

ANALISIS DEGRADASI PERMUKAAN BAHAN ISOLASI RESIN EPOKSI DENGAN PENGISI PASIR PANTAI YANG MENGANDUNG BANYAK KALSIUM

Moh Toni Prasetyo^{1*}, Hamzah Berahim², T. Haryono²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang
Jl. Kasipah No.12 Semarang

²Jurusan Teknik Elektro FT UGM

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281

*Email : toniprast@gmail.com

Abstrak

Bahan isolator udara yang dioperasikan pada tegangan tinggi adalah bahan polimer. Salah satunya adalah resin epoksi karena memiliki beberapa kelebihan. Namun memiliki kekurangan yaitu penuaan/degradasi pada permukaannya akibat pencemaran lingkungan. Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah komposit isolator polimer resin epoksi dengan nilai perbandingan (bahan dasar diglycidyl ether of bisphenol-A (DGEBA), bahan pengeras metaphenylenediamine (MPDA)) 1:1 dengan variasi peningkatan ukuran nilai pengisi (filler) pasir pantai dan silane 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Penelitian dilakukan menurut standar IEC 587 : 1984. Pengaruh variasi nilai konsentrasi terhadap nilai sudut kontak, bentuk gelombang arus bocor, dan degradasi permukaan yang diakibatkan proses penjejakan dan erosi beserta waktu penjejakannya dianalisis. Dari hasil penelitian, komposit epoksi resin yang digunakan pada penelitian ini dikategorikan bersifat hidrofobik dan basah sebagian. Penambahan konsentrasi pasir dan silane sebagai bahan pengisi, akan menambah besarnya sudut kontak, sehingga terjadi penambahan resistansi permukaan, akan memperkecil jalur karbon dan memperlambat peningkatan degradasi permukaan bahan isolasi, sehingga arus bocor tidak mudah mengalir. Nilai konsentrasi pengisi yang mempunyai kinerja optimal adalah 50%. Tetapi untuk konsentrasi yang paling tinggi yakni 50% secara fisik terlihat rapuh. Oleh karena itu untuk bahan isolator, yang mempunyai kinerja paling optimal terhadap proses penjejakan dan erosi adalah adalah 40%.

Kata kunci : Arus bocor, bahan pengisi, hidropobik, resin epoksi, sudut kontak

1. PENDAHULUAN

Material polimer khususnya resin epoksi sekarang ini telah digunakan secara luas sebagai isolasi peralatan tegangan tinggi karena mempunyai banyak keunggulan dibanding dengan material lain. Sebagai isolator pasangan luar, kondisi lingkungan cukup berpengaruh terhadap material isolasi. Adanya polutan di udara dapat menyebabkan permukaan isolator dilapisi oleh polutan yang mengendap. Saat terjadi hujan, polutan pada permukaan isolator akan larut dalam air dan membentuk jalur konduktif yang kontinyu sehingga dapat menyebabkan arus bocor. Adanya arus bocor ini menimbulkan panas yang akan mengeringkan polutan pada permukaan isolator. Hal inilah yang menyebabkan terbentuknya pita kering. Adanya pita kering memicu terjadinya pelepasan muatan ke udara dikarenakan distribusi medan listrik pada pita kering lebih tinggi dibanding daerah lainnya. Jika pita kering semakin meningkat, maka semakin lama akan menyebabkan terjadinya *flashover* yang merupakan kegagalan suatu isolator. Dari fenomena arus bocor dan dampak yang ditimbulkan seperti di atas melatarbelakangi pentingnya dilakukan penelitian mengenai arus bocor di laboratorium, khususnya pada material resin epoksi dengan silane dan pasir pantai sebagai pengisi.

Dalam melakukan penelitian terhadap arus bocor pada permukaan isolator ini digunakan metode *Inclined-Plane Tracking* (IPT) yang diatur dalam IEC 587:1984. Dalam metode ini, sampel material dengan ukuran tertentu diposisikan dengan sudut 45° dan diberikan cairan polutan buatan dengan aliran tertentu, sehingga metode ini sangat cocok untuk merepresentasikan keadaan isolator pasangan luar di Indonesia yang memiliki curah hujan yang tinggi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Polimer resin epoksi dengan *DGEBA (Diglycidyl Ether of Bisphenol-A)* sebagai bahan dasar, *MPDA (Metaphenylenediamine)* sebagai bahan pengeras.
- Silane* (lem kaca), dan pasir pantai Kukup yang banyak mengandung sebagai bahan pengisi.
- Polutan berupa NH_4Cl (*Ammonium Chloride*).

Tabel 1. Komposisi campuran resin epoksi dan bahan pengisi

No	Kode	Bahan Campuran (%)			
		DGEBA	MPDA	Silane	Pasir
1	RTV 10	45	45	5	5
2	RTV 20	40	40	10	10
3	RTV 30	35	35	15	15
4	RTV 40	30	30	20	20
5	RTV 50	25	25	25	25

2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Seperangkat alat pencetak bahan uji (kaca, mika, pengaduk, tempat *mixing* bahan uji).
- Seperangkat alat untuk mengukur sudut kontak (Kotak lampu dengan lampu 1000W, pipet tetes 50 μl , tempat menaruh polutan, dan kaca)
- Seperangkat alat untuk pengujian arus bocor (Elektroda atas dan elektroda bawah yang terbuat dari aluminium (*stainless steel*)), *support* untuk meletakkan sampel yang telah dijepit elektroda, kertas saring, pompa peristaltik (*peristaltik pump*)
- Peralatan standar pengukuran, trafo AC, osiloskop, kamera digital, dan komputer.

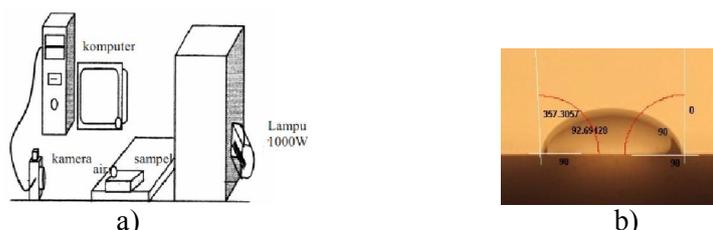
2.3 Langkah-langkah pengukuran

2.3.1 Pengujian Sudut Kontak

Pengujian sudut kontak ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat permukaan bahan uji. Sifat yang dimaksud yaitu sifat hidrofobik. Jika sudut yang didapat semakin besar, artinya besar kemungkinan bahan tersebut memiliki sifat hidrofobik. Semakin hidrofobik suatu permukaan bahan, maka semakin besar pula kekuatan bahan untuk menahan air agar tidak masuk ke dalam bahan. Langkah pengujian sudut kontak yaitu sebagai berikut.

- Meletakkan sampel dan menghidupkan kamera, keduanya diposisikan sedemikian rupa sehingga pada layar kamera, permukaan sampel tampak seperti garis lurus.
- Meneteskan air sebanyak 50 μl . Air yang diteteskan ini berupa polutan yang akan digunakan.
- Menghidupkan sumber cahaya agar titik air pada permukaan sampel tampak jelas.
- Memfoto dengan kamera digital, sehingga hasilnya dapat langsung dimasukkan ke dalam komputer untuk mendapatkan besar sudut kontak yang terukur.

Berikut adalah gambar rangkaian pengujian sudut kontak.



Gambar 1. a) Rangkaian penelitian sudut kontak b) Sudut kontak untuk sampel 40%

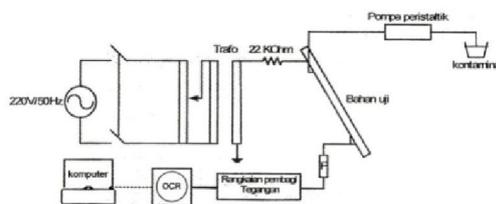
2.3.2 Pengujian Arus Bocor

Pengujian arus bocor yang menghasilkan proses *tracking* dan erosi dari isolator polimer resin epoksi dengan pengisi *silane* terkontaminasi dilakukan melalui langkah-langkah berikut ini :

- a. Meletakkan elektroda atas dan bawah pada sampel. Pada elektroda atas, sebelum dipasang pada sampel diberi kertas saring sebanyak 8 layer. Kemudian meletakkan sampel tersebut pada support sehingga bagian permukaan sampel menghadap ke bawah dengan sudut 45⁰ terhadap sumbu horizontal.



a)



b)

Gambar 2. a) Penempatan elektroda pada bahan uji b) Diagram rangkaian penelitian

- b. Mengatur kecepatan aliran polutan pada 0,3 ml/menit, dan mengalirkan ke sampel melalui kertas saring. Fungsi dari penggunaan kertas saring ini agar terjadi aliran kontaminan yang *uniform* dari elektroda atas ke elektroda bawah sebelum tegangan diaplikasikan. Nilai aliran berhubungan dengan tegangan aplikasi dan resistor seri yang sesuai dengan IEC 587:1984.
- c. Menerapkan tegangan 3,5 kV pada sampel, yang didapatkan dari pembangkit tegangan tinggi melalui elektroda atas, sedangkan elektroda bawah dihubungkan peralatan ukur.
- d. Mengukur arus bocor menggunakan osiloskop. Untuk mengatasi tegangan besar masuk ke dalam osiloskop, maka digunakan rangkaian pembagi tegangan.

2.3.3 Pengujian Degradasi Permukaan

Proses pengukuran degradasi permukaan bahan dilakukan dengan menggunakan foto mikro yang pada hakekatnya merupakan pengamatan terhadap perubahan struktur penuaan bahan uji, dengan prosedur kerja sebagai berikut :

- a. Bahan ditoto dengan menggunakan foto biasa, kemudian dibandingkan setiap konsentrasinya.
- b. Bahan difoto menggunakan foto makro pada bagian terjadinya jalur konduksi, dan dicetak.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

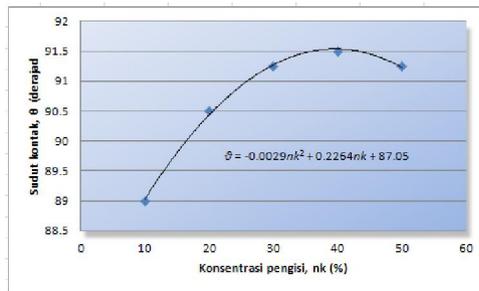
3.1 Hasil Pengujian Sudut Kontak Hidropobik

Besarnya sudut kontak permukaan bahan terhadap tetesan cairan diperoleh berdasarkan hasil pengamatan langsung melalui pemotretan kamera digital yang kemudian disimpan pada komputer. Hasil pemotretan diolah menggunakan *software Image Pro Plus* untuk mendapatkan sudut kontak pada sisi kanan dan sisi kiri sampel uji yang diukur.

Hasil pengukuran dan perhitungan sudut kontak hidrofobik bahan uji resin epoksi silane terhadap variasi komposisi bahan pengisi dengan polutan NH₄Cl dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian sudut kontak

Kode sampel	Konsentrasi pengisi, nk (%)	Sampel	Sudut kontak, θ (°)			
			kiri	kanan	rata-rata	terbaik
RTV 10	10	1	89	89	89	89
		2	77	75	76	
		3	79	79	79	
RTV 20	20	2	90	90	90	90,5
		3	91	90	90,5	
		4	88	90	89	
RTV 30	30	1	91,5	91	91,25	91,25
		2	90	90	90	
		3	91	89	90	
RTV 40	40	1	92	90	91	91,5
		2	93	90	91,5	
		3	90,5	86	88,25	
RTV 50	50	1	90	90	90	91,25
		2	92	90,5	91,25	
		3	92	90	91	



Gambar 3. Grafik hubungan sudut kontak dan konsentrasi pengisi komposit resin epoksi

Dari data hasil pengujian dan Gambar 3 dapat dilihat bahwa komposit resin epoksi yang digunakan pada penelitian ini bersifat basah sebagian (*partially wetted*) dan hidrofobik. Nilai sudut kontak berkisar antara 65° sampai 91.5° yang bisa dikategorikan bersifat *partially wetted* (basah sebagian) sampai hidrofobik. Sudut kontak yang paling besar adalah resin epoksi RTV40. Sifat hidrofobik pada material resin epoksi didapatkan dari pengisinya yaitu *silane* yang memiliki karakteristik menolak air.

3.2 Hasil Pengujian Arus Bocor

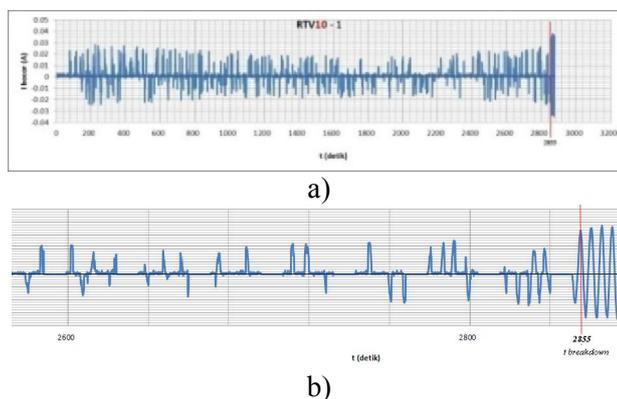
Bahan uji ditempatkan dengan sudut kemiringan 45°. Pada penelitian ini, polutan NH₄Cl, dan polutan Pantai Parangtritis dengan kecepatan 0,3 ml/menit mengalir di permukaan bahan uji melalui kertas saring 8 layer yang dijepitkan di antara bahan uji dan elektroda atas menuju ke bawah. Elektroda atas diterapkan tegangan AC 3,5 kV.

Hasil pengujian arus bocor ini ditunjukkan oleh gambar gelombang tegangan pada osiloskop. Nilai gelombang tegangan ini merupakan tegangan masukan osiloskop dari rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan diperlukan untuk mengatasi input tegangan besar masuk ke dalam osiloskop. Besarnya nilai arus bocor dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$I_1 = 0,0240735 V_{CF} \tag{1}$$

dengan : I_1 = arus bocor (A)
 V_{CF} = tegangan yang terbaca di osiloskop (V).

Hasil pengujian arus bocor salah satu sampel komposit resin epoksi:



**Gambar 4. a) Hasil pengujian arus bocor komposit resin epoksi RTV10 sampel 1
 b) Hasil pembesaran 10x range saat sebelum *breakdown***

Berdasarkan gambar 4 dapat disimpulkan bahwa terjadi lucutan muatan (*flashover*) pada detik ke-77. Pelucutan muatan ini ditandai dengan adanya perubahan *magnitude* arus bocor secara mendadak. Pelucutan muatan ini terjadi hingga berkali-kali, kemudian terjadi kegagalan isolasi yang ditandai dengan gelombang sinusoidal arus bocor pada detik ke-2855. Gelombang sinusoidal ini menunjukkan bahwa telah terjadi jalur konduksi utuh dari elektroda tegangan tinggi ke elektroda pentanahan.

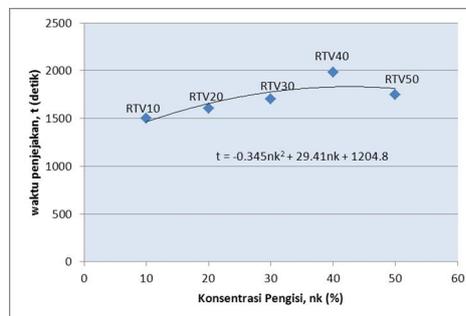
Hal yang seupa juga terjadi pada variasi nilai konsentrasi yang lain, tetapi yang berbeda pada frekuensi dan waktu terjadinya *flash over* sampai terjadinya *breakdown*.

Waktu pengujian arus bocor untuk polutan NH₄Cl dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3 Waktu penjejakan (*tracking*) permukaan

% pengisi	waktu awal <i>flash over</i> (s)	waktu <i>breakdown</i> (s)	waktu, <i>t penjejakan</i> (s)
10%	77	2855	2778
	70	1585	1502
	187	1991	2018
20%	43	1190	1138
	351	1651	1300
	303	1925	1605
30%	452	2084	1701
	288	2800	2836
	68	1707	2067
40%	196	2467	2320
	628	2608	1980
	184	1940	1903
50%	49	1799	1750
	115	1235	1117
	49	2025	1976

Dari hasil pengujian, dapat pula diperoleh waktu penjejakan rata-rata masing - masing konsentrasi pengisi resin epoksi. Hubungan antara waktu penjejakan rata - rata dan nilai konsentrasi komposit resin epoksi dapat dilihat pada Gambar 5.

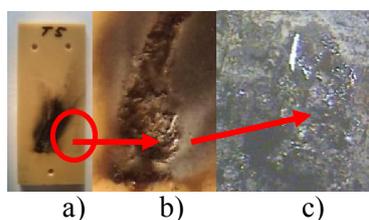


Gambar 5. Grafik hubungan waktu *tracking* dengan konsentrasi pengisi komposit

Dari gambar 8 diatas, dapat dilihat bahwa kenaikan nilai konsentrasi pengisi komposit resin epoksi cenderung menyebabkan kenaikan waktu penjejakan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi pengisi komposit resin epoksi maka proses terjadinya jalur konduksi dan jalur karbon pada permukaan bahan isolasi akancenderung semakin lambat, sehingga dapat memperlambat terjadinya degradasi permukaan.

3.3 Hasil Pengujian Degradasi Permukaan

Untuk mengetahui degradasi permukaan dalam bentuk erosi, keretakan dan pengapuran diperlukan suatu cara untuk mengkarakterisasi permukaan. Salah satu metode yang digunakan untuk keperluan ini adalah teknik foto makro.



Gambar 6. Hasil foto a) tanpa pembesaran. b) makro10x. c) makro 30x dari RTV10

Hasil foto makro permukaan sampel yang digunakan pada penelitian ini menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan struktur pada permukaan komposit isolator resin epoksi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh dan hasil analisis data yang telah diolah, maka dapat disimpulkan:

1. Kenaikan nilai konsentrasi pasir berkalsium tinggi dan silane sebagai pengisi komposit resin epoksi cenderung menyebabkan:
 - a. Kenaikan sudut kontak yang paling besar adalah resin epoksi RTV40 dengan konsentrasi pengisi 20% pasir dan 20% silane dan perbandingan bahan pengeras *metaphenylene diamine* (MPDA) bahan *dasar diglycidyl ether of bisphenol-A* (DGEBA) 1:1.
 - b. Memperlambat terjadinya kegagalan isolasi atau mempersulit terjadinya arus bocor permukaan bahan isolasi resin epoksi, berarti terjadi kenaikan resistansi permukaan bahan isolasi, sehingga arus bocor tidak mudah mengalir di permukaan dan tidak akan mudah terjadinya lompatan listrik (*flashover*) yang akan memicu terjadinya kegagalan isolasi.
 - c. Memperlambat proses terjadinya jalur karbon pada permukaan bahan isolasi
 - d. Menurunkan kerusakan (degradasi) permukaan bahan isolasi epoksi resin. Pola penjejukan terjadi dari elektroda tegangan rendah ke tegangan tinggi. Hal ini disebabkan karena arah aliran elektron secara aktual adalah dari elektroda negatif ke elektroda positif.
2. Nilai konsentrasi pasir berkalsium tinggi dan silane sebagai pengisi komposit akan berbanding lurus terhadap waktu penjejukan dan besarnya sudut kontak akan mempengaruhi waktu penjejukan, berbanding lurus terhadap waktu penjejukan.
3. Nilai konsentrasi pasir berkalsium tinggi dan *silane* sebagai pengisi komposit resin epoksi yang mempunyai kinerja optimal terhadap proses penjejukan dan erosi adalah 40%.

Daftar Pustaka

- Amin, M. et al., (2007), *Hidrophobicity of Silicone Rubber Used For Outdoor Insulation (An Overview)* Advanced Study Center CO.Ltd.
- Berahir, Hamzah, (2005), *Metodologi Untuk Mengkaji Kinerja Isolasi Polimer Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tegangan Tinggi di Daerah Tropis, Disertasi Fakultas Ilmu Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada*
- British Standar, BSi., (1986), *Metode for Evaluating Resistance to Tracking and Erosion of Electrical insulating materials used under severe ambient conditions, IEC 587 :1982.*
- Chandrasekar, S. et al., (2007), *Analysis of Surface Degradation of Silicone Rubber Insulation Due To Tracking under Different Voltage Profiles*, *Electr.Eug* (2007) 89 : 489-50 L
- Goofur, A., (2005), *Pengaruh UV dan Kontaminasi Polutan Industri terhadap Arus Bocor pada Bahan Isolasi DGEBA dengan Bahan Pengisi Aluminium Oksida dan Silicone Rubber*, VMS Digital Library,
- Gorur, A.D.L.O. and Burnham, J.T., (1996), *Electrical Performance of Non-Ceramic Insulators in Artificial Contamination Tests*, *IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol 3 No.6.
- Karady, G.G, (1995), *Flashover Mechanism of Silicone Rubber Insulator Used For Outdoor Insulation I*. *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol 10, No.4
- Nurlailati, Abdul Syakur, Sarjiya, Hamzah Berahir, (2010), *Relationship Between Contact Angle and Stoichiometry Value On Epoxy Resin Polymer Insulating Materials*, CTEE, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Rao, U.M., et al., (2002). *Investigation of Surface Characterization of ~ Rubber Due To Tracking Phenomena Under A.C and D.C Vo* *Bull.Mater.Sci.*, Vol 25, India.
- Shaowu, W. et al., (2002), *Hydrophobicity Changing of Silicone Rubber Insulators in Service*, 21,rue d'artois F-5008, Paris.
- Suda,T. et al., (2001), *Frequency Characteristic of Leakage Current Waveforms of an Artificially Polluted Suspension Insulator*. *IEEE Trans on Dielectrics and Electrical Insulation*.