

ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI BAHAN ISOLATOR TERHADAP FENOMENA *SURFACE DISCHARGE* DENGAN METODE PENGUKURAN ARUS BOCOR DAN GELOMBANG SINYAL AKUSTIK

Agus Sutaryono^{*)}, Abdul Syakur dan Hermawan

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

**)E-mail: agus_sutaryono@ymail.com*

Abstrak

Penelitian terhadap bahan isolator polimer saat ini masih menjadi tantangan. Kemampuan isolator polimer yang ringan dan dapat ditambahkan pengisi untuk memperbaiki kekuatan isolator menjadi sebuah tujuan riset, namun kondisi lingkungan mempengaruhi kinerja isolator polimer di luar ruangan dimana terdapat beberapa faktor yang menurunkan kinerja isolator. Dibutuhkan metode pengukuran yang dapat diterapkan pada saat isolator bekerja tanpa mengganggu kinerja jaringan. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran arus bocor kondisi basah terhadap permukaan bahan isolator dengan metode pengukuran Inclined-Planed Tracking (IPT) sesuai standart IEC 587:1984 dengan kontaminan NH₄Cl dan metode pengukuran Acoustic Emission Properties Of Partial Discharge sesuai dengan standart IEC 60270:2000 dengan parameter gelombang akustik. Sampel pengukuran menggunakan bahan isolasi resin epoksi yang terbuat dari campuran Diglycidyl Ether of Bisphenol-A (DGEBA) dan Metaphenylene Diamine (MPDA) dengan campuran bahan pengisi silicone rubber, fly ash, sekam padi, dan fiber glass. Parameter yang dianalisa adalah arus bocor lucutan pertama, arus maksimal, magnitude lucutan awal dan magnitude maksimal. Persentase bahan pengisi sebesar 20, 30, dan 40. Hasil pengukuran menunjukkan penggunaan bahan fiber glass dengan komposisi 30 persen memiliki arus bocor yang paling kecil.

Kata kunci : resin epoksi, fly ash, sekam padi, fiber glass, gelombang akustik, arus bocor.

Abstract

Research on polymer insulator is still a challenge. Lighter polymer insulator and added filler to improve the strength of the insulator is still a research, but environmental condition affect the performance of outdoor polymer insulator where there are several factors that decrease the performance of the insulator. It takes a measurement method that can be applied when works without disrupting the network performance. In this research, we measured the leakage current of wet condition on the surface of insulating material with Inclined-Planed Tracking (IPT) measurement method according to IEC 587: 1984 standard with contaminant of NH₄Cl and Acoustic Emmission Properties Of Partial Discharge measurement method according to IEC 60260:2000 with acoustic waveform parameter. The measurement sample used an epoxy resin insulation material made from a mixture of Diglycidyl Ether of Bisphenol-A (DGEBA) and Metaphenylene Diamine (MPDA) with a mixture of silicone rubber, fly ash, rich husk ash, and fiber glass filler. In this research were analyzed first leakage current, max current, initial discharge magnitude and maximum magnitude. The study used the percentage of fillers of 20, 30, and 40. The measurement results showed the use of glass fiber material with 30 percent composition has the least leakage current.

Keywords: epoxy resin, fly ash, rich husk ash, fiber glass, acoustic weveform, leakage current.

1. Pendahuluan

Penggunaan energi listrik di Indonesia semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi. Dengan meningkatnya penggunaan energi listrik maka dibutuhkan sistem tenaga listrik yang handal dan memadai. Untuk merealisasikan sarana tersebut perlu adanya prasarana yang menunjang. Salah satunya adalah menjaga *energy loss* pada jaringan dapat ditekan. Upaya menekan *energy*

loss dapat dilakukan dengan menjaga saluran bertegangan tetap terisolir yaitu menggunakan media isolasi. Isolator inilah yang merupakan komponen penting pada sistem tenaga listrik seperti pada gardu induk, jaringan transmisi dan distribusi[1].

Komponen isolator yang biasa digunakan didalam jaringan memiliki bahan baku bermacam macam salah satu dari jenis isolator yang sedang dikembangkan adalah isolator polimer. Isolator polimer memiliki banyak keuntungan

seperti: 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].

Dalam kinerjanya sebagai isolator, kondisi lingkungan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja material itu sendiri. 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].

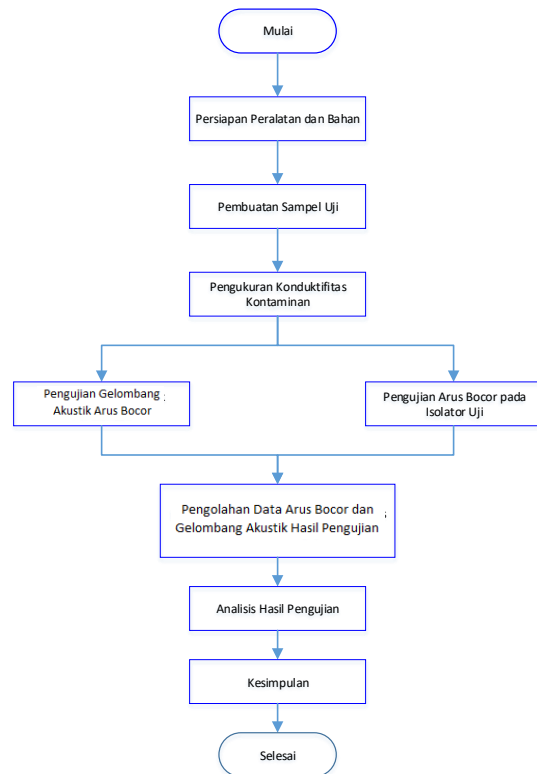
Untuk meningkatkan dan mengatasi kelemahan pada isolator polimer ditambahkan bahan lain yang disebut filler (pengisi). Penggunaan filler bertujuan untuk memperbaiki kinerja polimer sekaligus menekan biaya pembuatan isolator polimer. Penelitian mengenai persentase campuran dan jenis filler yang berbeda terhadap besar arus bocor bahan isolasi resin epoksi jenis DGEBA berbahan penguas MPDA dengan bahan pengisi fly-ash, sekam padi, dan fiber glass dicampur silicone rubber, yang terkontaminasi polutan buatan pernah dilakukan.

Pada saat kondisi tracking bahan isolasi akan menghasilkan gelombang akustik yang diakibatkan oleh gesekan partikel bahan isolasi dengan elektron yang melewati permukaan bahan[4]. Gelombang ini dapat dipakai sebagai indikasi adanya aliran arus bocor pada permukaan bahan isolasi. Penelitian tentang pemanfaatan gelombang akustik pada peralatan tenaga listrik sudah dilakukan.

Berdasarkan uraian tersebut maka dalam Penelitian ini akan menganalisis karakteristik arus bocor dan amplitude gelombang akustik sampel bahan isolasi resin epoksi dengan variasi komposisi 20%, 30% dan 40% pada variasi bahan pengisi fly ash, sekam padi, dan fiber glass dengan tegangan konstan menggunakan metode Inclined-Plane Tracking (IPT) yang diatur dalam IEC 587:1984.[6]

2. Metode

2.1. Prosedur Penelitian



Gambar 1. Prosedur penelitian

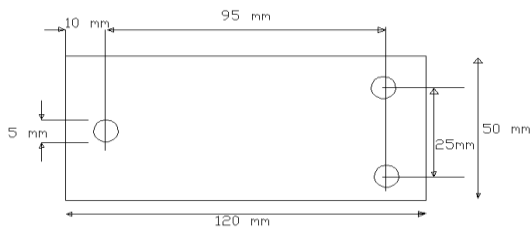
2.2. Pembuatan Sampel Uji

Dalam pengukuran ini sampel uji isolator yang digunakan adalah isolator resin epoksi dengan campuran pengisi silicone rubber / silane, fly ash, sekam padi, dan fiber glass, memiliki komposisi penyusun bahan uji pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi penyusun bahan uji

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

Dimensi sampel bahan uji dibuat dengan ukuran 120 x 50 x 5 mm dapat dilihat pada gambar 2.



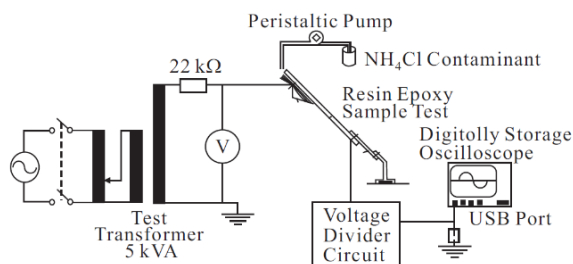
Gambar 2. Dimensi Sampel Uji [5]

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

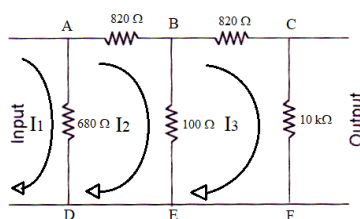
Variasi Komposisi Bahan Pengisi	Variasi Jenis Bahan Pengisi			Jumlah
	Fly Ash	Sekam Padi	Fiber Glass	
20%	3 buah	3 buah	3 buah	9 buah
30%	3 buah	3 buah	3 buah	9 buah
40%	3 buah	3 buah	3 buah	9 buah
TOTAL				27 buah

2.3. Pengukuran Arus Bocor

Pengukuran arus bocor menggunakan metode *Incline-Plane Tracking* (IPT) berdasarkan standart IEC 587:1984. Rangkaian pengukuran ditunjukkan pada gambar 3. 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 tegan yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 3. Rangkaian Pengukuran Arus Bocor[3]

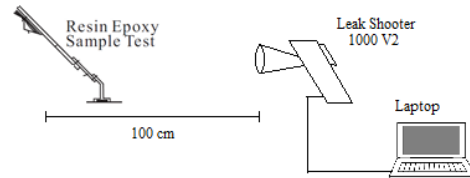


Gambar 4. Rangkaian Pembagi Tegangan Resistif

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

2.4. Pengukuran Gelombang Akustik Arus Bocor

Pengujian gelombang akustik dari arus bocor diatur dalam IEC 60270:2000 dengan frekuensi *partial discharge* yang sudah ditentukan yaitu diatas 20 kHz. 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 5.



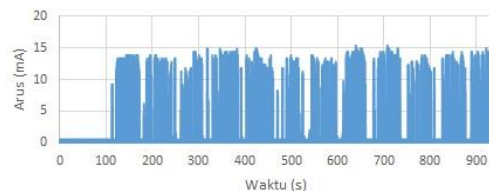
Gambar 5. Rangkaian Pengujian Gelombang Akustik arus Bocor

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

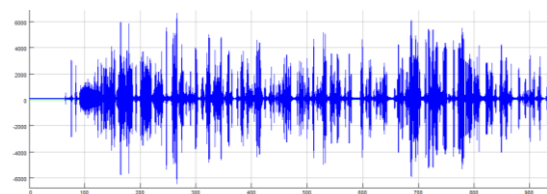
3. Hasil dan Analisa

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

Pengujian ini menghasilkan nilai arus bocor dengan bantuan osiloskop yang ditunjukkan pada gambar 6 dan gelombang akustik yang ditunjukkan gambar 7. 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 Pengujian ditunjukkan pada tabel 3.



Gambar 6. Grafik Pengukuran Arus Bocor



Gambar 7. Gelombang Akustik Arus Bocor

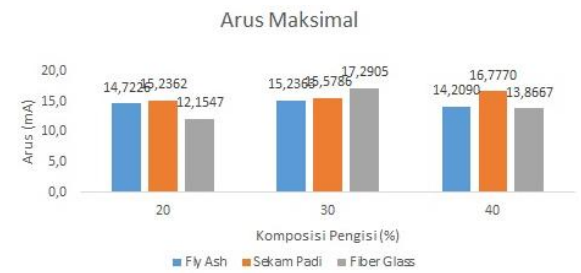
Tabel 3. Data Pengujian Arus Bocor dan Gelombang Akustik

No.	Jenis Isolasi	Campuran	Data			
			Arus Lucutan (mA)	Magnitude Lucutan	Arus Maksimal (mA)	Magnitude Arus Maksimal
1			8,2173	58,0346	13,3531	112,4370
2		22	4,1086	653,7591	15,4074	2216,9941
3			6,6765	3799,6003	15,4074	2932,3901
		Rata - Rata	6,3342	1503,7980	14,7226	1753,9404
4	RTV Fly Ash		8,7309	2059,5044	15,4074	3115,1499
5		23	2,0543	69,9672	14,8940	2562,1387
6			2,0543	158,1916	15,4074	5070,1753
		Rata - Rata	4,2798	762,5544	15,2363	3582,4880
7			2,0543	1440,4440	14,3802	1146,1318
8		24	4,6222	286,8540	14,3802	4185,3237
9			3,0815	176,6335	13,8667	2677,5664
		Rata - Rata	3,2527	634,6438	14,2090	2669,6740
10			10,2716	155,2612	14,3802	2880,8709
11		22	2,0543	1360,0800	15,9210	1057,6754
12			2,5679	251,4638	15,4074	2807,2996
		Rata - Rata	4,9646	588,9350	15,2362	2248,6153
13	RTV Sekam Padi		2,5679	613,1829	15,4074	2759,9917
14		23	2,5679	702,8461	14,8938	2403,8594
15			2,0543	126,4089	16,4346	2315,5200
		Rata - Rata	2,3967	480,8126	15,5786	2493,1237
16			7,1901	33,3005	15,9210	1670,1829
17		24	2,0543	530,8367	15,9210	1334,9193
18			2,5679	41,3717	18,4889	2659,7810
		Rata - Rata	3,9374	201,8363	16,7770	1888,2944
19			3,0815	317,1718	6,1630	1037,7924
20		22	4,1086	266,3472	20,0296	2818,2219
21			3,0815	38,5757	10,2716	1088,4624
		Rata - Rata	3,4239	207,3649	12,1547	1648,1589
22	RTV Fiber Glass		2,0543	47,3531	25,1654	1806,2233
23		23	2,0543	109,6249	14,8938	1223,6121
24			2,0543	64,5062	11,8123	1173,9879
		Rata - Rata	2,0543	73,8281	17,2905	1401,2744
25			3,5951	66,6250	13,3531	387,1614
26		24	2,5679	368,3220	12,8395	2352,0642
27			4,6222	35,2253	15,4074	1309,0935
		Rata - Rata	3,5951	156,7241	13,8667	1349,4397

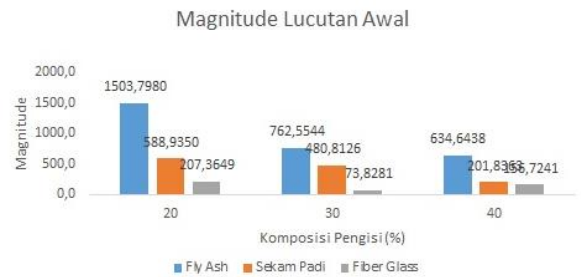
Hubungan dan pengaruh komposisi bahan pengisi terhadap nilai arus bocor lucutan pertama ditunjukkan pada gambar 8., dan grafik pengaruh pada arus maksimal ditunjukkan pada gambar 9. Metode pengukuran gelombang akustik ditampilkan pada gambar 10 dan 11.



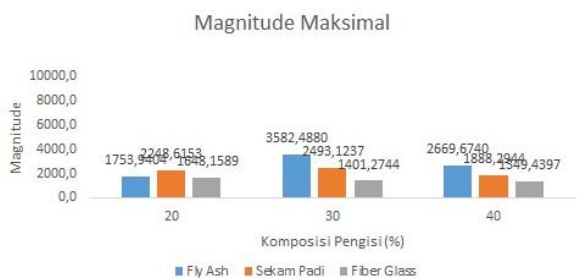
Gambar 8. Grafik Arus Lucutan Pertama



Gambar 9. Grafik Arus Bocor Maksimal



Gambar 10. Grafik Magnitude Gelombang Akustik Lucutan Pertama



Gambar 11. Grafik Magnitude Gelombang Akustik Arus Maksimal

Berdasarkan nilai arus lucutan pertama, arus maksimal, magnitude lucutan awal, dan magnitude maksimal pada gambar 8, 9, 10, dan 11 ditunjukkan bahwa nilai komposisi 30 persen pada jenis bahan pengisi sekam padi dan fiber

glass memiliki nilai optimum, sedangkan untuk jenis bahan pengisi *fly ash* memiliki persentase optimum pada komposisi 40 persen karena menunjukkan besar arus bocor dengan nilai terkecil.

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 Abdul Syukur (2011) dimana nilai optimum dalam persentase bahan pengisi adalah 40% yang dilakukan pada bahan pengisi *fly ash*.

3.2 Pengaruh Jenis Bahan Pengisi Terhadap Arus Bocor dan Magnitude Gelombang Akustik

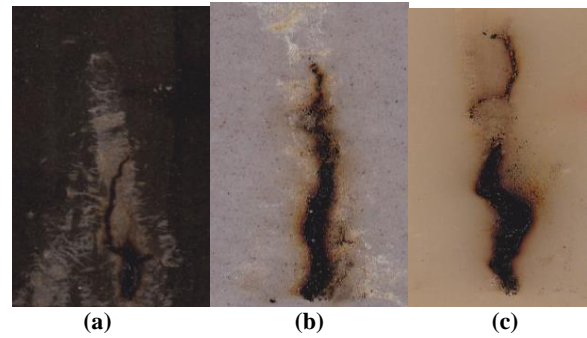
Penambahan pengisi bahan isolator dengan *fly ash*, sekam padi, dan *fiber glass* berpengaruh terhadap besar arus bocor dan *magnitude* yang dihasilkan. Hasil dari penelitian terhadap arus lucutan pertama, arus maksimal, *magnitude* lucutan pertama, dan *magnitude* maksimal ditunjukkan pada tabel 4.

Hasil penelitian pada setiap jenis bahan pengisi memiliki karakteristik yang berbeda dalam proses *tracking* pada permukaan bahan isolator yang diuji yang ditampilkan pada gambar 12..

Tabel 4. Data Pengujian Arus Bocor Rata –Rata dan Gelombang Akustik

No	Jenis Isolasi	Campuran	Data			
			Arus Lucutan Rata-Rata (mA)	Magnitude Lucutan Rata-Rata	Arus Maksimal Rata-Rata (mA)	Magnitude Arus Maksimal Rata-Rata
1	Fly Ash	22	6,3342	1503,7980	14,7226	1753,9404
2		23	4,2798	762,5544	15,2363	1582,4880
3		24	3,2527	634,6438	14,2090	2669,6740
		Rata – Rata	4,6222	966,9987	14,7226	2002,0341
4	Sekam Padi	22	4,9646	588,9350	15,2362	2248,6153
5		23	2,3967	480,8126	15,5786	2493,1237
6		24	3,9374	201,8363	16,7770	1888,2944
		Rata – Rata	3,7662	423,8613	15,8639	2210,0111
7	Fiber Glass	22	3,4239	207,3649	12,1547	1648,1589
8		23	2,0543	73,8281	17,2905	1401,2744
9		24	3,5951	156,7241	13,8667	1349,4397
		Rata – Rata	3,0244	145,9724	14,4373	1466,2910

Hubungan dan pengaruh komposisi bahan pengisi terhadap nilai arus bocor lucutan pertama ditunjukkan pada gambar 13 dan grafik pengaruh pada arus maksimal ditunjukkan pada gambar 14. Metode pengukuran gelombang akustik ditampilkan pada gambar 15 dan 16.



a). Fly Ash, b). Sekam Padi, c). Fiber Glass
Gambar 12. Permukaan Bahan Isolator Setelah Pengujian



Gambar 13. Grafik Perbandingan Jenis Bahan Pengisi dengan Arus Lucutan Pertama



Gambar 14. Grafik Perbandingan Jenis Bahan Pengisi dengan Arus Bocor Maksimal



Gambar 15. Grafik Perbandingan Jenis Bahan Pengisi dengan Magnitude Gelombang Akustik Lucutan Pertama



Gambar 16. Grafik Perbandingan Jenis Bahan Pengisi dengan Magnitude Arus Maksimal

Berdasarkan nilai arus lucutan pertama, arus maksimal, magnitude lucutan awal, dan magnitude arus maksimal pada gambar 13, 14, 15, dan 16 ditunjukkan bahwa jenis bahan pengisi fiber glass memiliki nilai yang terkecil sehingga dapat disimpulkan bahwa dari tiga bahan pengisi yang dibandingkan dalam penelitian ini bahan pengisi *fiber glass* adalah bahan pengisi yang paling optimal.

Fiber Glass memiliki struktur senyawa yang baik karena berbentuk benda cair sehingga pada permukaan bahan isolasi memiliki sifat *hidrofobik* yang tinggi dan dapat mengalirkan aliran air dengan baik dan mencegah terjadinya pita kering pada permukaan. Struktur bahan *fiber glass* diperkuat sehingga arus yang melewati permukaan bahan isolasi dapat ditahan dengan baik.

Hasil pengukuran serupa juga dilakukan oleh Fathu Rohman (2008) dimana bahan pengisi yang paling baik adalah fiber glass dibandingkan dengan alumina dan pasir silika

3.3 Perbandingan Metode Pengujian Inclined-Plane Tracking dengan Metode Acoustic Emission Propertie Of Partial Discharge

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 17 dan 18.



Gambar 17. Grafik Arus Bocor Menggunakan Metode *Inclined-Plane Tracking* pada Lucutan Awal



Gambar 18. Grafik *Magnitude* Menggunakan Metode *Acoustic Emission Properties of Partial Disharge* pada Lucutan Awal

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-Planed Tracking* dan juga analisis gelombang akustik dengan menggunakan metode *acoustic emission properties of partial discharge*.

Metode *Inclined-Plane Tracking* 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* 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

Berdasarkan hasil penelitian dengan metode *Incline-Plane Tracking* mekanisme terjadinya arus bocor pada permukaan material isolasi diawali ketika lapisan polutan NH_4Cl mengalir, maka tahanan permukaan sampel bahan isolasi akan menurun sehingga arus bocor akan melewati permukaan isolator. Semakin tinggi arus bocor maka suhu akan meningkat sehingga terjadi proses penguapan air yang dapat menghasilkan pita kering pada permukaan bahan isolasi. Ketika kekuatan dielektrik melebihi kekuatan dielektrik udara maka terjadi pelepasan muatan berupa busur api yang menuntun terjadinya flashover. Berdasarkan hasil penelitian besar arus bocor mempengaruhi besar *magnitude* dari gelombang akustik yang dihasilkan oleh kegiatan *tracking* pada permukaan bahan isolasi. 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 jenis campuran bahan pengisi *fiber glass* dengan perbandingan persentase bahan pengisi sebesar 30 persen memiliki nilai optimum pada saat arus bocor lucutan awal, namun memiliki kelemahan pada besar arus maksimal yang dapat ditahan. Sedangkan jenis bahan pengisi yang dapat menahan besar arus maksimal terbaik persentase

yang diberikan sebesar 20 persen. 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 diaplikasikan sesuai dengan kebutuhan.

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] R.S., Ansurulah. Pengaruh Jenis dan Bobot Polutan Terhadap Karakteristik Harmonik Arus bocor Isolator Epoxy Resin. 2006;A
- [4] Janus P. *Acoustic Emmision Properties of Partial Discharge in the time-domain and their application*. 2012
- [5] Syakur A, Susilowati DI, Berahim H. Kerja Isolator Bahan Resin Epoksi dengan Kontaminan Pantai. *J Sist Komput* 2012;2(1):17–22.
- [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. *ARNP J Eng Appl Sci* 2015;10:17.
- [8] Rohman F. *Flasover Pada Bahan Isolasi Resin Epoksi dengan Bahan Pengisi Alumina, Pasir Silika, dan Fiber Glass*. 2007
- [9] Syakur A, Darmawan E. Analisis Pengaruh Jenis Kontaminan terhadap Arus Bocor dan THD (Total Harmonic Distortion) pada Isolator Polimer Resin Epoksi 20 KV dengan Variasi Tegangan Uji. *Transmisi* 2015;4(3):532–41.
- [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] Anggraini IN. Analisis Arus Bocor Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Dengan Bahan Pengisi Rice Husk Ask dan Silicone Rubber. *J Amplifire* Vol 3, No 1 2013;
- [13] Meng LW. *Detecting Partial Discharge with Ultrasonic Measurement*. Singapore Eng 2002;