

# INVESTIGASI KARAKTER *PARTIAL DISCHARGE* PADA MATERIAL ISOLASI TEGANGAN TINGGI MELALUI PENGUKURAN TEGANGAN AWAL *PARTIAL DISCHARGE*

Rizda Fitri Kurnia<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, \*E-mail : rizdafitrikurnia@gmail.com

*Abstrak*— Pengukuran tegangan awal dan tegangan pemadaman peluahan sebagian (*Partial Discharge*) dilakukan pada bahan isolasi polimer yang dikombinasikan sehingga membentuk lapisan isolasi. Bahan isolasi yang digunakan merupakan kombinasi bahan *Silicone Rubber-Polymethyl Methacrylate* (SiR-PMMA), *Low Density Polyethylene-Polymethyl Methacrylate* (LDPE-PMMA), dan *Silicone Rubber- Low Density Polyethylene* (SiR-LDPE). Dari hasil pengukuran didapatkan nilai rata-rata tegangan awal peluahan sebagian pada bahan isolasi LDPE-PMMA merupakan nilai tertinggi sebesar 3,812 kV diikuti oleh bahan isolasi SiR-PMMA sebesar 3,403 kV dan terakhir SiR-LDPE sebesar 3,288 kV. Sedangkan untuk harga tegangan pemadaman peluahan sebagian didapatkan hasil berurutan dari harga tertinggi yaitu LDPE- PMMA sebesar 3,504 kV, SiR- PMMA sebesar 2,962 kV, dan SiR-LDPE sebesar 2,954 kV. Hasil pengukuran ini menunjukkan perbedaan bahan isolasi dengan perbedaan harga kapasitansi dan konstanta dielektrik mempengaruhi besarnya tegangan awal dan pemadaman yang terjadi. Penelitian ini diharapkan menjadi salah satu bahan pertimbangan dalam pemilihan bahan isolasi tegangan tinggi dan cara mengkombinasikan bahan isolasi tersebut.

*Kata kunci:* tegangan awal peluahan sebagian, tegangan pemadaman peluahan sebagian, pengukuran, isolasi

*Abstract*— *Partial discharge inception voltage (PDIV) and partial discharge extinction voltage (PDEV) was performed on the polymer insulation materials which are combined to form an insulating layer. Insulation materials used are combination of Silicone Rubber-Polymethyl Methacrylate (SiR-PMMA), Low Density Polyethylene-Polymethyl Methacrylate (LDPE-PMMA), dan Silicone Rubber- Low Density Polyethylene (SiR-LDPE). The measurement results show average value of the partial discharge inception voltage in insulation materials LDPE - PMMA was the highest score of 3.812 kV followed by the insulating material SiR - PMMA at 3.403 kV and last SiR - LDPE at 3.288 kV. While for the partial discharge exception voltage sequence results from the highest price 3,504 kV for LDPE- PMMA, then PMMA SiR- by 2,962 kV, and SiR - LDPE by 2,954 kV. That measurement results showed differences in insulating materials with different capacitance and dielectric constant value influence the magnitude of the initial voltage and extinction voltage occur. This research is expected to be one consideration in the selection of high -voltage insulation materials and how to combine the insulating material.*

*Keywords:* *partial discharge inception voltage, partial discharge extinction voltage, measurement, insulating materials*

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dengan berbagai perangkat pendukung kegiatan manusia meningkatkan kebutuhan suplai energi dalam bentuk energi listrik. Suplai energi listrik yang berasal dari berbagai pembangkit listrik memerlukan suatu sistem kelistrikan kompleks yang harus terisolasi dengan baik. Pengisolasian peralatan listrik baik dari suatu sistem pembangkit, saluran transmisi, saluran distribusi hingga sampai ke konsumen membutuhkan ketepatan dalam pemilihan bahan isolasi yang tepat. Pemilihan bahan isolasi yang akan digunakan, dilakukan dengan mempertimbangkan kemampuan material tersebut menahan arus agar tidak mengalir ke bagian yang tidak diinginkan. Saat ini bahan isolasi jenis polimer banyak digunakan karena keunggulan sifat-sifat mekanik dan elektriknya yang lebih baik. Beberapa jenis polimer yang biasa digunakan diantaranya *Low Density Polyethylene*

(LDPE), *Polymethyl Methacrylate* (PMMA), dan *Silicone Rubber* (SiR).

Penggunaan isolasi pada kabel tenaga, untuk memperoleh keunggulan teknis dan ekonomis, penggunaan bahan isolasi dengan mengkombinasikan lebih dari satu jenis bahan isolasi merupakan cara yang banyak dikembangkan. Oleh karena itu, studi mengenai kemampuan isolasi yang dibuat dalam susunan berlapis (*multi layer*) sangat perlu untuk dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengukur tegangan awal dan tegangan pemadaman peluahan sebagian (*Partial Discharge*) pada bahan isolasi dalam susunan berlapis.

### A. Perumusan Masalah

Isolasi adalah salah satu faktor yang penting dan sekarang ini banyak jenis bahan isolasi yang telah digunakan. Faktor yang berpengaruh pada performansi kabel isolasi polimer adalah cacat (*defect*). Cacat itu dapat

timbul dalam bentuk *void*, ketidakmurnian (*impurities*), dan tonjolan (*protrusion*) pada permukaan (*interface*) antara lapisan konduktor dan isolasi polimer sehingga dapat meninggikan tekanan medan listrik yang tinggi pada bagian yang cacat tersebut. Dalam pemakaiannya akibat adanya stress (tekanan) listrik yang terus-menerus maka akan terjadi penuaan (*aging*) isolasi polimer dan pada cacat tersebut akan muncul peristiwa *partial discharge* (PD) dalam material isolasi polimer yang merupakan awal terjadinya *breakdown* atau kegagalan isolasi polimer. *Partial discharge* adalah peluahan listrik lokal yang hanya menjembatani sebagian isolasi di antara konduktor dan yang mungkin terjadi dekat dengan konduktor. Penelitian ini menggunakan sampel yang ditempatkan diantara elektroda tembaga dan *stainless steel* yang diberikan tegangan tinggi bolak-balik (AC). Pengukuran dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan awal peluahan sebagian (*Partial Discharge Inception Voltage*) yang terjadi pada susunan isolasi-isolasi, yaitu SiR+PMMA, LDPE+PMMA, dan SiR+LDPE.

## II. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu; persiapan sample uji dan pengujian. Tahapan pertama yaitu persiapan sample uji merupakan proses pembuatan bahan isolasi berupa lembaran SiR setebal 1 mm. Sementara bahan isolasi lainnya yaitu LDPE dan PMMA merupakan material jadi hasil pabrikasi.

### A. Pembuatan Bahan Uji SiR

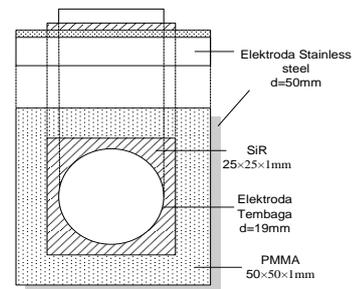
Jenis bahan SiR yang digunakan pada penelitian ini adalah Nisser RTV 586 yang terdiri dari adonan *Silicone Rubber* dan *hardener* (pengeras). Dengan perbandingan 100:1 untuk SiR dan pengerasnya kemudian campuran ini diaduk sampai rata selama beberapa detik. Setelah itu dilakukan penghilangan *void* (gelembung udara) pada campuran dengan cara memasukkan campuran pada alat vakum. Berikutnya campuran dicetak dengan cetakan kaca yang sesuai dengan ukuran bahan uji. Setelah 12 jam maka lembaran SiR dapat dilepaskan dari cetaknya.



Gambar 1. Bahan uji SiR yang siap digunakan

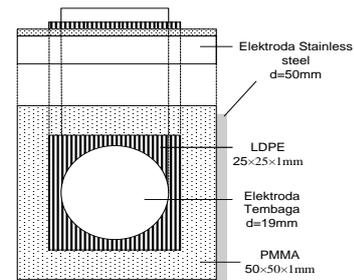
### B. Pengujian dan Pengukuran

Pada bagian terakhir ini, bahan uji yang telah dibuat pada fase sebelumnya dikombinasikan dengan bahan uji lain sehingga menjadi susunan bahan isolasi seperti pada Gambar 2 s.d 4



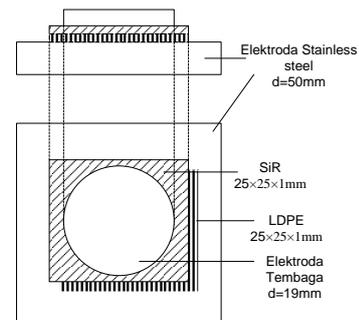
Gambar 2. Susunan isolasi SiR+PMMA

Terdapat tiga jenis kombinasi susunan bahan isolasi yang digunakan pada penelitian ini. Gambar 2 menunjukkan susunan bahan isolasi SiR dan PMMA. Gambar 3 menunjukkan susunan bahan isolasi LDPE dan PMMA.



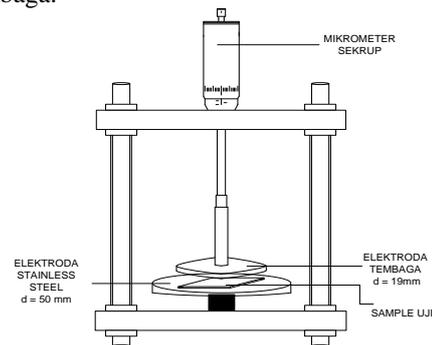
Gambar 3. Susunan isolasi LDPE+PMMA

Adapun kombinasi susunan bahan isolasi yang terakhir ditunjukkan oleh gambar 4, yaitu susunan bahan isolasi SiR dan LDPE.



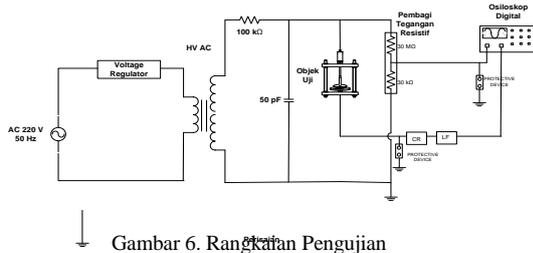
Gambar 4. Susunan isolasi SiR+LDPE

Kemudian masing-masing susunan bahan isolasi tadi diletakkan pada objek uji seperti ditunjukkan Gambar 5. Susunan bahan isolasi diletakkan diantara anoda tembaga dengan diameter 19 mm dan katoda stainless steel 50 mm. Terdapat sela udara sebesar 0,5 mm diantara sampel dan anoda tembaga.



Gambar 5. Objek uji

Objek uji yang dipersiapkan diuji dengan pengujian peluahan sebagian (*Partial Discharge*). Metoda yang digunakan pada pengukuran ini adalah dengan metoda pengukuran langsung. Anoda dihubungkan ke tegangan tinggi bolak-balik (AC) melalui pembagi tegangan resistif. Sedangkan katoda dihubungkan ke *oscilloscope* melalui *low pass filter* dan dihubungkan pula ke tanah (*ground*) melalui *spark gap*. Seluruh peralatan dihubungkan ke tanah seperti pada gambar rangkaian. Tegangan bolak-balik (AC) dinaikkan dengan kecepatan 100 V/s sampai terjadi peluahan awal pada objek uji. Setelah harga tegangan awal peluahan sebagian tercatat, tegangan diturunkan kembali sampai terjadi pemadaman peluahan. Pulsa tegangan awal tegangan pemadaman peluahan sebagian diamati dengan *oscilloscope* digital Textronik TDS 220.



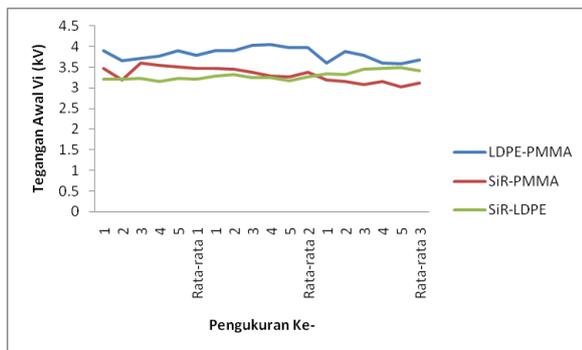
Gambar 6. Rangkaian Pengujian

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dilakukan pengujian terhadap masing-masing objek uji LDPE-PMMA, SiR-PMMA dan SiR-LDPE sebanyak lima kali. Dimana dari setiap jenis kombinasi bahan isolasi diambil tiga data *sample* terbaik.

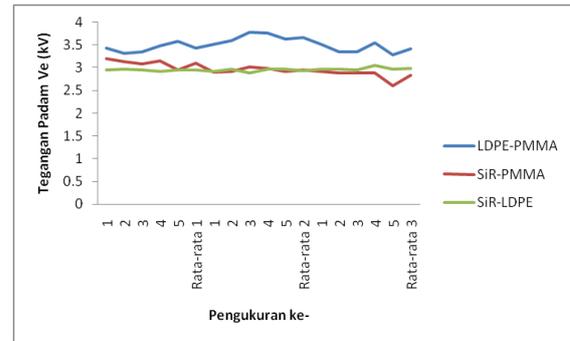
Objek uji diberikan tegangan tinggi dari 0 kV sampai terjadi peluahan awal sebagian, disebut tegangan awal peluahan sebagian (*partial discharge inception voltage*). Kemudian tegangan diturunkan kembali sampai didapatkan tegangan pemadaman peluahan sebagian (*partial discharge exception voltage*).

Gambar 7 berikut ini menunjukkan tegangan awal peluahan sebagian pada masing-masing objek uji.



Gambar 7. Kurva tegangan awal (*inception voltage*) peluahan sebagian pada kombinasi bahan isolasi

Berdasarkan kurva pada gambar 7 dan 8 terlihat bahwa objek uji dengan bahan isolasi LDPE-PMMA mempunyai nilai tegangan awal dan tegangan pemadaman paling tinggi diantara bahan lainnya.



Gambar 8. Kurva tegangan pemadaman (*exception voltage*) peluahan sebagian pada kombinasi bahan isolasi

Sifat dua lapisan dielektrik yang dikenai tegangan AC adalah berkaitan dengan sifat masing-masing material dalam hubungan seri. Kapasitansi bahan isolasi diantara elektroda-elektroda merupakan nilai seri antara kapasitansi udara, dan kapasitansi dua bahan isolasi yang disusun berlapis (multi layer). Konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_{r1}$ ) udara adalah 1,000536 serta konstanta dielektrik ruang hampa ( $\epsilon_0$ )  $8,854 \times 10^{-12}$  F/m. Sementara konstanta dielektrik relatif *Silicone Rubber* ( $\epsilon_{r2}$ ) 3,6, konstanta dielektrik relatif *Low Density Polyethylene* ( $\epsilon_{r3}$ ) 2,26,

*Polymethyl Methacrylate* ( $\epsilon_{r2}$ ) 3,4. Luas penampang konduktor  $2,83385 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$  dengan tebal masing-masing bahan isolasi  $1 \cdot 10^{-3} \text{m}$  dan jarak sela udara sebesar  $5 \cdot 10^{-4} \text{m}$ , maka nilai kapasitansi dapat dihitung. Hasil perhitungan didapatkan harga kapasitansi masing-masing bahan isolasi sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 1 berikut :

TABEL 1  
NILAI KAPASITANSI MASING – MASING BAHAN ISOLASI

Bahan Isolasi	Nilai Kapasitansi C (Farad)
<i>Silicone Rubber</i>	$9,032 \cdot 10^{-12}$
<i>Low Density Polyethylene</i>	$5,671 \cdot 10^{-12}$
<i>Polymethyl Methacrylate</i>	$8,531 \cdot 10^{-12}$

Dari tabel 1 dapat dihitung harga kapasitansi total pada susunan isolasi dengan menggunakan rumus kapasitansi seri, sehingga harga kapasitansinya dapat dilihat pada tabel 2 berikut :

TABEL 2  
NILAI KAPASITANSI SUSUNAN BAHAN ISOLASI

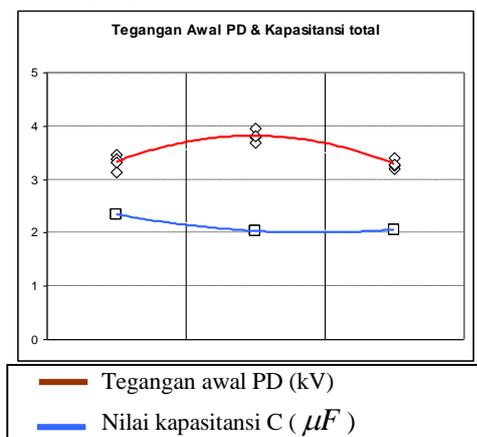
Susunan Isolasi	Simbol	Nilai kapasitansi C (Farad)
SiR+PMMA	$C_{tot1}$	$2,341 \cdot 10^{-12}$
LDPE+PMMA	$C_{tot2}$	$2,029 \cdot 10^{-12}$
SiR+LDPE	$C_{tot3}$	$2,057 \cdot 10^{-12}$

Harga kapasitansi pada bahan isolasi mempengaruhi besar kecil nilai tegangan awal dan pemadaman PD. Pengaruh ini terlihat pada nilai kapasitansi susunan isolasi LDPE-PMMA yang merupakan harga kapasitansi terendah bila dibandingkan dengan dua jenis susunan isolasi lainnya,

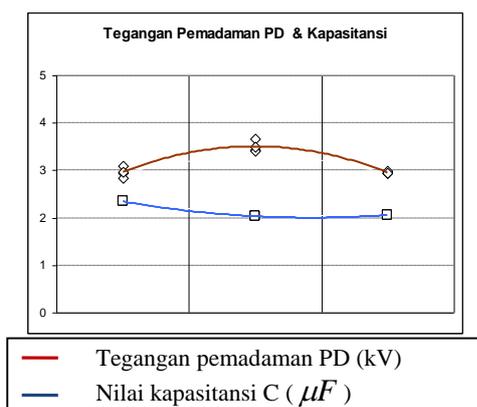
sebesar  $2,029 \cdot 10^{-12}$  Farad. Sedangkan harga tegangan awal peluahan sebagiannya menunjukkan nilai tertinggi diantara susunan bahan isolasi lainnya yaitu 3,812 kV. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara tegangan awal peluahan sebagian dan kapasitansi adalah berbanding terbalik. Nilai kapasitansi berpengaruh kepada jumlah muatan yang terdapat pada isolasi.

Pada kondisi dimana kapasitansi adalah kecil, maka jumlah muatan akan kecil pula dan jumlah elektron didalam media lebih sedikit dibandingkan dengan jika kapasitansinya besar. Jumlah elektron yang besar akan menjembatani terjadinya peluahan. Karena itu tegangan awal peluahan terjadi lebih awal pada tegangan yang rendah dibandingkan tegangan peluahan yang terjadi jika kapasitansi nya lebih besar. Perbedaan nilai kapasitansi pada masing-masing lapisan *sample* juga menunjukkan adanya hubungan dengan nilai konstanta dielektrik masing-masing *sample*. Nilai konstanta dielektrik berbanding lurus dengan nilai kapasitansi *sample* tersebut. Semakin besar nilai konstanta dielektrik maka akan semakin besar pula nilai kapasitansinya.

Pada gambar 9 dan 10 berikut ini, terlihat bahwa pada saat nilai kapasitansi mencapai angka terendah maka tegangan yang terjadi mencapai angka tertinggi. Begitu pula sebaliknya, pada saat kapasitansi pada nilai yang tinggi maka tegangan awal maupun pemadaman yang terjadi memiliki nilai yang rendah.



Gambar 9. Tegangan awal peluahan sebagian dan kapasitansi total pada susunan bahan isolasi



Gambar 10. Tegangan pemadaman peluahan sebagian dan kapasitansi total pada susunan bahan isolasi

#### IV. KESIMPULAN

Hasil pengukuran menunjukkan adanya hubungan antara jenis isolasi yang digunakan terhadap harga tegangan awal peluahan yang terjadi. Kombinasi bahan isolasi *Low Density Polyethylene* (LDPE)+ *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) terlihat mampu menahan tegangan lebih baik daripada kombinasi bahan isolasi *Silicon Rubber* (SiR) + *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) dan *Silicone Rubber* (SiR) + *Low Density Polyethylene* (LDPE) yang dapat disebabkan antara lain oleh pengaruh konstanta dielektrik pada masing-masing bahan isolasi. Dari hasil pengukuran, semakin besar nilai konstanta dielektrik akan mengakibatkan meningkatnya nilai kapasitansi dan berpengaruh kepada nilai tegangan awal yang terjadi. Selain itu, besar kecilnya nilai tegangan awal yang terjadi dapat juga disebabkan oleh rongga udara antar lapisan *sample* yang mungkin terbentuk karena tingkat kehalusan permukaan *sample* yang berbeda. Dalam pengukuran ini LDPE dan PMMA memiliki kehalusan permukaan yang lebih baik karena keduanya merupakan hasil pabrikasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar, Artono. Dr. Prof., "Teknik Tegangan Tinggi". PT. Pradnya Paramita. Jakarta, 2001.
- [2] Badarudin, Fadli., "Studi Tegangan Internal Discharge Pada Artificial Void Dalam Material Resin Poliester Menggunakan Elektroda Jarum Bidang Di Bawah Tegangan AC". Universitas Sriwijaya, 2007.
- [3] Candra, "Initial Discharge Pada Isolasi XLPE Dengan Kondisi Terpolusi Amonia (NH<sub>4</sub>OH) di Bawah Tegangan Tinggi AC". Universitas Sriwijaya, 2007.
- [4] Elektro Indonesia, "Partial Discharge dan Kegagalan Bahan Isolasi". <http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener13a.html>. Edisi ke-13, 1998.
- [5] Ismanto, "Karakteristik Partial Discharge Pada Artificial Void Dalam Material Silicone Rubber (SiR) Dengan Kelembaban Yang Dikondisikan". Universitas Sriwijaya, 2008.
- [6] Naidu, M.S., Kamaraju V., "High Voltage Engineering Fundamentals". Mc.Graw-Hill, 2<sup>nd</sup> edition. New Delhi, 1985.
- [7] Purba, Thomas Antonius., "Studi Tegangan Initial Discharge Resin Poliester Pada Kondisi Kelembaban Tinggi dan Kering Menggunakan Sistem Elektroda Jarum-Bidang". Universitas Sriwijaya, 2007.
- [8] Ku, C.C, and Liepens, R., "Electrical Properties of Polymers". Hanser, 1987.
- [9] Wikipedia, "Acrylics glass". [http://en.wikipedia.org/wiki/Acrylic\\_glass](http://en.wikipedia.org/wiki/Acrylic_glass), 2008.
- [10] Wikipedia, "Low Density Polyethylene". [http://en.wikipedia.org/wiki/Lowdensity\\_polyethylene](http://en.wikipedia.org/wiki/Lowdensity_polyethylene), 2008.
- [11] Wikipedia, "Silicone Rubber". [http://en.wikipedia.org/wiki/Silicone\\_rubber](http://en.wikipedia.org/wiki/Silicone_rubber), 2008.