

# STUDI PENGARUH TEMPERATUR PADA KARAKTERISTIK PARTIAL DISCHARGE PADA BAHAN RESIN EPOKSI

Abdul Syakur<sup>1)</sup>, Yuningtyastuti<sup>2)</sup>, Winarko Ari P<sup>3)</sup>  
<sup>1,2,3)</sup>Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedharto, SH, Tembalang, Semarang - Indonesia  
Email: [gakusei2003@yahoo.com](mailto:gakusei2003@yahoo.com)

## ABSTRAK

Material polimer sekarang ini telah digunakan secara luas sebagai isolasi peralatan tegangan tinggi. Dalam penggunaannya, isolasi polimer dapat mengalami penurunan kualitas isolasi atau degradasi hingga tidak dapat berfungsi sebagai isolator yang layak. Salah satu penyebabnya utama penurunan kualitas isolasi adalah karena adanya cacat berupa tonjolan atau konduktor runcing pada interface konduktor dan isolasi sehingga dapat menyebabkan partial discharge (PD). Oleh karena itu, sangat perlu untuk mengetahui karakteristik dari partial discharge yang terjadi pada isolasi polimer.

Pada makalah ini membahas hasil penelitian tentang pengaruh temperatur pada karakteristik PD selama menahan tegangan kerja. Sampel yang digunakan adalah resin epoksi yang diamati pada temperatur ruang (29°C) dan temperatur 40°C dengan sistem pengukuran menggunakan elektroda jarum-bidang pada tegangan AC.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur mempengaruhi karakteristik jumlah pulsa PD dan muatan maksimum PD. Semakin tinggi temperatur sampel maka jumlah pulsa PD positif dan negatif cenderung meningkat. Demikian juga pada muatan maksimum PD muatan positif dan negatif.

**Kata kunci :** partial discharge, resin epoksi, elektroda jarum-bidang.

## 1. Pendahuluan

Material polimer sekarang ini telah digunakan secara luas sebagai isolasi peralatan tegangan tinggi karena mempunyai banyak keunggulan dibanding dengan material lain. Beberapa faktor yang berpengaruh pada performansi material isolasi polimer adalah cacat (defect). Cacat itu dapat timbul dalam bentuk void, ketidakmurnian (impurities), dan tonjolan (protrusion) pada permukaan (interface) antara lapisan semikonduktor atau konduktor dan isolasi polimer sehingga dapat meninggikan tekanan (stress) medan listrik yang tinggi pada bagian yang cacat tersebut. Dalam pemakaiannya akibat adanya stress listrik yang terus-menerus maka akan terjadi penuaan (aging) isolasi polimer dan pada cacat tersebut akan timbul dan tumbuh *electrical treeing* yang disertai dengan munculnya peristiwa *partial discharge* (PD) dalam material isolasi polimer yang merupakan awal terjadinya *breakdown* pada isolasi polimer.

Analisis *partial discharge* berguna untuk mendiagnosis tingkat degradasi polimer. Fenomena *pre-breakdown* dapat dideteksi dengan pengamatan dan pengukuran pulsa *partial discharge*. Studi mengenai pengukuran *partial discharge* menyatakan bahwa PD sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, gas yang mengisi rongga serta tekanan, kelembaban, dan temperatur. Disebutkan pula bahwa muatan maksimum secara umum semakin tinggi dengan semakin tingginya tegangan yang diterapkan, kelembaban, dan temperatur.

Salah satu material isolasi polimer adalah resin epoksi yang secara luas digunakan sebagai isolasi pada banyak peralatan listrik karena

material ini mempunyai karakteristik listrik dan mekanik yang sangat baik.

## 2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh temperature pada karakteristik partial discharge pada bahan resin epoksi

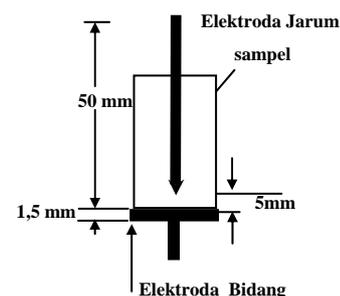
## 3. Metodologi

### 3.1 Sampel dan Elektroda

Resin epoksi adalah kombinasi dari bisphenol A dan epichlorohydrin yang mempunyai formasi dari rentetan polimer, yang mengandung dua kelompok reaktif epoxide dan hydroxyl. Bentuk kimia resin epoksi dapat dilihat pada gambar 1<sup>[3]</sup>.



Gambar 1. Persamaan kimia Resin Epoksi

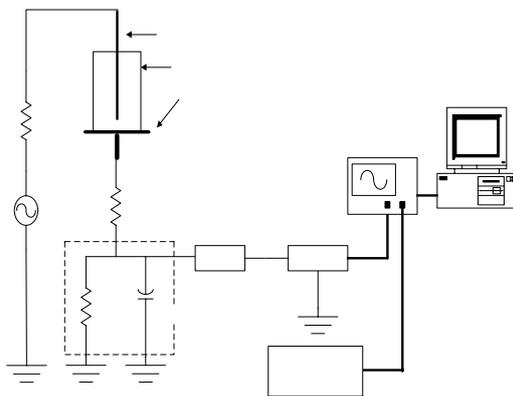


Gambar 2. Sampel dengan elektroda jarum-bidang

Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah elektroda jarum-bidang. Elektroda jarum dengan panjang 50 mm, diameter jarum 1 mm dan radius kurvatur dari ujung jarum adalah 3  $\mu$ m. Jarum terbuat dari baja dan ditusukkan ke dalam material polimer epoksi resin. Untuk elektroda bidang memiliki ukuran 25x10 mm dengan ketebalan 1,5 mm terbuat dari alumunium. Jarak antara elektroda jarum dan elektroda bidang adalah 5 mm.

### 3.2. Sistem Pengukuran

Pengukuran *partial discharge* (PD) dengan sistem elektroda jarum-bidang, elektroda jarum dihubungkan dengan tegangan tinggi AC (50 Hz) yaitu 22 kVrms, 24 kVrms, dan 26 kVrms, sedangkan elektroda bidang dihubungkan dengan sisi tegangan rendah. Saat pengukuran sampel ditempatkan di dalam chamber yang berisi minyak isolasi. Rangkaian pengukuran PD ditunjukkan seperti pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Rangkaian pengukuran PD

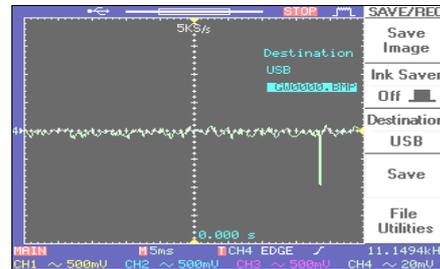
PD yang muncul dideteksi dengan menggunakan detektor PD. Untuk mendapatkan sensitivitas yang baik, dapat dilakukan dengan mengatur besarnya R dan C pada detektor PD. Fungsi detektor PD ini adalah sebagai integrator. Sehingga output dari detektor PD ini adalah berupa integrasi dari gelombang arus PD sebagai fungsi waktu, dengan demikian tegangan output ini sebanding dengan muatan PD dan dinyatakan dengan<sup>[11]</sup>:

$$V_{out} \sim q \dots\dots\dots(1)$$

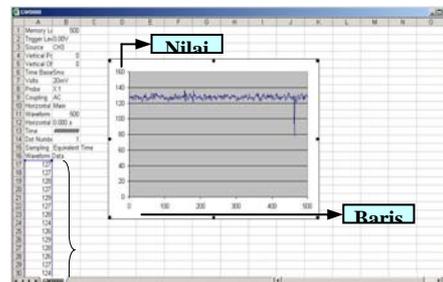
### 4. Hasil Pengukuran

Pulsa-pulsa PD selama pengukuran berlangsung dapat diamati pada osiloskop digital GDS 2104 yang memiliki 4 saluran dengan bandwidth 200 Mhz, laju *sampling* maksimum per channel 1 GS/s. Pengambilan data dilakukan dengan menyimpan data dengan alat bantu

*flashdisk*, sehingga perekaman data tidak dilakukan secara simultan. Selanjutnya data hasil pengukuran diolah dengan bantuan *software Microsoft Excell*.



Gambar 4. Tampilan pulsa PD pada layar Osiloskop GDS 2104

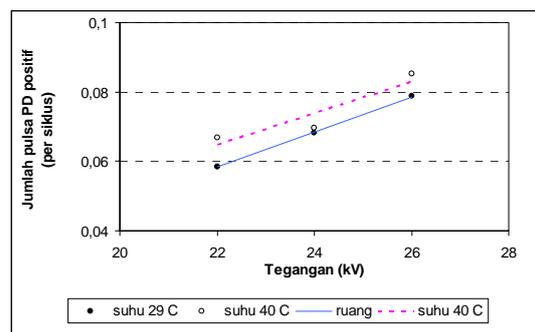


Gambar 5. Tampilan data pulsa PD

## 5. Analisis dan Pembahasan

### 3.1. Karakteristik Jumlah Pulsa PD

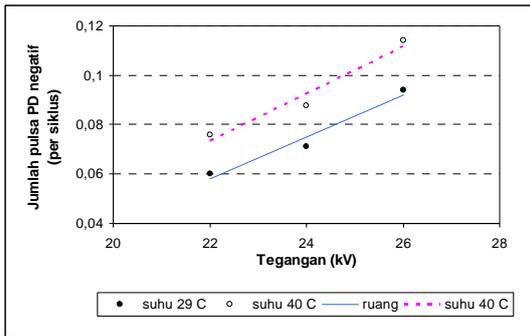
Karakteristik jumlah pulsa PD sebagai fungsi tegangan pada sampel resin epoksi pada kondisi temperatur yang berbeda ditunjukkan pada gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Karakteristik jumlah pulsa PD Positif terhadap tegangan

Jarum  
Sampel  
Bidang

Osiloskop



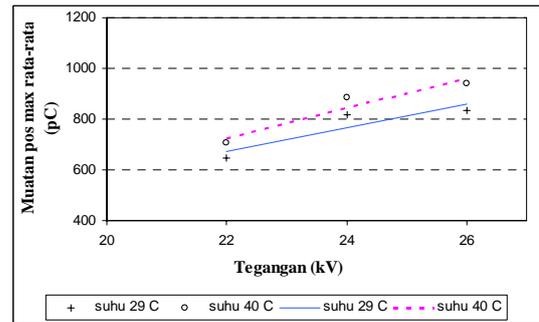
Gambar 7. Karakteristik jumlah pulsa PD Negatif terhadap tegangan

Jumlah pulsa PD yang diamati adalah jumlah pulsa PD positif dan negatif pada setiap siklus. Pada grafik di atas dapat diamati bahwa jumlah pulsa PD baik positif maupun negatif meningkat dengan kenaikan tegangan yang diterapkan dan kenaikan temperatur. Peningkatan jumlah pulsa PD positif dan negatif tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut : ketika tegangan yang diterapkan dinaikkan, maka kuat medan listrik akan bertambah, sehingga energi ionisasi makin besar yang mengakibatkan semakin banyak elektron yang lepas dari ikatannya. Elektron ini memungkinkan mengionisasi atom gas netral dalam rongga polimer bila bertumbukan. Ionisasi menghasilkan elektron dan ion positif berikutnya. Semakin besar kuat medan listrik yang diterapkan, proses ionisasi atau pelepasan elektron dari ikatannya semakin menghebat sehingga terjadi banjir (*avalanche*) elektron yang menyebabkan meningkatnya jumlah muatan.

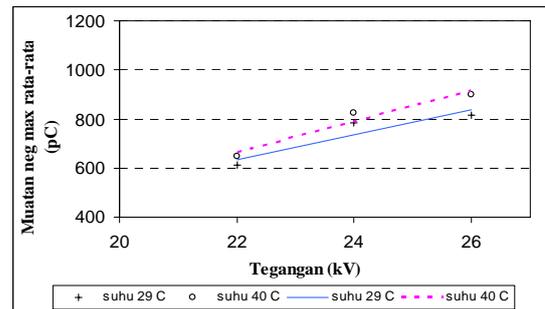
Dengan naiknya temperatur maka jumlah PD pun semakin banyak seiring bertambahnya waktu. Dalam percobaan yang telah dilakukan, pada temperatur 40°C, berarti memberikan suatu energi termal pada elektron dalam suatu atom polimer. Energi termal ini dapat digunakan oleh elektron pada orbit terluar (elektron valensi) untuk terionisasi dan menjadi elektron bebas. Jika energi termal yang diberikan pada elektron valensi melebihi energi ionisasi, maka kelebihan energi ini akan merupakan energi kinetik bagi elektron bebas tersebut. Sehingga elektron bebas ini dapat bergerak dan pergerakannya dipercepat oleh adanya medan listrik yang diterapkan. Elektron bebas ini dalam jumlah tertentu akan dapat menimbulkan peluahan sebagian dalam polimer<sup>[6]</sup>. Jadi semakin tinggi temperatur suatu polimer akan semakin banyak jumlah peluahan sebagian yang muncul.

### 3.2. Karakteristik Muatan Maksimum PD

Karakteristik muatan maksimum rata-rata PD sebagai fungsi tegangan pada sampel resin epoksi pada kondisi temperatur yang berbeda ditunjukkan pada gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Karakteristik muatan maksimum rata-rata PD Positif terhadap tegangan



Gambar 9. Karakteristik muatan maksimum rata-rata PD Negatif terhadap tegangan

Muatan maksimum PD yang diamati adalah muatan maksimum rata-rata PD positif dan negatif. Pada grafik di atas dapat diamati bahwa muatan maksimum rata-rata PD baik positif maupun negatif meningkat dengan kenaikan tegangan yang diterapkan dan kenaikan temperatur. Ketika tegangan yang diterapkan dinaikkan, maka kuat medan listrik akan bertambah, sehingga energi ionisasi yang diterima elektron untuk lepas dari ikatannya makin besar. Besar muatan elektron yang terlepas dari ikatannya sebanding dengan energi ionisasi yang diterimanya, maka makin besar energi ionisasi makin besar juga muatan elektron yang mengalir.

Dengan adanya kenaikan temperatur pada material isolasi polimer dan seiring dengan bertambahnya waktu muatan maksimum *partial discharge* yang terjadi semakin besar. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut : jika temperatur dinaikkan akan terjadi peningkatan energi termal yang diperlukan untuk merangsang gerakan vibrasi yang cukup untuk menyebabkan pemutusan ikatan polimer dan akhirnya bahan akan mengalami dekomposisi sehingga semakin mudah munculnya *partial discharge*. Keadaan ini menyebabkan dinding zat padat lama-kelamaan rusak, jalur *discharge* akan semakin panjang dan semakin besar sehingga jalur ini akan semakin bersifat konduktif yang akhirnya akan memudahkan arus mengalir atau muatan PD semakin besar.

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Karakteristik jumlah pulsa dan muatan maksimum PD meningkat terhadap kenaikan tegangan.
2. Karakteristik jumlah pulsa dan muatan maksimum PD semakin meningkat karena pengaruh kenaikan temperatur pada polimer.
3. Pada temperatur 40<sup>0</sup>C akan terjadi peningkatan energi termal pada elektron dalam suatu atom polimer yang diperlukan untuk merangsang gerakan vibrasi yang cukup untuk menyebabkan pemutusan ikatan polimer.
4. Jumlah pulsa PD negatif lebih banyak daripada jumlah pulsa positif.

#### 7. Daftar Pustaka

1. Dissado, L.A., Fothergill J.C. (1992): *Electrical Degradation and Breakdown in Polymers*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Material and Devices Series 9, Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom.
2. Hazmi, A., Suwarno (2002): *Pengukuran Partial Discharge Pada Pemohonan Listrik Ko-Polimer Etylene Acrylic Acid (EAA)*, Jurnal Teknik Tegangan Tinggi Indonesia, FOSTU, Vol. 4, No. 2.
3. Nugroho, P.S. (2000): *Studi pengukuran peluahan sebagian pada pemohonan Listrik dan Void dalam LDPE*, Tugas Akhir S-1, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
4. Suwarno (1996): *Study on electrical treeing and partial discharge in Polymeric Insulating Materials*, A Dissertation for The Doctor Degree at School of Engineering, Nagoya University, Japan.
5. Syakur, A., dan Suwarno (2002): *Karakteristik Partial Discharge Void pada Kelembaban Tinggi*, Jurnal Teknik Tegangan Tinggi Indonesia, FOSTU, Vol. 4, No. 2.
6. Kurnianto, R. (1998): *Studi Pengaruh Temperatur Pada Karakteristik Pemohonan Listrik Dalam Polymer*, Tesis S-2, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
7. Morshuis, P.H.F. (1993): *Partial Discharge Mechanism*, Delft University Press, Netherlands.
8. Schifani, R. (1995): *Temperature Dependence of Epoxy Resistance to PD*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2 No. 4.
9. Schifani, R., R. Candela and P. Romano (2001): *On PD Mechanism at High Temperature in Voids Included in an Epoxy Resin*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 8 No. 4.
10. M. Nagao, K. Oda, K. Nishioka, Y. (2002): *Propagations of Electrical Trees in Filled Epoxy Resin under AC Voltage*, Jurnal Teknik Tegangan Tinggi Indonesia, Vol.4 No.2.
11. Syakur, A., Windarto, J., Suwarno dan Redy, M. (2005): *Pengukuran Partial Discharge (PD) pada Bahan Isolasi Polimer untuk Mendeteksi Kerusakan Isolasi pada Peralatan Tegangan Tinggi dengan Menggunakan Software Labview*, Makalah seminar Nasional Ketenagalistrikan 2005, Semarang.