

# ANALISIS ARUS BOCOR PADA BAHAN ISOLASI RESIN EPOKSI DENGAN METODE *INCLINED-PLANE TRACKING* DAN *ACOUSTIC WAVES SIGNAL*

Abdul Syakur<sup>\*</sup>), Agus Sutaryono, Hermawan, Yuli Christyono

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*</sup>E-mail : syakur@elektro.undip.ac.id

## Abstrak

Riset terhadap bahan isolator di sistem tenaga terus dilakukan, khususnya terkait arus bocor. Salah satu jenis bahan isolator adalah bahan resin epoksi dengan berbagai campuran. Penelitian ini menguji arus bocor pada bahan resin epoksi yang terbuat dari *Diglycidyl Ether of Bisphenol-A* (DGEBA) dan *Metaphenylene Diamine* (MPDA) dengan campuran bahan pengisi *silicone rubber* dan sekam padi, dengan persentase bahan pengisi sebesar 20%, 30%, dan 40%. Pengukuran arus bocor kondisi basah dilakukan terhadap permukaan bahan isolator dengan metode pengukuran *Inclined-Planed Tracking* (IPT) sesuai standar IEC 587:1984 dengan kontaminan NH<sub>4</sub>Cl, dan metode pengukuran *Acoustic Emission Properties of Partial Discharge* sesuai dengan standar IEC 60270:2000 dengan parameter gelombang akustik. Parameter yang dianalisis adalah arus bocor lucutan pertama, arus maksimal, magnitudo lucutan awal dan magnitudo maksimal. Hasil pengukuran menggunakan metode pengukuran *Inclined-Plane Tracking* (IPT) menghasilkan arus sebesar 4,9646 mA pada komposisi 20%, 2,3967 mA pada komposisi 30%, dan 3,9371 mA pada komposisi 40%. Sedangkan untuk metode pengukuran *Acoustic Emmision Properties of Partial Discharge* menunjukkan magnitudo sebesar 588,9350 pada komposisi 20%, 480,8126 pada komposisi 30%, dan 501,8363 pada komposisi 40%. Kedua metode menunjukkan persentase bahan pengisi yang paling baik adalah sebesar 30% karena menghasilkan nilai arus bocor dan magnitudo yang paling kecil.

*Kata kunci: resin epoksi, sekam padi, gelombang akustik, arus bocor.*

## Abstract

Research on insulating materials in power system has been conducted until recently, especially related to leakage current. One type of insulators is epoxy resin with various mixtures. This research measures the leakage current of epoxy resin insulation material made from *Diglycidyl Ether of Bisphenol-A* (DGEBA) and *Metaphenylene Diamine* (MPDA) mixed with *silicone rubber* and *rice husk ash* with composition of 20%, 30%, and 40%. The leakage current is measured in wet condition on insulating material surface with *Inclined-Planed Tracking* (IPT) measurement method according to IEC 587: 1984 standard with contaminant of NH<sub>4</sub>Cl, and *Acoustic Emmision Properties Of Partial Discharge* measurement method according to IEC 60260:2000 with acoustic waveform parameter. Analyses were conducted on first leakage current, maximum current, initial discharge magnitude and maximum magnitude. The measurement results using the *Inclined-Plane Tracking* (IPT) measurement method resulted in 4.9646 mA at 20% composition, 2,3967 mA at 30% composition, and 3,9371 mA at 40% composition. For *Acoustic Emmision Properties Partial Discharge* measurement method is 588,950 in the composition of 20%, 480,8126 at the composition of 30%, and 501.8363 at the composition of 40%. Both methods show that the best material is with 30% filler due to the least leakage current value and magnitude.

*Keywords: epoxy resin, rich husk ash, acoustic weveform, leakage current*

## 1. Pendahuluan

Penggunaan energi listrik di Indonesia semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan industri. Semakin meningkatnya kebutuhan energi listrik membutuhkan pasokan tenaga listrik yang memadai. Untuk merealisasikan hal tersebut, diperlukan sarana yang menunjang agar pasokan tenaga listrik terpenuhi dan

mereduksi rugi-rugi selama proses penyaluran. Salah satu upaya agar *energy loss* pada saluran transmisi dan jaringan distribusi dapat ditekan yaitu dengan menjaga agar saluran bertegangan tetap terisolir dengan baik. Isolator merupakan komponen penting pada sistem tenaga listrik seperti pada gardu induk, jaringan transmisi dan distribusi[1].

Bahan baku isolator yang biasa digunakan di dalam jaringan memiliki jenis yang bermacam-macam. Salah satu dari jenis isolator yang sedang dikembangkan adalah isolator polimer. Isolator polimer memiliki banyak keuntungan, antara lain murah, ringan, perawatan mudah, waktu produksi singkat, resistansi tinggi, kekuatan mekanik tinggi, kekuatan dielektrik tinggi, rugi-rugi dielektrik rendah dan resistansi isolasi tinggi. Bahan polimer, terutama karet silikon, epoxy, ethylene propylene diene monomer (EPDM) dan poliester digunakan sebagai isolator untuk transmisi, distribusi, pemutusan kabel bawah tanah, bushing dan penangkal petir [2].

Kondisi lingkungan memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja material isolator. Pada kondisi lingkungan dengan polusi tinggi dan kelembaban tinggi, lapisan polutan yang menempel pada permukaan terjadi pembasahan sehingga arus bocor yang mengalir dapat menyebabkan pemanasan polutan pada lapisan [3].

Untuk meningkatkan dan mengatasi kelemahan pada isolator polimer ditambahkan bahan lain yang disebut filler (pengisi). Penggunaan filler bertujuan untuk memperbaiki kinerja polimer sekaligus menekan biaya pembuatan isolator polimer. Penelitian mengenai persentase campuran dan jenis filler yang berbeda terhadap besar arus bocor bahan isolasi resin epoksi jenis DGEBA berbahan pengeras MPDA dengan bahan pengisi sekam padi dicampur silicone rubber, yang terkontaminasi polutan buatan pernah dilakukan sebelumnya [4], namun hanya menggunakan analisis arus bocor. Sedangkan pada saat terjadi arus bocor juga bisa diamati menggunakan gelombang akustik, karena pada saat kondisi tracking bahan isolasi akan menghasilkan gelombang akustik yang diakibatkan oleh gesekan partikel bahan isolasi dengan elektron yang melewati permukaan bahan [5]. Gelombang ini dapat dipakai sebagai indikasi adanya aliran arus bocor pada permukaan bahan isolasi.

Berdasarkan beberapa faktor tersebut maka makalah ini meneliti arus bocor pada komposisi sampel bahan isolasi resin epoksi dengan variasi komposisi 20%, 30% dan 40%. Analisis arus bocor menggunakan metode *Inclined-Plane Tracking* (IPT) yang diatur dalam IEC 587:1984.[6] dan analisis amplitude gelombang akustik untuk tiap variasi komposisi.

## 2. Metode

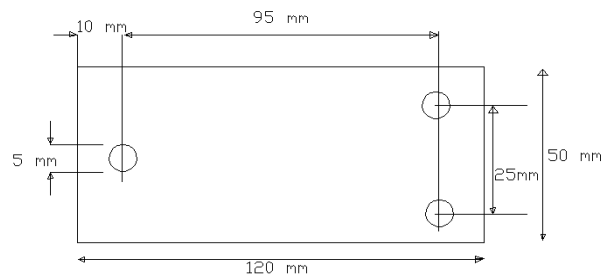
### 2.1. Pembuatan Sampel Uji

Sampel uji isolator yang digunakan adalah isolator resin epoksi dengan campuran pengisi silicone rubber / silane dan sekam padi, memiliki komposisi penyusun bahan uji pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi penyusun bahan uji

Komposisi i Bahan Pengisi (%)	Massa Bahan Pengisi (gram)	Massa Silane (gram)	Massa DGEBA (gram)	Massa MPDA (gram)	Kode Sampel
20	10	10	40	40	RTV 22
30	15	15	35	35	RTV 23
40	20	20	30	30	RTV 24

Dimensi sampel bahan uji dengan ukuran 120 x 50 x 5 mm dapat dilihat pada gambar 1. Proses pembuatan sampel uji dengan mencampurkan DGEBA 40 gram, Silane 10 gram, serbuk silika 10 gram lalu diaduk hingga merata. Lalu menambahkan 40 gram MPDA untuk proses mengeringkan bahan resin DGEBA yang sudah dicampur dengan silane dan silika. Hasil campuran tersebut lalu dicetak di atas permukaan plastik mika lalu dijepit. Setelah kering, hasil cetakan tersebut dipotong sesuai dengan dimensi pada gambar 1.



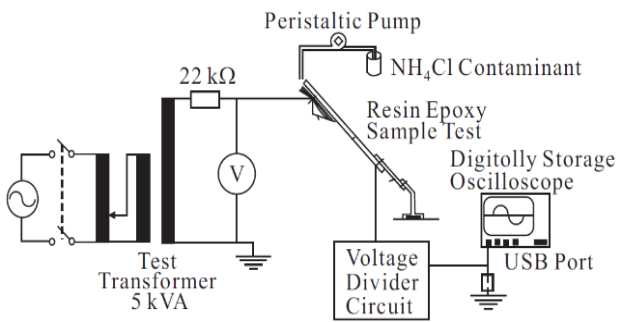
Gambar 1. Dimensi Sampel Uji [6]

Tabel 2. Jumlah sampel yang dibuat tiap variasi pada jenis bahan pengisi

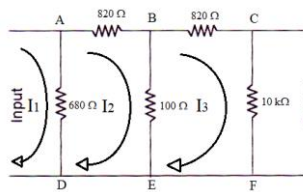
Variasi Komposisi Bahan Pengisi	Variasi Jenis Bahan Pengisi Sekam Padi	Jumlah
20%	3 buah	3 buah
30%	3 buah	3 buah
40%	3 buah	3 buah
<b>TOTAL</b>		<b>9 buah</b>

### 2.2. Pengukuran Arus Bocor

Pengukuran arus bocor menggunakan metode *Incline-Plane Tracking* (IPT) berdasarkan standar IEC 587:1984. Rangkaian pengukuran ditunjukkan pada gambar 2. Pada pengukuran digunakan metode tegangan tetap dengan kondisi basah. Pengamatan arus bocor menggunakan bantuan osiloskop untuk merekam gelombang arusnya. Piranti pengamanan dan perlindungan osiloskop untuk membatasi tegangan yang tinggi dengan memasang rangkaian pembagi tegangan yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 2. Rangkaian Pengukuran Arus Bocor[3]

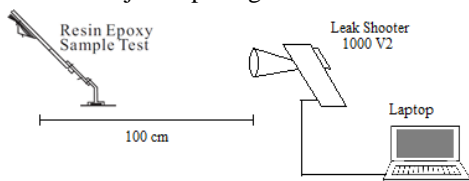


Gambar 3. Rangkaian Pembagi Tegangan Resistif

Pengukuran dilakukan dengan pembatasan terjadinya penjeakan permukaan sejauh 25 mm dari elektroda bawah atau dengan maksimal waktu pengukuran 1 jam.

### 2.3. Pengukuran Gelombang Akustik Arus Bocor

Pengujian gelombang akustik dari arus bocor diatur dalam IEC 60270:2000 dengan frekuensi *partial discharge* yang sudah ditentukan yaitu di atas 20 kHz[4]. Pada pengujian tersebut dapat digunakan beberapa jenis transducer ultrasonik. Pada Pengujian ini *transducer* yang digunakan adalah Leak Shooter 1000 V2. Rangkaian akuisisi data ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian uji Gelombang Akustik arus Bocor

Pengukuran dilakukan dengan jarak 100 cm antara elektroda dan Leak Shooter menggunakan *software* Audacity dengan sensitivitas 104 dB dan *frequency detection* 40 KHz.

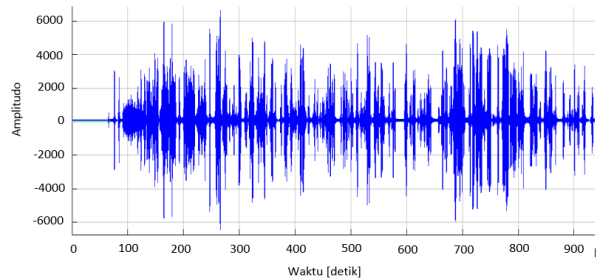
## 3. Hasil dan Analisis

### 3.1. Pengaruh Penambahan Bahan Pengisi Terhadap Arus Bocor dan Magnitude Gelombang Akustik

Pengujian ini menghasilkan nilai arus bocor dengan bantuan osiloskop yang ditunjukkan pada gambar 5 dan gelombang akustik yang ditunjukkan gambar 6.



Gambar 5. Grafik Pengukuran Arus Bocor



Gambar 6. Gelombang Akustik Arus Bocor

Gelombang arus bocor hasil pengukuran menunjukkan adanya arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator sehingga terjadinya kenaikan suhu pada permukaan yang menunjukkan partikel silika mengalami pembakaran[4]. Hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 3.

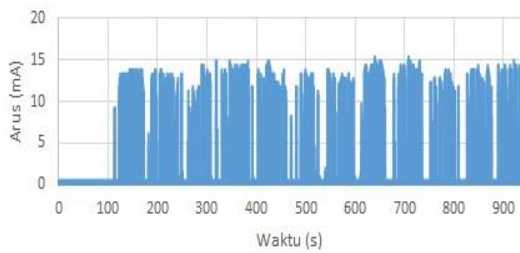
Tabel 3. Data hasil pengukuran Arus Bocor dan Gelombang Akustik

Komposisi Pengisi [%]	Data			
	Arus Lucutan (mA)	Magnitude Lucutan	Arus Maksimal (mA)	Magnitude Arus Maksimal
20	10,27	155,26	14,38	2880,87
	2,05	1360,08	15,92	1057,68
	2,57	251,46	15,41	2807,30
Rata - Rata	<b>4,96</b>	<b>588,94</b>	<b>15,24</b>	<b>2248,62</b>
30	2,57	613,18	15,41	2759,99
	2,57	702,85	14,89	2403,86
	2,05	126,41	16,44	2315,52
Rata - Rata	<b>2,40</b>	<b>480,81</b>	<b>15,58</b>	<b>2493,12</b>
40	7,19	433,30	15,92	1670,18
	2,05	530,84	15,92	1334,92
	2,57	541,37	18,49	2659,78
Rata - Rata	<b>3,94</b>	<b>501,84</b>	<b>16,78</b>	<b>1888,29</b>

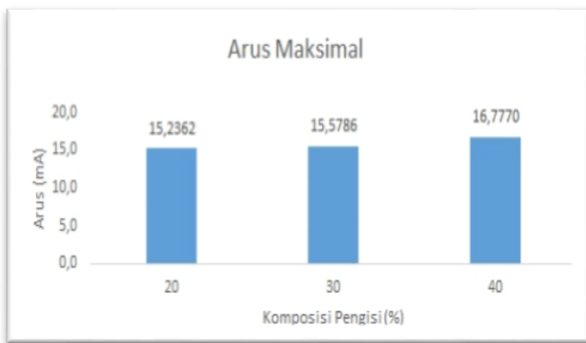
Hasil pengukuran arus bocor terdapat nilai arus lucutan maksimum yang melebihi yaitu sebesar 10,27mA pada komposisi pengisi 20% karena terjadi lonjakan arus lucutan kondisi tidak normal. Demikian juga pada komposisi pengisi 40% sebesar 7,19 mA.

Hubungan dan pengaruh komposisi bahan pengisi terhadap nilai arus bocor lucutan pertama ditunjukkan pada gambar 7 dan grafik pengaruh pada arus maksimal ditunjukkan pada

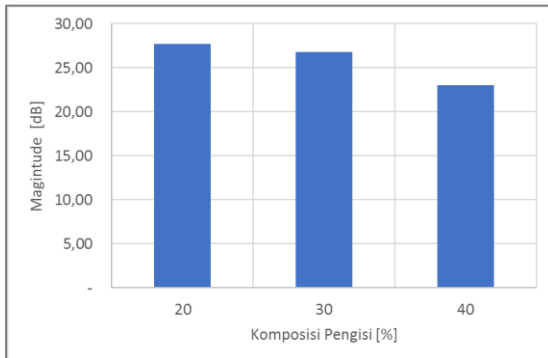
gambar 8. Metode pengukuran gelombang akustik ditampilkan pada gambar 9 dan 10.



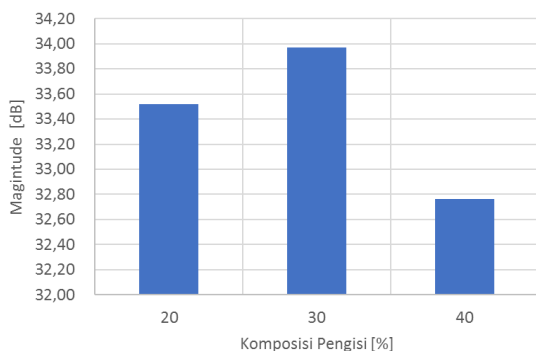
Gambar 7. Grafik Arus Lucutan Pertama



Gambar 8. Grafik Arus Bocor Maksimal



Gambar 9. Grafik Magnitude Gelombang Akustik Lucutan Pertama



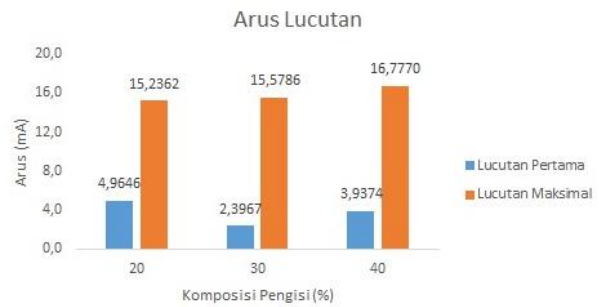
Gambar 10. Grafik Magnitude Gelombang Akustik Arus Maksimal

Berdasarkan nilai arus lucutan pertama, arus maksimal, magnitude lucutan awal, dan magnitude maksimal pada gambar 7, 8, 9, dan 10 ditunjukkan bahwa nilai komposisi 30 persen pada jenis bahan pengisi sekam padi memiliki nilai paling kecil.

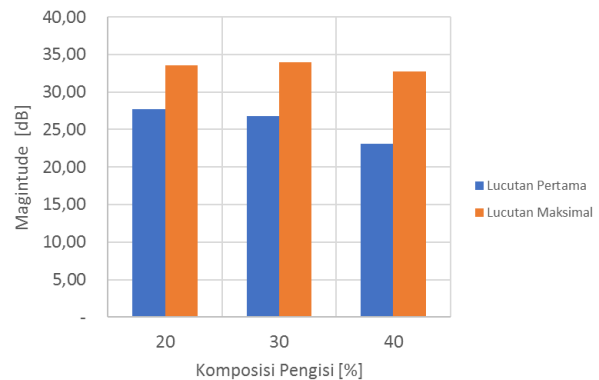
Kenaikan nilai rata-rata arus bocor lucutan awal, arus maksimal, *magnitude* lucutan awal, dan *magnitude* maksimal yang tidak linear disebabkan akibat isolator yang digunakan tidak homogen, dimana masih terdapat gelembung udara yang jumlahnya berbeda-beda tiap sampel sehingga hasil pengukuran tiap sampel mengalami perbedaan. Hasil pengukuran serupa juga dilakukan oleh Yanolanda [13] dimana nilai optimum dalam persentase bahan pengisi adalah 30% yang dilakukan pada bahan pengisi pasir silika.

### 3.2. Perbandingan Metode Pengujian *Inclined-Plane Tracking* dengan Metode *Acoustic Wave Signal*

Berdasarkan penerapan dua metode pengujian, besar arus bocor dan besar *magnitude* dengan variasi bahan pengisi isolator didapatkan hubungan antara kedua metode tersebut. Hasil dari kedua metode tersebut ditampilkan pada gambar 11 dan 11.



Gambar 11. Grafik Arus Bocor Menggunakan Metode *Inclined-Plane Tracking*



Gambar 12. Grafik *Magnitude* Menggunakan Metode *Acoustic Emission Properties of Partial*

Dari hasil penelitian terhadap besar nilai arus bocor dan *magnitude* gelombang akustik memiliki grafik sejajar yang

berarti semakin kecil nilai arus bocor, maka semakin kecil nilai *magnitude* dari gelombang akustik yang dihasilkan oleh bahan isolator. Hal ini dapat disebabkan karena banyak gesekan antara elektron dan material pada permukaan isolator berbanding lurus dengan besarnya arus yang melewati permukaan tersebut[4].

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan dalam mengukur kekuatan bahan isolator dapat dilakukan dengan dua cara yaitu mengukur besar arus bocor yaitu menggunakan metode *Inclined-Planned Tracking* dan juga analisis gelombang akustik dengan menggunakan metode *acoustic emission properties of partial discharge*.

Metode *Inclined-Plane Tracking* [6,10] memiliki kelebihan dalam penampilan data arus bocor dan memiliki sensitivitas yang tinggi karena pengujian dilakukan secara langsung sehingga alat yang digunakan dalam membaca besar arus memiliki efisiensi tinggi dalam pembacaan, namun metode ini memiliki kekurangan yaitu bahan uji harus ditempatkan pada rangkaian uji yang sudah ditentukan sehingga tidak dapat mengukur bahan isolator dengan kondisi bekerja sesuai aplikasi dari bahan isolator itu sendiri.

Metode *acoustic emission propeties of partial discharge* [8,9,11] memiliki kelebihan dalam fleksibilitas pengujian karena data yang diakuisisi tidak mempengaruhi atau merubah rangkaian dari bahan isolator yang akan diuji sehingga metode ini dapat digunakan ketika isolator bekerja sesuai dengan aplikasi lapangan, namun metode ini memiliki kekurangan yaitu besar nilai arus bocor tidak dapat diukur secara tepat karena media perantara dari data yang didapat mudah terjadi noise dari lingkungan.

#### 4. Kesimpulan

Hasil pengukuran arus bocor menggunakan metode *Incline-Plane Tracking* menunjukkan bahwa komposisi bahan isolator dengan *filler* sekam padi sebesar 30% dengan besar arus bocor lucutan awal sebesar 2,40 mA dengan lucutan maksimal 15,58 mA. Berdasarkan hasil penelitian besar arus bocor mempengaruhi besar *magnitude* dari gelombang akustik yang dihasilkan oleh kegiatan *tracking* pada permukaan bahan isolasi besar *magnitude* saat lucutan awal 26,82 dB dan *magnitude* arus puncak sebesar 33, 97 dB untuk komposisi bahan pengisi 30%. Semakin besar arus bocor, maka besar *magnitude* yang dihasilkan semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin banyak aktivitas gesekan antara arus yang mengalir pada jalur pita kering di permukaan isolator maka semakin besar pula *magnitude* gelombang akustik yang dihasilkan. Pada variasi komposisi yang digunakan, pada perbandingan persentase bahan pengisi sebesar 30 persen memiliki nilai paling kecil pada saat arus bocor lucutan awal. Penggunaan variasi metode yang digunakan meunjukkan bahwa kedua metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Metode dapat digunakan sesuai dengan

kebutuhan dalam menguji kekuatan dari bahan isolasi dalam menahan tegangan. Pada metode *Inclined-Plane Tracking* dapat digunakan dalam pengujian aktual dengan skala laboratorium, sedangkan metode *Acoustic Emission Properties of Partial Discharge* dapat digunakan pada saat isolator kondisi bertegangan.

#### Referensi

- [1]. A. Syakur, H. Berahim. Hydrophobic Contact Angle and Surface Degradation of Epoxy Resin Compound with Silicon Rubber and Silica. *Electr Electron Eng* 2012;2(5):284–91.
- [2]. L. A. Dissado, J.C. Electrical Degradation and Breakdown in Polymers. *IET Mater Devices* 1992; Series 9.
- [3]. A. Syakur, H. Berahim. "Leakage Current Measurement of Epoxy Resin Compound with Silicone Rubber," *Proc. International Conf. Electrical Eng. Informatics*, 2011.
- [4]. Ali, Z., Syakur, A., Hermawan, "Analisis Arus Bocor pada Bahan Isolator Resin Epoksi campuran silikon Rubber dan Silica Abu Sekam Padi dengan Variasi Tegangan menggunakan Metode Pengukuran *Inclined Plane Tracking*," *Transient*, Vol. 6 No. 2 Juni 2017.
- [5]. Janus P. *Acoustic Emmision Properties of Partial Discharge in the time-domain and their application*. 2012.
- [6]. BS 5604:1986, IEC 587:1984. *Methods for Evaluating Resistance to Tracking and Erosion of Electrical Insulating Materials Used Under Severe Ambient Conditions*. British Standards Institution (BSI); 1999.
- [7]. Salama M, Putera R. *Electrical and Mechanical Properties of Fly Ash Filled Silicone rubber for High Voltage Insulator*. *ARPN J Eng Appl Sci* 2015 pp 10:17.
- [8]. L.W. Meng. "Detecting Partial Discharge with Ultrasonic Measurement," *Singapore Eng*, 2002.
- [9]. J. Dzmura, J. Petras, J. Balogh. "Partial Discharge Measurements Using Acoustic Methods," *Automatica*, no. 4, 2008.
- [10]. A. Syakur, H. Berahim. Leakage Current Measurement of Epoxy Resin Compound with Silicone Rubber. *Proc Int Conf Electr Eng Informatics* 2011
- [11]. Dzmura J, Petras J, Balogh J. Partial Discharge Measurements Using Acoustic Methods. *Automatica* 2008; Nr. 4.
- [12]. J. Kindersberger, A. Schuetz. "Service Performance Material Design and Application of Composite Insulator with Silicone Rubber Housing," *CIGRE*, no. 33, hal. 303, 1996.
- [13]. Yanolanda, S, Suharyanto, Pengaruh Radiasi UV Buatan Terhadap Kerusakan Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Silane, *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, (JNTETI), Vol.2, No.4, November 2013, hal. 299 – 306.