

# Pengaruh Bentuk dan Material Elektrode terhadap *Partial Discharge*

Wildan Rahadian Putra, I Made Yulistya Negara, dan IGN Satriyadi  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
E-mail: yulistya@ee.its.ac.id

**Abstrak** — *Partial discharge* (peluahan 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-peluahan dan nilai arusnya untuk masing-masing elektrode. Setelah pengujian maka tahap selanjutnya adalah pengambilan foto SEM. Foto SEM dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh tegangan pra-peluahan terhadap pengikisan ujung elektrode jarum diameter 1 mm.

**Kata kunci** : *Partial discharge*, Isolasi gas, tegangan pra-peluahan, Ketidakseragaman medan

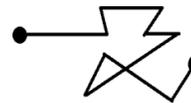
## I. PENDAHULUAN

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 peluahan 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. Sedangkan untuk elektrode yang digunakan menggunakan bahan jenis kuningan, baja, dan aluminium yang dibagi menjadi bentuk elektrode datar, jarum, dan silinder tumpul.

## II. DASAR TEORI

### A. 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 1.

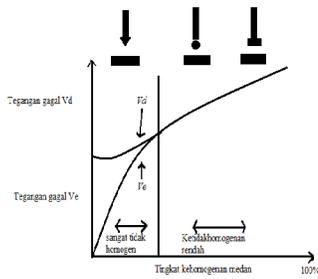


Gambar 1. Pergerakan molekul dalam gas

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.

### B. 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 [2] seperti yang terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Tegangan gagal dan tegangan mula pra-kegagalan tergantung pada tingkat kehomogenan

Proses pra-peluhan akan berkembang menjadi peluahan apabila nilai tegangan dinaikkan. Terjadinya kegagalan diakibatkan oleh adanya Streamer dan Leader. Muatan ruang terbentuk melalui proses pra-peluhan yang biasanya terjadi pada elektrode yang runcing. Elektrode yang memiliki ujung yang runcing sangat berpengaruh terhadap proses pra-peluhan. 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

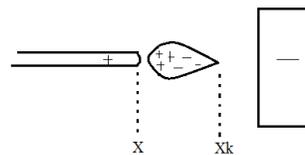
C. Korona

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. Disisilain korona juga memiliki beberapa manfaat dalam dunia industri. Beberapa aplikasi industri memanfaatkan fenomena korona ini seperti elektrofilter (*electrical precipitator*) maupun pengecatan elektrostatik (*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.

D. Jarum positif-Plat (Korona positif)

Luruhan pada jarum positif-Plat terbentuk akibat dari adanya elektron mula yang berada di depan 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 elektrostatik kembali

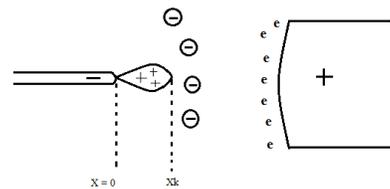
terbentuk dan ion telah bergerak menuju elektrode. Namun, kuat medan pada ruang gas ke arah katode semakin kuat sehingga ujung elektrode seolah-olah tampak bergeser dan selanjutnya akan terjadi kegagalan. Jarak sela dalam kasus ini sangat berpengaruh, karena apabila jarak sela semakin besar, maka proses kegagalan akan semakin cepat terjadi. Meningkatnya jarak sela menyebabkan distribusi medan akan semakin tidak seragam dan saat nilai tegangan ditingkatkan, maka akan timbul filamen 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 3



Gambar 3. Proses Jarum positif-Plat

E. 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 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.



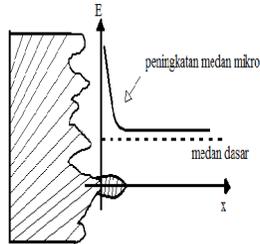
Gambar 4. Proses jarum-plat negatif

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.

**F. 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 5 memperlihatkan peningkatan medan karena kekasaran elektrode.



Gambar 5. Peningkatan medan karena kekasaran elektroda

**III. PENGUJIAN**

**A. Elektrode**

Elektrode yang digunakan dalam pengujian terdiri dari elektrode datar, elektrode jarum, dan elektrode silinder tumpul. Sedangkan bahan jenis elektrode tersebut terbuat dari kuningan, baja, dan aluminium. Untuk diameter elektrode jarum yang digunakan yaitu 1 mm dan 1,1 mm. Berikut dibawah ini akan ditampilkan gambar pengujian yang dilakukan pada laboratorium tegangan tinggi.



Gambar 8. Pengujian kombinasi elektrode jarum dan datar kuningan



Gambar 9. Pengujian kombinasi elektrode jarum dan tumpul baja

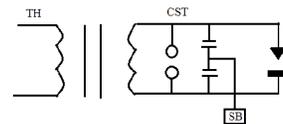


Gambar 10. Pengujian kombinasi elektrode tumpul dan datar aluminium

Gambar diatas menunjukkan serangkaian pengujian yang dilakukan pada laboratorium tegangan tinggi. Pada gambar 8 merupakan pengujian dengan kombinasi elektrode jarum dan datar yang terbuat dari kuningan. Gambar 9 adalah pengujian dengan kombinasi elektrode jarum dan silinder tumpul baja, sedangkan gambar 10 pengujian dengan kombinasi elektrode silinder tumpul dan jarum aluminium. Terlihat kabel merah pada gambar merupakan media penyalur daya sedangkan kabel kuning merupakan grounding.

**B. Rangkaian pengujian**

Sumber tegangan yang digunakan pada pengujian ini adalah tegangan AC. Berikut dibawah ini akan ditampilkan rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC.



Gambar 11. Rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC

**C. Langkah-langkah pengujian**

Hal yang pertama kali dilakukan dalam pengujian ini adalah membuat rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC seperti pada gambar 11. 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.

IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Hasil Pengujian

Tabel 1.  
Data Pengujian

Jenis	Kombinasi elektrode	Diameter jarum 1 mm	Diameter jarum 1,1 mm
		Tegangan	Tegangan
Kuningan	Jarum-datar	8 kV	9 kV
	Jarum-tumpul	9 kV	9,8 kV
	Tumpul-datar	9,8 kV	14 kV
Baja	Jarum-datar	8 kV	8,2 kV
	Jarum-tumpul	9,6 kV	10 kV
	Tumpul-datar	14 kV	14 kV
Aluminium	Jarum-datar	8,6 kV	9 kV
	Jarum-tumpul	9,8 kV	9,9 kV
	Tumpul-datar	11,9 kV	13 kV

Tabel 2.  
Data arus

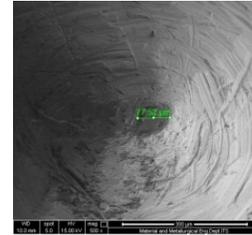
Jenis	Kombinasi elektrode	Diameter jarum 1 mm	Diameter jarum 1,1 mm
		Arus	Arus
Kuningan	Jarum-datar	0,20 mA	0,21 mA
	Jarum-tumpul	0,22 mA	0,23 mA
	Tumpul-datar	1,99 mA	0,29 mA
Baja	Jarum-datar	0,19 mA	0,20 mA
	Jarum-tumpul	0,22 mA	0,22 mA
	Tumpul-datar	0,37 mA	0,40 mA
Aluminium	Jarum-datar	0,22 mA	0,22 mA
	Jarum-tumpul	0,23 mA	0,23 mA
	Tumpul-datar	0,30 mA	0,26 mA

B. Analisis Pengujian

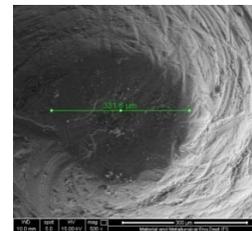
Dari data hasil pengujian diatas maka terlihat bahwa kombinasi elektrode yang paling cepat mencapai tegangan pra-peluahan adalah elektrode jarum dan datar. Hal itu berlaku untuk kesemua jenis bahan baik pada elektrode jarum berdiameter 1 mm maupun 1,1 mm. Faktor yang menyebabkan elektrode jarum dan datar menjadi kombinasi elektrode yang paling cepat mencapai tegangan pra-peluahan adalah dikarenakan kedua elektrode memiliki tingkat ketidakteraturan medan yang tinggi jika dibandingkan dengan kombinasi elektrode yang lainnya. Hal tersebut sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin tinggi tingkat ketidakhomogenan suatu medan, maka semakin cepat pula medan tersebut mencapai nilai tegangan pra-peluahan. Dari data diatas juga terlihat bahwa semakin besar ukuran elektrode maka semakin besar pula nilai tegangan pra-peluhannya. Data diatas juga menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang mencolok pada nilai tegangan pra-peluahan baik pada elektrode berbahan jenis kuningan, baja, dan aluminium. Hal itu disebabkan karena pengaruh jenis bahan hanya terjadi pada pengujian korona, sedangkan pada pengujian ini hanya sebatas pada waktu elektrode mencapai tegangan pra-peluahan.

C. Pengambilan foto SEM

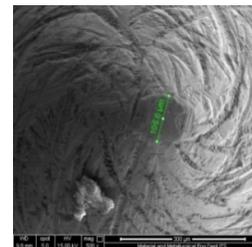
Dibawah ini akan ditampilkan foto hasil pengambilan objek menggunakan teknologi SEM yang telah dilakukan di laboratorium Material dan Metalurgi ITS. Adapun pengambilan foto SEM bertujuan untuk mengetahui dampak pemberian tegangan pra-peluahan selama 7 detik pada ujung permukaan elektrode jarum kuningan, elektrode jarum baja, dan elektrode jarum aluminium berdiameter 1 mm.



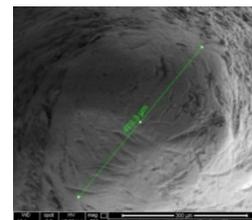
Gambar 12. Permukaan elektrode kuningan sebelum diberi tegangan pra-peluahan



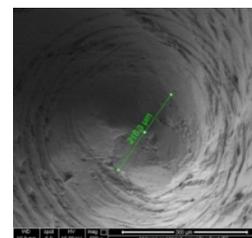
Gambar 13. Permukaan elektrode kuningan sesudah diberi tegangan pra-peluahan



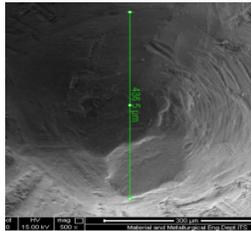
Gambar 14. Permukaan elektrode aluminium sebelum diberi tegangan pra-peluahan



Gambar 15. Permukaan elektrode aluminium sesudah diberi tegangan pra-peluahan



Gambar 16. Permukaan elektrode baja sebelum diberi tegangan pra-peluahan



Gambar 17. Permukaan elektrode baja sesudah diberi tegangan pra-peluahan

Berikut dibawah ini akan ditampilkan tabel mengenai kondisi elektrode jarum diameter 1 mm sebelum dan sesudah diberi tegangan pra-peluahan.

Tabel 3.  
Data mengenai kondisi elektrode jarum 1 mm

Jenis Bahan	Kondisi elektrode	
	Sebelum	Sesudah
Kuningan	77,52 $\mu n$	331,6 $\mu n$
Baja	216,3 $\mu n$	436,5 $\mu n$
Aluminium	106,6 $\mu n$	479,3 $\mu n$

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.

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

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

- 1) 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.
- 2) 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 1mm dan 1,1 mm tidak terdapat perbedaan yang besar walaupun berdasarkan data terlihat semakin besar elektrode maka nilai tegangan pra-peluahan juga akan semakin besar.

- 3) 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.

- 4) 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  $\mu m$  dari panjang semula. Hal itu sesuai dengan karakteristik dari aluminium yang mudah terkikis.
- 5) Elektrode jarum berbahan jenis baja menjadi elektrode yang paling kecil nilai perbesaran panjang diameternya dengan selisih sebesar 220,2  $\mu m$  dari panjang semula. Hal itu dikarenakan bahan jenis baja merupakan salah satu logam yang tidak mudah terkikis, kuat, dan lebih keras daripada aluminium.

### B. Saran

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

- 1) Untuk pengujian menggunakan elektrode jarum dan silinder tumpul usahakan agar kedua ujung elektrode saling berhadapan lurus agar proses tegangan pra-peluahan cepat terjadi.
- 2) 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.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] I Made Yulistya Negara.,2013. “*Teknik Tegangan Tinggi : Prinsip dan Aplikasi Praktis*”, Graha Ilmu.,  
 [2] MS Naidu., 1995. “*HighVoltage Engineering : Second Edition*”., McGraw-Hill.,