
- Streamer
- Leader
- Kegagalan

### **2.2.1 Korona**

Korona merupakan sebuah fenomena yang sering terjadi pada peralatan tegangan tinggi. Penyebab timbulnya korona adalah medan yang memiliki tingkat ketidakteraturan tinggi. Pada karakteristik arus-tegangan korona merupakan glow pada tekanan yang tinggi. Keberadaan korona pada sistem transmisi tegangan tinggi sangat merugikan, karena korona menyebabkan rugi-rugi daya serta kekuatan bahan isolasi akan mengalami penurunan akibat tumbukan bertubi-tubi pada bahan isolasi dan reaksi kimia yang terbentuk akibat korona. Korona memiliki frekuensi yang tinggi sehingga tidak jarang korona dapat mengganggu sistem telekomunikasi radio. Disisi lain korona juga memiliki beberapa manfaat dalam dunia industri. Beberapa aplikasi industri memanfaatkan fenomena korona ini seperti elektro filter (electrical precipitator) maupun pengecatan elektrostatis (electrostatic painting). Bentuk fisik suatu korona dipengaruhi oleh polaritas tegangan. Antara korona dengan tegangan AC maupun DC tidak terdapat perbedaan yang mencolok. Pada tegangan positif, korona timbul dalam bentuk lapisan putih kebiruan pada keseluruhan permukaan kawat penghantar atau elektrode. Pada tegangan negatif, korona timbul dalam bentuk spot-spot glow kemerahan yang tersebar pada kawat konduktor.

### 2.2.1.1 Jarum positif-Plat (Korona positif)

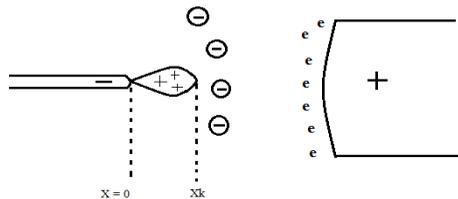
Luruhan pada jarum positif-Plat terbentuk akibat dari adanya elektron mula yang berada didepan jarum sehingga membentuk muatan ruang positif pada medan. Jika muatan ruang positif ini cukup besar, maka kuat medan akan menurun dan peluahan akan terhenti. Proses ini akan kembali terjadi pada saat medan elektostatik kembali terbentuk dan ion telah bergerak menuju elektrode. Namun, kuat medan pada ruang gas ke arah katode semakin kuat sehingga ujung elektrode seolah-olah tampak bergeser dan selanjutnya akan terjadi kegagalan. Jarak sela dalam kasus ini sangat berpengaruh, karena apabila jarak sela semakin besar, maka proses kegagalan akan semakin cepat terjadi. Meningkatnya jarak sela menyebabkan distribusi medan akan semakin tidak seragam dan saat nilai tegangan ditingkatkan, maka akan timbul filament bercabang. Bentuk peluahan ini disebut dengan Streamer. Pada saat dalam keadaan *steady state*, streamer akan berkembang dalam berbagai bentuk frekuensi dan memberikan peningkatan arus yang sebanding dengan panjang fisik streamer. Streamer ini sering disebut dengan *streamer onset* atau *burst pulse*. Peluahan akan bertahan dengan sendirinya (*self sustained*) apabila nilai tegangan dinaikkan. Jika keadaan ini berlangsung secara terus menerus, maka akan muncul *glow* disekitar anode. Pendar yang muncul ini akan meningkatkan nilai arus secara bertahap namun bersifat fluktuatif. Arus yang terus meningkat ini akan menimbulkan streamer baru dan akan mengakibatkan terjadinya kegagalan. Proses korona positif dapat dilihat pada gambar 2.3



**Gambar 2.3** Proses Jarum positif-Plat

### 2.2.1.2 Jarum negatif-Plat (Korona negatif)

Metode jarum negatif-Plat merupakan metode yang sangat baik untuk digunakan dalam melakukan pengamatan mekanisme fisik suatu korona[1]. Sedangkan tegangan impuls merupakan tegangan yang sangat baik dalam melakukan pengamatan korona, karena tegangan impuls akan menghilangkan pengaruh dari muatan ruang yang akan mempengaruhi keadaan medan sela. Secara visual, metode jarum negatif-Plat dapat digambarkan pada gambar 2.4. Pada mekanisme korona negatif, variasi ketidakhomogenan suatu medan diperoleh dengan cara memvariasikan jari-jari elektrode jarum. Dalam hal ini elektron mula akan terbentuk tepat di depan jarum melalui proses emisi elektrode jarum. Pengaruh peluahan terhadap elektrode jarum adalah terkikisnya ujung-ujung dari elektrode jarum sebagai imbas dari adanya peluahan yang terjadi secara konstan.

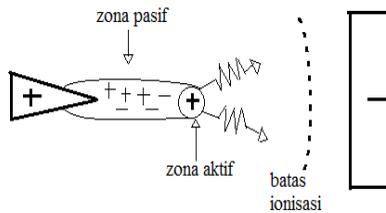


**Gambar 2.4** Proses jarum-Plat negatif negatif.

Dari gambar diatas terlihat bahwa elektron mula terbentuk didepan elektrode jarum. Jika kepala luruhan melewati batas kritis  $x_k$ , maka kuat medan akan terlalu lemah sehingga perkembangan anak luruhan akan terhenti. Terhentinya perkembangan anak luruhan serta melemahnya kuat medan didepan elektrode jarum diakibatkan oleh adanya awan ion negatif. Luruhan baru akan terbentuk melalui proses emisi elektron sekunder. Elektron yang telah terbentuk akan terdorong ke luar daerah medan yang tinggi ( $x > x_k$ ) dan menjadi ion negatif yang relatif statis[1]. Muatan ruang negatif akan bergerak lambat menuju ke anode hingga pada akhirnya peluahan akan terbentuk kembali.

### 2.2.2 Peluahan Streamer

Mekanisme peluahan streamer dapat dijelaskan sebagai berikut. Didepan katode terdapat sebuah elektron mula yang akan menyebabkan terbentuknya luruhan. Luruhan baru dapat terbentuk jika kekuatan medan meningkat sehingga  $E > E_0$ . Pada medan yang ketakseragaman rendah atau tegangan yang lebih besar, luruhan mencapai jumlah pembawa muatan yang besar ( $N > 10^8$ ) sehingga terjadi peningkatan medan di daerah tersebut yang mengakibatkan terbentuknya anak luruhan di depan dan di belakang kepala luruhan. Elektron akan terserap menuju anode, sementara ion positif tetap berada pada ruang medan. Kuat medan pada daerah pasif tergantung polaritas tegangan[1]. Dalam berbagai percobaan yang sudah dilakukan, medan dasar minimum pada udara untuk streamer positif sebesar 4 kV/cm dan untuk streamer negatif sebesar 15 kV/cm. Peluahan streamer akan terhenti apabila medan dasar dan medan muatan ruang tidak lagi mencukupi untuk penyebaran luruhan elektron. Mekanisme streamer dapat dilihat pada gambar 2.5

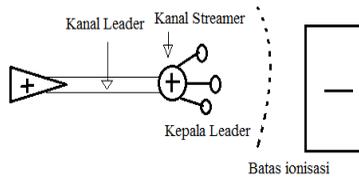


**Gambar 2.5** Mekanisme streamer.

### 2.2.3 Peluahan Leader

Leader terdiri dari Kanal leader, Kepala Leader, dan Korona Leader. Peluahan Leader biasanya terjadi pada jarak sela elektrode yang besar. Terjadinya leader selalu memerlukan kerapatan arus pada kaki leader yang menyebabkan meningkatnya suhu. Meningkatnya suhu ini menyebabkan penurunan kerapatan gas sehingga menimbulkan peningkatan energi elektron dan frekuensi ionisasi benturan[1]. Terdapat kerapatan arus yang relatif tinggi pada kanal leader dengan diameter tertentu sehingga menyebabkan terjadinya ionisasi termal. Besar nilai

tegangan kegagalan pada polaritas positif lebih rendah daripada polaritas negatif. Mekanisme peluahan leader dapat dilihat pada gambar 2.6

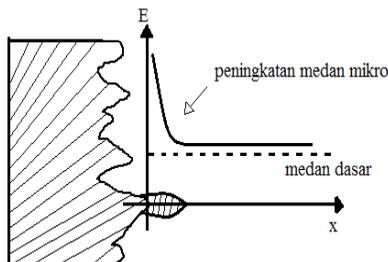


**gambar 2.6** Mekanisme leader.

Kanal leader memiliki nilai-nilai tipikal dengan panjang beberapa meter di udara yaitu  $i_L \approx 0,6 - 1$  A,  $E_L \approx 1,5$  kV/cm,  $d_L < 3$ mm,  $T_G \approx 5000^0$  C.

### 2.2.4 Pengaruh Kekasaran Elektrode pada Kegagalan

Dari berbagai analisa yang sudah dilakukan, pengaruh dari kekasaran elektrode tidak dapat dihindarkan terhadap proses kegagalan. Akibat dari kekasaran elektrode menyebabkan peningkatan medan pada permukaan elektrode. Pada permukaan elektrode yang sudah dipoles tingkat kekasaran masih mencapai  $3\mu m$  sampai dengan  $6\mu m$ [1]. Gambar 2.7 memperlihatkan peningkatan medan karena kekasaran elektrode.



**Gambar 2.7** Peningkatan medan karena kekasaran elektrode

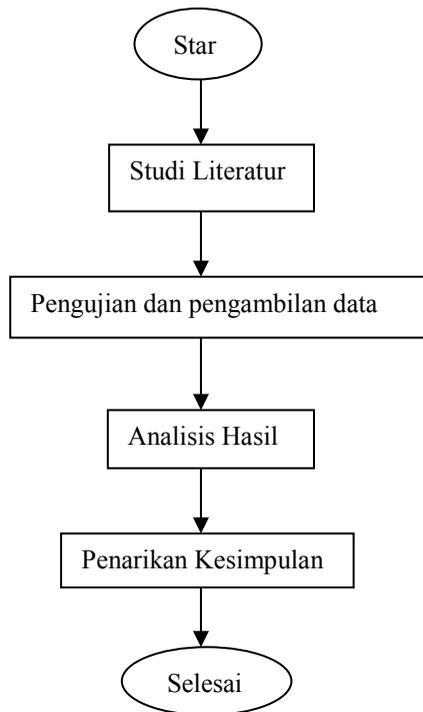
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN MENGENAI *PARTIAL DISCHARGE*

### 3.1. Metode Studi

Pada penulisan tugasakhirini, studi terhadap *partial discharge* akan dilaksanakan dengan metodologi seperti pada gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3.1** Diagram alir metodologi

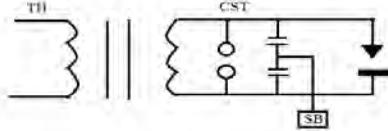
Seperti yang terlihat pada gambar diagram alir diatas, penulisan Tugas Akhir ini akan dimulai dengan melakukan studi literatur. Studi literatur yang dilakukan bertujuan untuk menambah pengetahuan dan

wawasan mengenai fenomena *partial discharge*. Adapun proses studi literatur diambil berdasarkan jurnal-jurnal keilmiah internasional dan buku mengenai *partial discharge*. Setelah melakukan studi literatur tahap selanjutnya dari penulisan Tugas Akhir ini adalah menentukan desain penelitian. Pada tahap ini akan dilakukan perancangan percobaan mengenai *partial discharge* sesuai dengan permasalahan yang ingin dipecahkan. Tujuan awal dari pemilihan judul tugas Akhir ini adalah mengetahui pengaruh dari bentuk, ukuran, dan material elektrode terhadap *partial discharge* dengan menggunakan sumber tegangan DC positif dan DC negatif. Setelah tahap menentukan desain penelitian, tahap selanjutnya dari penulisan Tugas Akhir ini adalah melakukan pengujian *partial discharge*. Berdasarkan penelitian *partial discharge* yang telah dilakukan oleh universitas di India dengan menggunakan elektrode besi berukuran sama dan dalam bentuk lempengan, maka elektrode yang digunakan pada pengujian pada Tugas Akhir ini disesuaikan dengan tujuan awal penulisan. Material elektrode yang digunakan pada pengujian Tugas Akhir ini terbuat dari aluminium, kuningan, dan stainless steel dengan ukuran dan bentuk yang dibuat berbeda. Bentuk elektrode terdiri dari bidang datar, jarum, dan silinder. Setelah dilakukan pengujian, maka tahap selanjutnya adalah analisis dari data hasil pengujian. Pada tahap ini data-data yang didapat akan dianalisis berdasarkan dasar teori penunjang agar didapatkan suatu kesimpulan dari penulisan Tugas Akhir ini. Kesimpulan yang didapat diharapkan mampu memecahkan permasalahan dan dapat digunakan sebagai referensi terhadap penelitian mengenai *partial discharge* selanjutnya. Pembuatan laporan dilakukan setelah semua proses analisis dan penarikan kesimpulan selesai dilakukan.

### **3.2. PERSIAPAN PENGUJIAN**

Penulisan Tugas Akhir ini menggunakan beberapa peralatan listrik serta elektrode-elektrode yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian *partial discharge*. Elektrode-elektrode yang digunakan antara lain elektrode datar, elektrode jarum, dan elektrode tumpul yang terdiri dari bahan jenis kuningan, baja, serta aluminium. Elektrode-elektrode tersebut dalam pengujian nantinya akan dikombinasikan guna melihat pengaruh ketidakteraturan medan terhadap *partial discharge*. Pada pengujian Tugas Akhir ini elektrode jarum dibagi menjadi dua ukuran yaitu elektrode berdiameter 1 mm dan 1,1 mm. Pengujian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini menggunakan pembangkitan tegangan

tinggi rangkaian AC. Dibawah ini akan ditampilkan rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC



**Gambar 3.2** Rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC

Dari rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC diatas terdapat beberapa komponen antara lain TH, CST, dan SB. Berikut dibawah ini akan dijelaskan masing-masing komponen tersebut :

- 1.TH : *High Voltage Transformer*, 80 kV rms, 5 kVA
2. CST : *Divider* 80 kV rms, 400 kV impulse, 500 pF, respon time $10^0$ .
3. SB : *Contol Box Type 273*

Hal yang pertama kali dilakukan dalam pengujian ini adalah membuat rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC seperti pada gambar 4.1. Setelah rangkaian pengujian telah dipasang maka tahap selanjutnya adalah memasang elektrode yang akan diuji. Elektrode yang diuji meliputi elektrode jarum, elektrode datar, dan elektrode silinder tumpul dengan bahan jenis yang terbuat dari kuningan, baja, dan aluminium. Selanjutnya mulai lakukan pengujian dengan mengatur *test method* dari *control box* pada posisi AC. Jangan lupa tempatkan transformator pengatur tegangan pada kedudukan 0%. Pada bagian lain tempatkan *master switch* di bagian belakang pada kedudukan I. Langkah selanjutnya adalah putar saklar kunci kontak hingga tombol cendawan terangkat sedikit dan tarik kuncinya setelah itu. Tekan tombol warna hijau pada kiri bawah panel *control box*. Untuk mengatur tegangan yang diinginkan dapat dilakukan pada kVmeter. Bila sampai terdengar suara mendesis yang berarti telah muncul tegangan pra-peluahan maka catat nilai tegangan pra-peluahan dan arus yang muncul menggunakan *clamp* arus yang dikaitkan pada sisi *grounding*. Tekan tombol berpendar merah yang ada pada bagian bawah panel depan untuk melakukan pemadaman instalasi.



**Gambar 3.3** Control Box yang digunakan dalam pengujian.

Control box yang digunakan dalam pengujian ini merupakan control box analog dengan nilai tegangan maksimal yang terukur sebesar 100 kV. Sedangkan nilai arus maksimal yang dapat dilihat pada control box ini adalah sebesar 40 A. Control box ini dapat dioperasikan secara AC maupun DC serta polaritasnya dapat diubah menjadi positif atau negatif.



**Gambar 3.4** Clamp arus yang digunakan dalam pengujian.

Clamp arus yang digunakan dalam pengujian ini merupakan clamp arus digital dengan range ukurnya mA – 200 A. Cara penggunaan clamp arus ini dengan cara dikaitkan pada sisi grounding rangkaian pengujian. Clamp arus ini dapat merasakan arus ketika ada arus yang melewati kabel grounding. Seperti yang sudah dijabarkan diatas bahwa pengujian Tugas Akhir ini menggunakan elektrode jarum, elektrode

datar, dan elektrode tumpul yang terdiri dari bahan jenis kuningan, baja, dan aluminium. Pada tahap ini penulis melakukan studi dan penambahan wawasan mengenai fenomena *partial discharge*. Studi yang dilakukan penulis meliputi penyebab dan faktor apa saja yang dapat menyebabkan *partial discharge*. Sumber referensi literatur yang digunakan oleh penulis meliputi jurnal keilmiah dan buku yang dirilis dalam skala nasional maupun internasional. Diharapkan dari proses studi literatur ini akan memunculkan gagasan dan gambaran awal mengenai fenomena *partial discharge* yang selanjutnya dapat diaplikasikan dalam proses pengambilan data. Sumber literatur yang sudah dipelajari juga dapat digunakan dalam pengambilan kesimpulan dari data yang didapat pada proses pengujian.

### **3.3. PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA**

Pada tahap pengujian dan pengambilan data, metode pengujian yang dilakukan oleh penulis berdasarkan pada tujuan awal dari penulisan tugas akhir ini. Elektrode yang digunakan pada pengujian kali ini terdiri dari tiga bentuk yaitu datar, jarum, dan silinder tumpul. Untuk materi bahan dari elektrode terdiri atas aluminium, baja, dan kuningan. Selain bentuk dan materi bahan yang dibuat berbeda, ukuran dari masing-masing elektrode dibuat tidak sama. Ukuran elektrode untuk masing-masing jenis materi bahan dibagi menjadi dua yaitu kecil dan besar. Untuk elektrode berukuran kecil mempunyai diameter sebesar 1 mm, sedangkan untuk elektrode berukuran besar mempunyai diameter sebesar 3 cm. Dari studi literatur didapatkan suatu teori yang mengatakan bahwa fenomena *partial discharge* dapat terjadi pada medan yang memiliki tingkat ketidakhomogenan yang tinggi. Dari teori tersebutlah maka penulis melakukan pengujian *partial discharge* dengan cara mengkombinasikan elektrode-elektrode yang bentuknya saling berbeda. Kombinasi pertama adalah antara elektrode datar dengan elektrode jarum. Kombinasi kedua adalah antara elektrode datar dengan silinder tumpul. Kombinasi ketiga adalah elektrode jarum dengan silinder tumpul. Parameter data yang diambil pada pengujian tugas akhir ini adalah berapa besar nilai tegangan dan arus suatu kombinasi elektrode pada proses pra-peluhan. Untuk besar tegangan akan muncul pada *control box* pada ruang operator, sedangkan untuk mendapatkan nilai arus menggunakan clamp arus yang dikaitkan pada sisi grounding. Berikut dibawah ini akan ditampilkan beberapa gambar proses pengujian.



**Gambar 3.5** Pengujian Kombinasi Elektrode Jarum dan Elektrode Datar

Gambar diatas adalah salah satu proses pengujian dengan menggunakan kombinasi elektrode jarum dan datar. Kabel merah merupakan media penyalur daya sedangkan kabel kuning merupakan grounding. Setelah saklar kunci diputar dan tombol hijau ditekan maka tunggu proses hingga muncul suara mendesis yang menandakan timbulnya tegangan pra-peluahan.



**Gambar 3.6** Pengujian Kombinasi Elektrode Jarum dan Tumpul.

Gambar diatas adalah salah satu proses pengujian dengan menggunakan kombinasi elektrode jarum dan elektrode silinder tumpul berbahan jenis baja. Proses pengujian yang dilakukan sama seperti pada pengujian pada elektrode berbahan jenis kuningan yaitu menunggu hingga timbul tegangan pra-peluahan.



**Gambar 3.7** Pengujian Kombinasi Elektrode Tumpul dan Datar.

Gambar diatas merupakan salah satu proses pengujian dengan menggunakan elektrode silinder tumpul dan datar berbahan jenis aluminium. Proses pengambilan data sama seperti pada pengujian pada elektrode berbahan jenis kuningan dan baja. Setelah tercapai tegangan pra-peluahan maka catat nilai tegangan dan arus yang keluar. Data yang didapat pada proses pengujian antara lain besar nilai tegangan dan arus. Setelah semua data pengujian telah lengkap maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengambilan foto SEM. SEM merupakan kepanjangan dari Scanning Electron Microscopy. SEM adalah suatu teknologi yang dapat menampilkan keadaan permukaan suatu benda hingga mencapai perbesaran 1000X. Pada sebuah mikroskop elektron (SEM) terdapat beberapa peralatan utama antara lain:

1. Pistol elektron, biasanya berupa filamen yang terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron misal tungsten.
2. Lensa untuk elektron, berupa lensa magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
3. Sistem vakum, karena elektron sangat kecil dan ringan maka jika ada molekul udara yang lain elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting. Berikut dibawah ini merupakan gambar dari SEM yang berada di Teknik Material dan Metalurgi ITS



**Gambar 3.8** Peralatan SEM

Elektrode yang akan difoto SEM adalah elektrode jarum berbahan jenis kuningan, baja, dan aluminium dengan ukuran diameter 1 mm. Pemilihan elektrode jarum dalam proses foto SEM dikarenakan pada pada ujung elektrode jarum dapat dilihat seberapa besar pengikisannya akibat pemberian tegangan pra-peluahan.

#### **3.4. Analisis Hasil**

Analisis hasil yang dilakukan antara lain meliputi pengaruh hubungan antara jenis materi penyusun bahan dan bentuk elektrode terhadap *partial discharge*, pengaruh dari kombinasi masing-masing elektrode, pengaruh ukuran elektrode serta akan dilakukan analisis keretakan pada elektrode yang sudah diberi sumber tegangan menggunakan SEM. Setelah melalui tahap analisis hasil maka dapat ditarik suatu kesimpulan dari pengujian yang telah dilakukan. Kesimpulan yang didapat berdasarkan pada hasil data dan teori-teori penunjang. Kesimpulan yang didapat diharapkan mampu memecahkan permasalahan dan dapat digunakan sebagai referensi terhadap penelitian mengenai *partial discharge* selanjutnya. Pembuatan laporan dilakukan setelah semua proses analisis dan penarikan kesimpulan selesai dilakukan.

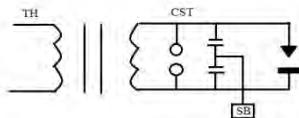
## BAB IV

### HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

#### 4.1. Persiapan Pengujian dan Metode

Pada bab ini akan dibahas mengenai persiapan, simulasi pengujian, hasil serta analisis *partial discharge*. Analisis dilakukan dengan pembahasan per jenis bahan dengan melihat data yang sudah ada serta merujuk pada teori-teori yang bersangkutan. Data tersebut didapatkan setelah serangkaian pengujian yang sudah dilakukan. Pada bab ini juga akan ditampilkan hasil foto bagian dalam dari ujung elektrode jarum dari masing-masing jenis bahan dengan ukuran diameter 1 mm. Adapun pengambilan foto yang dilakukan menggunakan teknologi SEM yang berada pada laboratorium Teknik Material dan Metalurgi ITS. Foto yang ditampilkan nantinya akan dibagi menjadi elektrode jarum sebelum diberi tegangan dan elektrode jarum sesudah diberi tegangan.

Sebelum melakukan analisis maka akan ditampilkan terlebih dahulu proses pengujian yang telah dilakukan. Pengujian yang dilakukan menggunakan rangkaian AC. Pengujian yang dilakukan meliputi pengaruh bahan jenis, bentuk, dan ukuran elektrode terhadap *partial discharge*. Jenis bahan yang digunakan dalam pengujian tugas akhir ini adalah kuningan, baja, dan aluminium. Untuk bentuk elektrode yang digunakan pada pengerjaan tugas akhir ini antara lain dataran/lempengan, jarum, dan silinder tumpul. Sedangkan untuk ukuran elektrode jarum dibagi menjadi dua yaitu elektrode berukuran 1 mm dan 1,1 mm. Berikut dibawah ini dapat dilihat foto rangkaian AC dan bagian-bagiannya serta gambar pemodelan pengujian untuk mendapatkan data nilai tegangan pra-peluhan dan besar arus nya.



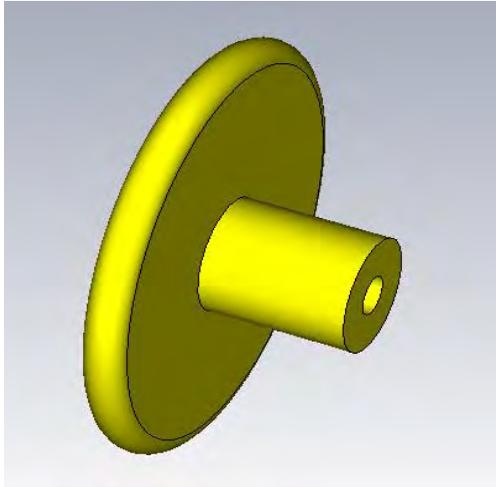
**Gambar 4.1** Rangkaian Pengujian AC

Dari rangkaian pengujian AC diatas terdapat beberapa komponen antara lain TH, CST, dan SB. Berikut dibawah ini akan dijelaskan masing-masing komponen tersebut :

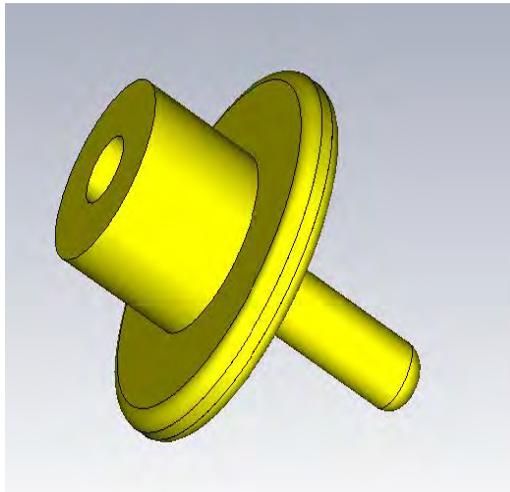
1. TH : *High Voltage Transformer*, 80 kV rms, 5 kVA
2. CST : *Divider* 80 kV rms, 400 kV *impulse*, 500 PF, *respon time*10<sup>0</sup>
3. SB : *Control Box Type 273*

Hal yang pertama kali dilakukan dalam pengujian ini adalah membuat rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC seperti pada gambar 4.1. Setelah rangkaian pengujian telah dipasang maka tahap selanjutnya adalah memasang elektrode yang akan diuji. Elektrode yang diuji meliputi elektrode jarum, elektrode datar, dan elektrode silinder tumpul dengan bahan jenis yang terbuat dari kuningan, baja, dan aluminium. Selanjutnya mulai lakukan pengujian dengan mengatur *test method* dari *control box* pada posisi AC. Jangan lupa tempatkan transformator pengatur tegangan pada kedudukan 0%. Pada bagian lain tempatkan *master switch* di bagian belakang pada kedudukan I. Langkah selanjutnya adalah putar saklar kunci kontak hingga tombol cendawan terangkat sedikit dan tarik kuncinya setelah itu. Tekan tombol warna hijau pada kiri bawah panel *control box*. Untuk mengatur tegangan yang diinginkan dapat dilakukan pada kVmeter. Bila sampai terdengar suara mendesis yang berarti telah muncul tegangan pra-peluahan maka catat nilai tegangan pra-peluahan dan arus yang muncul menggunakan *clamp* arus yang dikaitkan pada sisi *grounding*. Tekan tombol berpendar merah yang ada pada bagian bawah panel depan untuk melakukan pemadaman seluruh instalasi. Setelah serangkaian pengujian yang sudah dilakukan dan data yang dibutuhkan sudah lengkap, maka tahap selanjutnya adalah analisis hasil. Analisis hasil yang dilakukan berdasarkan teori-teori penunjang yang ada pada literatur-literatur yang terkait. Adapun literatur yang digunakan merupakan gabungan dari beberapa buku dan jurnal ilmiah baik yang diterbitkan di dalam negeri maupun internasional. Pada sub bab dibawah ini akan dibahas analisis hasil dari data yang sudah didapatkan.

Dibawah ini akan ditampilkan gambar elektrode datar dan elektrode silinder tumpul dalam bentuk 3 dimensi. Penggambaran ilustrasi dari elektrode datar dan elektrode silinder tumpul dalam bentuk 3 dimensi menggunakan software CST.



**Gambar 4.2** Ilustrasi Bentuk 3D Elektrode Datar



**Gambar 4.3** Ilustrasi Bentuk 3D Elektrode Silinder Tumpul

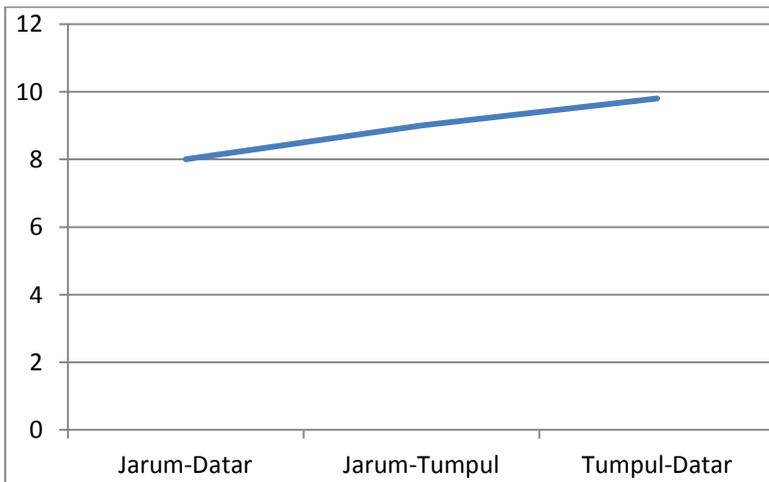
## 4.2. Hasil Pengambilan Data

**Tabel 4.1** Data Pengujian

Jenis	Kombinasi Elektrode	Diameter elektrode jarum 1 mm		Diameter elektrode jarum 1,1 mm	
		Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
Kuningan	Jarum-Datar	8 kV	0,20 mA	9 kV	0,21 mA
	Jarum-Tumpul	9 kV	0,22 mA	9,8 kV	0,23 mA
	Tumpul-Datar	9,8 kV	1,99 mA	14 kV	0,29 mA
Baja	Jarum-Datar	8 kV	0,19 mA	8,2 kV	0,20 mA
	Jarum-Tumpul	9,6 kV	0,22 mA	10 kV	0,22 mA
	Tumpul-Datar	14 kV	0,37 mA	14 kV	0,40 mA
Aluminium	Jarum-Datar	8,6 kV	0,22 mA	9 kV	0,22 mA
	Jarum-Tumpul	9,8 kV	0,23 mA	9,9 kV	0,23 mA
	Tumpul-Datar	11,9 kV	0,30 mA	13 kV	0,26 mA

Data diatas merupakan data hasil pengujian yang sudah dilakukan di laboratorium tegangan tinggi. Analisis yang dilakukan akan dibahas per jenis bahan elektrode. Untuk analisis yang dilakukan pertama kali adalah elektrode dengan bahan jenis kuningan. Dari data yang ditampilkan diatas terlihat elektrode jarum berdiameter 1mm maupun 1,1 mm tidak terlalu memiliki perbedaan yang besar pada nilai tegangan

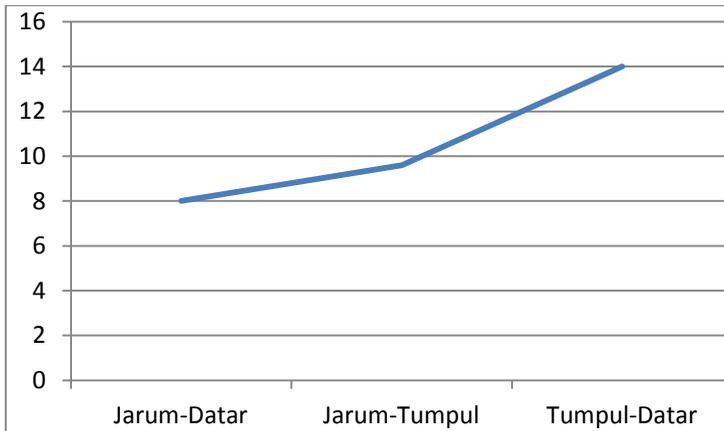
pra-peluhannya. Kombinasi elektrode jarum dan datar menjadi yang paling cepat mencapai tegangan pra-peluhan dengan masing-masing nilai tegangan pra-peluhan sebesar 8 kV dan 9 kV. Faktor yang menyebabkan elektrode jarum dan datar paling cepat mencapai tegangan pra-peluhan karena bentuk dari kedua elektrode yang memiliki tingkat ketidakseragaman medan yang tinggi jika dibandingkan dengan kombinasi elektrode yang lainnya. Pada proses pengujian elektrode jarum diletakkan pada sisi sumber sehingga seolah-olah elektrode jarum menginduksi tegangan pada elektrode datar. Faktor yang mempengaruhi cepat atau lambatnya suatu elektrode mencapai tegangan pra-peluhan adalah tingkat ketidakseragaman dari elektrode itu sendiri. Semakin tinggi tingkat ketidakseragaman suatu elektrode maka semakin cepat elektrode tersebut mencapai tegangan pra-peluhan, sebaliknya semakin rendah tingkat ketidakseragaman maka semakin lama elektrode tersebut mencapai tegangan pra-peluhan. Berikut dibawah ini merupakan gambar grafik yang menunjukkan hasil pengujian pada elektrode jarum kuningan 1 mm.



**Gambar 4.4** Grafik hasil data elektrode jarum kuningan 1 mm

Selanjutnya untuk elektrode dengan material yang terbuat dari baja dengan elektrode jarum berdiameter 1 mm terlihat yang paling cepat mencapai nilai tegangan pra-peluhan adalah kombinasi elektrode jarum dan datar dengan nilai tegangan pra-peluhan sebesar 8 kV dan arus

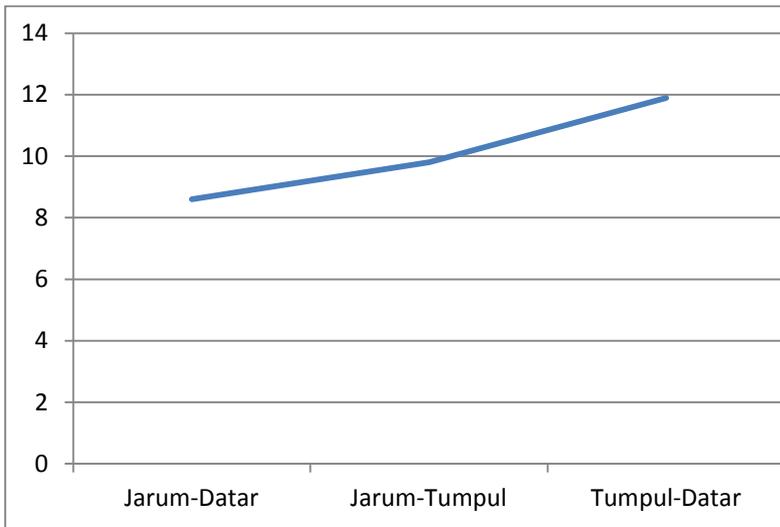
sebesar 0,19 mA. Diikuti oleh elektrode jarum dan silinder tumpul dengan nilai tegangan pra-peluahan 9,6 kV dan nilai arus 0,22 mA. Untuk elektrode yang paling lama mencapai nilai tegangan pra-peluahan adalah elektrode silinder tumpul dan datar dengan nilai tegangan pra-peluahan 14 kV dan nilai arus 0,37 mA. Sedangkan untuk elektrode jarum berdiameter 1,1 mm kombinasi elektrode yang paling cepat mencapai tegangan pra-peluahan adalah elektrode jarum dan datar dengan nilai tegangan pra-peluahan sebesar 8,2 kV dan nilai arus sebesar 0,20 mA. Jika dilihat berdasarkan data diatas maka terlihat tidak ada perbedaan nilai tegangan pra-peluahan yang besar diantara elektrode jarum berdiameter 1 mm dan 1,1 mm. Faktor yang mempengaruhi elektrode jarum dan datar lebih cepat mencapai nilai tegangan pra-peluahan adalah karena kedua elektrode memiliki tingkat ketidakteraturan medan yang lebih tinggi daripada kombinasi elektrode yang lain. Hal itu bertolak belakang dengan elektrode silinder tumpul dan datar yang membutuhkan waktu paling lama mencapai tegangan pra-peluahan. Hal tersebut disebabkan bentuk dari elektrode tumpul dan datar yang memiliki tingkat ketidakteraturan medan yang rendah jika dibandingkan dengan kombinasi elektrode yang lainnya. Berikut dibawah ini adalah grafik hasil data pada elektrode jarum berbahan jenis baja 1 mm.



**Gambar 4.5** Grafik hasil data elektrode jarum baja 1 mm

Untuk elektrode berbahan jenis aluminium dengan elektrode jarum berdiameter 1 mm yang paling cepat mencapai tegangan pra-peluahan

adalah elektrode jarum dan datar dengan nilai tegangan pra-peluahan sebesar 8,6 kV dan nilai arus 0,22 mA. Selanjutnya elektrode jarum dan silinder tumpul dengan nilai tegangan pra-peluahan sebesar 9,8 kV dan nilai arus 0,23 mA. Elektrode yang paling lama mencapai tegangan pra-peluahan adalah elektrode silinder tumpul dan datar dengan nilai tegangan pra-peluahan 11,9 kV dan nilai arus 0,30 mA. Untuk elektrode jarum berdiameter 1,1 mm tidak terdapat perbedaan yang besar pada nilai tegangan pra-peluhannya jika dibandingkan dengan data elektrode jarum berdiameter 1 mm. Pada elektrode jarum berdiameter 1,1 mm kombinasi yang paling cepat mencapai tegangan pra-peluahan adalah elektrode jarum dan datar dengan nilai tegangan pra-peluahan sebesar 9 kV dan nilai arus sebesar 0,22 mA dan yang paling lama mencapai tegangan pra-peluahan adalah elektrode silinder tumpul dan datar dengan nilai tegangan pra-peluahan sebesar 13 kV dan nilai arus 0,26 mA. Berikut dibawah ini adalah grafik yang menunjukkan hasil data pengujian pada elektrode jarum berbahan jenis aluminium 1 mm.



**Gambar 4.6** Grafik hasil data elektrode jarum aluminium 1 mm

Berdasarkan data diatas faktor yang menyebabkan elektrode jarum dan datar menjadi kombinasi elektrode yang tercepat mencapai tegangan pra-peluahan adalah tingkat ketidakteraturan medan yang tinggi. Hal itu sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin tinggi tingkat

ketidakseragaman suatu medan, maka semakin cepat pula medan tersebut mencapai keadaan tegangan pra-peluahan. Berdasarkan data diatas maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar ujung permukaan (tip) elektrode jarum maka semakin besar pula nilai tegangan pra-peluhannya. Hal itu berlaku untuk semua jenis bahan. Jika dilihat berdasarkan data hasil diatas maka jenis bahan baik elektrode jarum berdiameter 1 mm dan 1,1 mm tidak ada selisih yang besar pada nilai tegangan pra-peluhannya. Hal itu dikarenakan pada tegangan pra-peluahan, jenis bahan suatu materi tidak banyak berpengaruh. Jenis bahan suatu materi akan berpengaruh sangat besar pada pengujian korona.

### 4.3. Pengambilan Foto SEM

Dibawah ini akan ditampilkan foto hasil pengambilan objek menggunakan teknologi SEM yang telah dilakukan di laboratorium Material dan Metalurgi ITS. Adapun pengambilan foto SEM bertujuan untuk mengetahui dampak pemberian tegangan pra-peluahan pada ujung permukaan elektrode jarum kuningan, elektrode jarum baja, dan elektrode jarum aluminium berdiameter 1 mm. Berikut dibawah ini akan ditampilkan elektrode-elektrode jarum berdiameter 1 mm yang akan difoto menggunakan SEM.



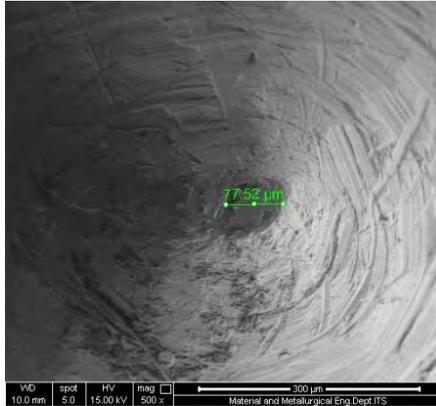
**Gambar 4.7** Elektrode jarum diameter 1 mm baja



**Gambar 4.8** Elektrode jarum diameter 1 mm aluminium

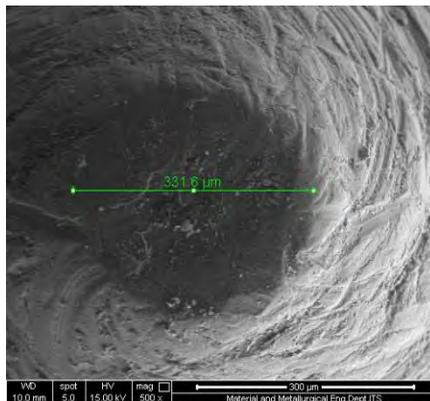


**Gambar 4.9** Elektrode jarum diameter 1mm kuningan



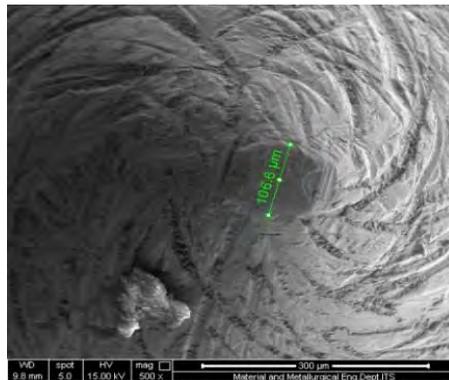
**Gambar 4.10** Permukaan elektrode kuningan sebelum diberi tegangan pra-peluahan

Pada gambar diatas terlihat ujung elektrode kuningan bentuk jarum berukuran 1mm sebelum diberi tegangan pra-peluahan tidak terlalu mengalami pengikisan yang besar. Hal itu disebabkan karena kerapatan dari ujung permukaan kuningan masih bagus. Gambar diatas diambil menggunakan perbesaran sebesar 500 kali.



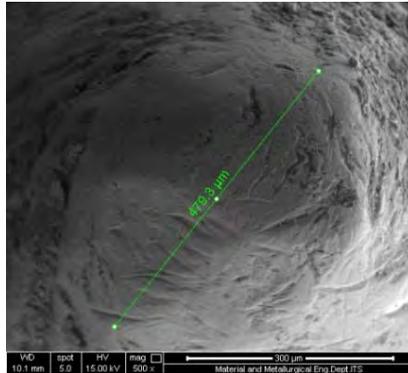
**Gambar 4.11** Permukaan elektrode kuningan sesudah diberi tegangan pra-peluahan

Gambar diatas merupakan elektrode kuningan bentuk jarum berukuran 1 mm sesudah diberi tegangan pra-peluahan. Terlihat pada gambar ujung elektrode mengalami pengikisan sehingga nampak ujung elektrode mengalami pelebaran jika dibandingkan dengan gambar sebelumnya. Hal itu disebabkan karena kerapatan ujung elektrode tersebut telah terkikis sebagai akibat dari pemberian nilai tegangan pra-peluahan. Apabila elektrode tersebut diberi nilai tegangan pra-peluahan secara terus menerus hingga mencapai tegangan tembus, maka ujung dari elektrode tersebut akan semakin melebar. Pada gambar elektrode kuningan sebelum diberi tegangan pra-peluahan nampak permukaan elektrode mengalami kerusakan kecil. Hal itu diperkirakan karena adanya faktor gesekan antara elektrode dengan mesin bubut selama proses pembuatan. Perlu diketahui pada permukaan elektrode yang sudah dipoles tingkat kekasaran masih mencapai  $3\mu\text{m}$  sampai dengan  $6\mu\text{m}$ . Dengan kata lain tidak mungkin mungkin permukaan elektrode tidak terdapat keretakan kecil. Berikutnya dibawah ini akan dibahas gambar elektrode baja sebelum dan sesudah diberi tegangan pra-peluahan.



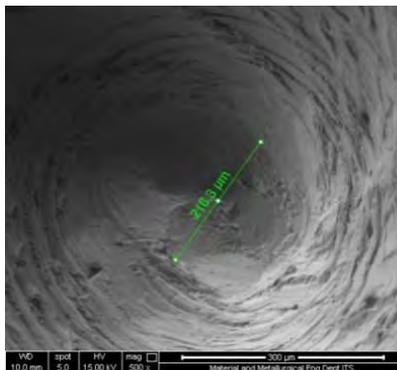
**Gambar 4.12** Permukaan elektrode aluminium sebelum diberi tegangan pra-peluahan

Pada gambar diatas terlihat ujung elektrode aluminium bentuk jarum berukuran 1 mm sebelum diberi tegangan pra-peluahan masih rapat. Hal tersebut dikarenakan kerapatan dari permukaan ujung elektrode aluminium masih dalam keadaan baik.



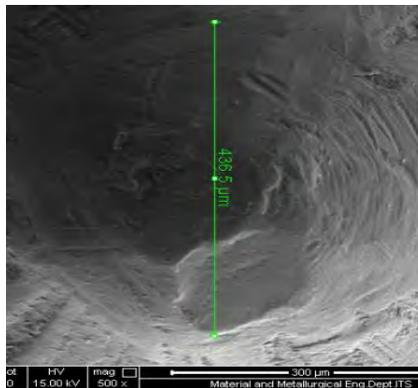
**Gambar 4.13** Permukaan elektrode aluminium sesudah diberi tegangan pra-peluahan

Pada gambar diatas terlihat ujung dari elektrode aluminium setelah diberi tegangan pra-peluahan mengalami pengikisan. Hal itu ditandai dengan melebarnya luasan permukaan ujung elektrode alumnum jika dibandingkan dengan sebelum diberi tegangan pra-peluahan. Masalah itu disebabkan karena kerapatan ujung elektrode tersebut telah terkikis sebagai akibat dari pemberian nilai tegangan pra-peluahan. Selanjutnya dibawah ini akan dibahas gambar elektrode baja sebelum dan sesudah diberi tegangan pra-peluahan.



**Gambar 4.14** Permukaan elektrode baja sebelum diberi tegangan pra-peluahan

Pada gambar diatas terlihat ujung elektrode baja bentuk jarum berukuran 1 mm sebelum diberi tegangan pra-peluhan tidak mengalami pengikisan yang. Hal itu disebabkan karena kerapatan dari ujung elektrode tersebut masih dalam keadaan baik. Jika dilihat secara seksama, maka terlihat permukaan elektrode baja diatas mengalami keretakan sedikit. Hal tersebut dipengaruhi oleh faktor gesekan antara permukaan elektrode dengan mesin bubut selama proses pembuatan. Pada permukaan elektrode yang sudah dipoles tingkat kekasaran masih mencapai  $3\mu\text{m}$ sampai dengan  $6\mu\text{m}$ .Dengan kata lain tidak mungkin permukaan elektrode tidak terdapat keretakan kecil.Perlu diketahui bahwa tingkat kekasaran elektrode mempengaruhi tegangan pra-peluhan. Dibawah ini akan ditampilkan gambar elektrode jarum baja sesudah diberi tegangan pra-peluhan.



**Gambar 4.15** Permukaan elektrode baja sesudah diberi tegangan pra-peluhan

Gambar diatas merupakan elektrode baja bentuk jarum berukuran 1mm sesudah diberi tegangan pra-peluhan. Terlihat pada gambar ujung elektrode mengalami pengikisansehingga nampak ujung elektrode mengalami pelebaran jika dibandingkan dengan gambar sebelumnya. Faktor yang menyebabkan ujung elektrode aluminium mengalami pengikisan adalah pemberian nilai tegangan pra-peluhan. Apabila elektrode tersebut diberi nilai tegangan pra-peluhan dandinaikkan hingga mencapai tegangan tembus, maka kerusakan yang terjadi pada permukaan elektrode tersebut akan semakin parah. Kerusakan tersebut diakibatkan karena kerapatan pada ujung elektrode melemah.

**Tabel 4.2** Data mengenai kondisi elektrode jarum 1 mm

Jenis Bahan	Lama waktu pemberian tegangan pra-peluahan	Kondisi elektrode	
		Sebelum diberi tegangan	Sesudah diberi tegangan
Elektrode jarum diameter 1 mm kuningan	7 detik	77,52 $\mu$ m	331,6 $\mu$ m
Elektrode jarum diameter 1 mm baja	7 detik	216,3 $\mu$ m	436,5 $\mu$ m
Elektrode jarum diameter 1mm aluminium	7 detik	106,6 $\mu$ m	479,3 $\mu$ m

Dari data diatas terlihat bahwa semua elektrode jarum dari bahan jenis kuningan, baja, dan aluminium mengalami pelebaran pada diameternya setelah diberi tegangan pra-peluahan. Hal itu disebabkan karena kerapatan permukaan elektrode jarum mengalami pengikisan sebagai akibat pemberian nilai tegangan pra-peluahan. Untuk elektrode jarum berbahan jenis kuningan terdapat penambahan panjang diameter sebesar 254,08 $\mu$ m dari panjang semula. Pada elektrode jarum berbahan jenis baja pertambahan panjang diameter yang terjadi sebesar 220,2  $\mu$ m. Sedangkan untuk elektrode jarum berbahan jenis aluminium terjadi perubahan panjang diameter sebesar 372,7 $\mu$ m. Dari data dan fakta tersebut maka dapat dilihat bahwa elektrode jarum berbahan jenis aluminium mengalami pengikisan yang paling besar. Hal itu ditandai dengan paling besarnya nilai panjang diameter permukaan setelah diberi tegangan pra-peluahan. Hal itu sesuai dengan karakteristik dari aluminium yang mudah terkikis. Sedangkan elektrode jarum berbahan jenis baja terlihat yang paling kecil nilai perbesaran panjang diameternya. Hal itu dikarenakan bahan jenis baja merupakan salah satu logam yang tidak mudah terkikis, kuat, dan lebih keras daripada aluminium.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan mengenai *partial discharge*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a) Untuk kombinasi elektrode yang paling cepat mencapai tegangan pra-peluahan untuk kesemua jenis bahan adalah elektrode jarum dan datar. Hal tersebut disebabkan karena kombinasi elektrode jarum dan datar memiliki tingkat ketidakteraturan medan yang tinggi jika dibandingkan dengan elektrode yang lain.
- b) Untuk pengaruh ukuran elektrode jarum terhadap *partial discharge* tidak terlalu signifikan. Hal itu terlihat dari nilai tegangan pra-peluahan yang dihasilkan dari elektrode jarum berdiameter 1,1 mm dan 1 mm tidak terdapat perbedaan yang besar.
- c) Jika dilihat berdasarkan data hasil pengujian maka jenis bahan baik elektrode jarum berdiameter 1 mm dan 1,1 mm tidak ada selisih yang besar pada nilai tegangan pra-peluhannya. Hal itu dikarenakan pada tegangan pra-peluahan, jenis bahan suatu materi tidak banyak berpengaruh. Jenis bahan suatu materi akan berpengaruh sangat besar pada pengujian korona.
- d) Elektrode jarum berbahan jenis aluminium menjadi elektrode yang paling besar mengalami pengikisan. Hal itu ditandai dengan paling besarnya nilai panjang diameter permukaan setelah diberi tegangan pra-peluahan dengan selisih sebesar  $372,7\mu\text{m}$  dari panjang semula. Hal itu sesuai dengan karakteristik dari aluminium yang mudah terkikis.
- e) Elektrode jarum berbahan jenis baja menjadi elektrode yang paling kecil nilai perbesaran panjang diameternya dengan selisih sebesar  $220,2\ \mu\text{m}$  dari panjang semula. Hal itu dikarenakan bahan jenis baja merupakan salah satu logam yang tidak mudah terkikis, kuat, dan lebih keras daripada aluminium.

## 5.2. Saran

Saran yang diberikan setelah dilakukan analisis data pengujian mengenai *partial discharge* adalah sebagai berikut :

- a) Untuk pengujian menggunakan elektrode jarum dan silinder tumpul usahakan agar kedua ujung elektrode saling berhadapan lurus agar proses tegangan pra-peluahan cepat terjadi.
- b) Usahakan saat terdengar suara mendesis yang menandakan timbulnya tegangan pra-peluahan untuk langsung dilakukan pencatatan nilai tegangan pra-peluahan dan nilai arusnya serta jangan membiarkan pemberian tegangan pra-peluahan lebih dari 7 detik agar didapat data pembandingan kondisi permukaan elektrode sebelum dan sesudah pemberian tegangan pra-peluahan yang lebih akurat.

## Lampiran



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. I Made Yulistya Negara.,2013. "*Teknik Tegangan Tinggi : Prinsip dan Aplikasi Praktis*", Graha Ilmu.,
- [2].IEEE Std. Vol 118 No 9.,1971. "*IEEE Influence of corona discharge on the breakdown voltage of airgaps*", by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.,
- [3]. IEEE Std. 978-4244.,2011. "*IEEE Electrical Aging Modelling of the Insulation of Low Voltage Rotating Machine Fed by Inverters*", by the Institute of Electrical and Electronics Engineer
- [4].E. Kuffel, W.S.Zaengl.,2000 "*High Voltage Engineering Fundamentals*",Butterworth-Heinemann
- [5].M S Naidu., 1995. "*HighVoltage Engineering : Second Edition*"., McGraw-Hill.,
- [6] I Made Indra Wijaya., 2005. "*Karakteristik Korona dan Tegangan Tembus Isolasi Minyak Pada Konfigurasi Elektroda Jarum-Plat*". By ITS. Surabaya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*