

Analisis Degradasi Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi dengan Pengisi Pasir Pantai yang Mengandung Banyak Kalsium

Moh Toni Prasetyo¹, Hamzah Berahim², T. Haryono³

Abstract—Insulation materials that commonly used in air insulation, which, is operated at high voltage, are the porcelain, glass, and polymer materials. One of the insulating polymer materials that are used is epoxy resin because it has several advantages compared to porcelain and glass. However, this insulation material has a shortage of aging/degradation of the surface (surface-aging) due to environmental pollution. Environmental pollution can cause insulation coated with dirt and chemicals in the long time.

Material that was used in this research was epoxy resin polymer isolation using of comparison values (base material diglycidyl ether of bisphenol-A (DGEBA) : hardener material or curing agent metaphenylene diamine (MPDA)) were 1:1, with the increase of silane and coastal sand as filler by the value of 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%, sample size was 120 x 50 mm.

Research was done in laboratory according to standard IEC 587: 1984. High voltage electrodes were connected to high voltage AC generator 3.5 KV, and NH₄Cl contaminants flowing on insulator surface of 0.3 ml / min from high voltage electrode. The ground electrode was connected to oscilloscope for measuring the leakage current. In this study, the effect of variation in stoichiometry to the hydrophobic contact angle value, leakage current waveforms, and surface degradation caused by erosion and tracking processes and tracking time were analyzed.

From the results of the research, it was obtained that the epoxy resin that was used in this research are categorized as hydrofobik and partially wetted. The increase concentration of silane dan coastal sand as filler caused the increase in contact angle which meant the increase in surface insulation resistance, so that leakage currents flew on the surface insulating material not easily. The increase in concentration of silane dan coastal sand as filler retarded the carbon growth the surface of insulating material. This indicated that the increase in filler concentration slow down the aging or the degradation decreasing on the surface of insulating material. Concentration value of filler that had the optimal performance of the tracking process and erosion was 40%.

Intisari—Bahan isolasi yang biasa digunakan pada isolator udara yang dioperasikan pada tegangan tinggi adalah bahan

porcelain, gelas dan polimer. Salah satu bahan isolasi polimer yang digunakan adalah resin epoksi karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan porcelain. Namun, bahan isolasi ini memiliki kekurangan yaitu penuaan/degradasi pada permukaannya (*surface ageing*) akibat pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan dapat menyebabkan isolator dilapisi dengan kotoran dan bahan kimia dalam jangka panjang. Pada kondisi basah, partikel - partikel kontaminan pada permukaan isolator akan larut dalam air dan membentuk jalur konduktif kontinu antara elektroda tegangan tinggi dan pentanangan. Ketika tegangan terapan mencapai tegangan lewat denyar (*flashover*) kritis udara, akan dihasilkan bunga api kecil. Panas yang dihasilkan dari percikan api ini menyebabkan karbonisasi dan penguapan dari isolasi dan mengarah pada pembentukan "jalur karbon" permanen di permukaan. Proses ini kumulatif dan berkesinambungan, dan kegagalan isolasi terjadi ketika jalur terkarbonasi terbentuk antar elektroda. Fenomena ini, yang disebut "penjejakan" permukaan.

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah isolasi komposit polimer resin epoksi dengan nilai perbandingan (bahan dasar *diglycidyl ether of bisphenol -A* (DGEBA) bahan pengeras atau agen pematangan *metaphenylenediamine* (MPDA)) 1:1 dengan variasi peningkatan ukuran nilai pengisi (*filler*) pasir pantai dan silane 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%, ukuran sample 120 x 50 mm. Penelitian dilakukan di laboratorium menurut standar IEC 587 : 1984. Elektroda tegangan tinggi dihubungkan dengan pembangkit tegangan tinggi AC 3,5 KV, kemudian kontaminan NH₄Cl dialirkan pada permukaan isolator 0.3 ml/menit dari elektroda tegangan tinggi, elektroda pentanahan dihubungkan dengan peralatan osiloskop untuk mengukur arus bocor. Pada penelitian ini, 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, diperoleh bahwa komposit epoksi resin yang digunakan pada penelitian ini dikategorikan bersifat hidrofobik dan basah sebagian (*partially wetted*). Penambahan konsentrasi pasir dan silane sebagai bahan pengisi, akan menambah besarnya sudut kontak, yang berarti terjadi penambahan resistansi permukaan bahan isolasi sehingga akan memperkecil jalur karbon dan memperlambat peningkatan degradasi permukaan bahan isolasi, sehingga arus bocor tidak mudah mengalir. Nilai konsentrasi pengisi/*filler* yang mempunyai kinerja optimal terhadap proses penjejakan dan erosi adalah 40%.

Kata Kunci—Arus bocor, sudut kontak, hidropobik, resin epoksi, bahan pengisi

¹ Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA(email: toniprast@gmail.com)

^{2, 3} Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA(email: tharyono@gmail.com)

I. 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 kontinu 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.

II. DASAR TEORI

A. Material Isolasi

Isolasi adalah sifat bahan yang berfungsi dapat memisahkan secara elektrik dua buah atau lebih penghantar listrik bertegangan yang berdekatan, sehingga tidak terjadi kebocoran arus, lompatan api (*flashover*), ataupun percikan api (*sparkover*). Sedangkan isolator adalah alat yang dipakai untuk mengisolasi atau penyekatan. Kemampuan bahan isolasi untuk menahan tegangan disebut kekuatan dielektrik, semakin tinggi kekuatan dielektrik bahan isolasi semakin baik dipakai, terutama pada peralatan listrik tegangan tinggi. Kekuatan dielektrik dari bahan isolasi sangat penting dalam hal menentukan kualitas isolator yang nantinya akan mendukung keseluruhan sistem tenaga listrik.

B. Resin Epoksi

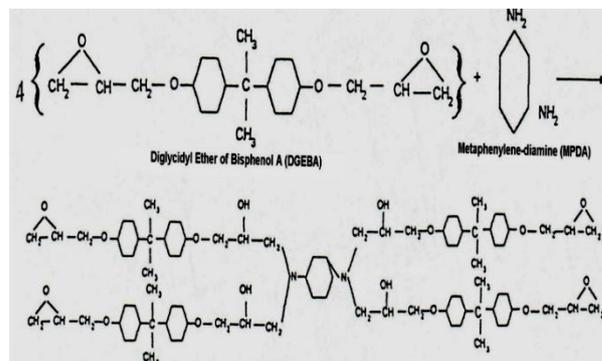
Resin epoksi adalah golongan polimer termoset dimana campuran dua komponen yang akhirnya berbentuk seperti kaca pada temperatur ruang yang mempunyai sifat isolasi listrik yang layak dan juga mempunyai kekedapan air yang tinggi.

Resin epoksi sudah menjadi bagian penting dari material isolasi khususnya dalam bidang kelistrikan karena jenis polimer ini sudah dikenal lebih dari 50 tahun. Resin epoksi

adalah isolator listrik yang baik dan melindungi komponen listrik dari arus pendek, debu dan kelembaban

Resin epoksi memiliki karakteristik: sifat kekentalan rendah, mudah dibentuk, penyusutan yang rendah, tingkat kekerasan tinggi, sifat mekanik tinggi, isolasi listrik yang tinggi serta ketahanan kimia yang baik.

Resin epoksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil pematangan epoksi resin diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA) dan Metaphenylenediamine (MPDA) dengan pengisi silane (lem kaca).



Gbr. 1 Reaksi pematangan DGEBA dan MPDA

C. Bahan Pengisi Silane

Silane yang disebut juga *silicon rubber* adalah bahan yang tahan terhadap temperatur tinggi yang biasanya digunakan untuk isolasi kabel dan bahan isolasi tegangan tinggi. *Silicone Rubber* merupakan *polymeric synthetic* yang relatif baru penggunaannya sebagai bahan isolasi dalam bidang teknik listrik dibanding dengan polimer lainnya seperti resin epoksi atau *polyethylene*. Kepopuleran bahan ini dibanding dengan bahan keramik/porselin dan jenis polimer lainnya karena memiliki sifat hidrofobik yang tinggi, dengan demikian konduktivitas permukaan isolator tetap rendah, sehingga dapat meminimalkan arus bocor. Selain itu memiliki sifat dielektrik yang baik, sangat ringan, mudah penanganan dan pemasangannya. Sifat fisik bahan ini dapat diperbaiki dengan mencampurkan bahan pengisi seperti pasir silika.

Pada pengujian ini, komposisi silane yang digunakan yaitu 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Penamaan ini didasarkan pada persentase bahan pengisi.

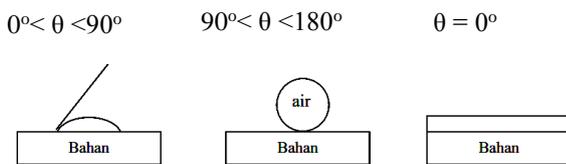
D. Bahan Pengisi Pasir Pantai yang Banyak Mengandung Kalsium

Pasir pantai Kukup digunakan sebagai bahan pengisi tambahan yang merupakan jenis pasir pantai yang banyak mengandung kalsium. Dari hasil uji pada Laboratorium Kimia Analitik Universitas Gajah Mada, kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) mencapai 55,98% dari jumlah keseluruhan pasir, kalsium oksida (CaO) 31,37%, magnesium karbonat (MgCO_3), dan beberapa unsur pendukung lainnya.

Penambahan pengisi pasir akan memperbaiki sifat fisik bahan sehingga akan dihasilkan bahan yang tak mudah lentur dan rapuh.

E. Sudut Kontak Hidropobik

Sudut kontak merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan bahan uji dengan air yang diteteskan ke permukaan bahan uji. Pengukuran sudut kontak pada suatu bahan isolasi dilakukan untuk mengetahui sifat permukaan bahan, hidrofobik atau hidrofilik. Sifat hidrofobik merupakan suatu karakteristik bahan isolasi, dalam keadaan terpolusi, bahan masih mampu bersifat menolak air yang jatuh di permukaannya. Sifat hidrofobik berguna untuk isolasi pasangan luar karena dalam keadaan basah atau lembab tidak akan terbentuk lapisan air yang kontinu pada permukaan isolator, sehingga permukaan isolator tetap memiliki konduktivitas yang rendah, akibatnya arus bocor sangat kecil.



a. basah sebagian b. Tidak basah c. Basah keseluruhan

Gbr. 2 Klasifikasi sudut kontak

Para peneliti mengklasifikasikan permukaan material dengan kuantitas sudut kontak yaitu permukaan material sangat basah (hidrofilik) bila sudut kontak cairan pada permukaannya lebih kecil dari 30° . Bila sudut kontak antara 30° sampai dengan 89° , permukaan material disebut basah sebagian (*partially wetted*). Sudut kontak lebih dari 90° disebut hidrofobik atau bersifat menolak air.

F. Isolasi Terpolusi dan Arus Bocor

Dilihat dari lokasi pemasangan, isolator, terdiri dari isolator pasangan dalam dan isolator pasangan luar. Sebagian besar material isolasi tegangan tinggi digunakan untuk isolator pasangan luar. Kinerja suatu isolator sangat dipengaruhi kondisi lingkungan dimana isolator ditempatkan, terutama bagi isolator pasangan luar. Pengaruh lingkungan seperti adanya perubahan suhu, iklim, radiasi sinar matahari, polusi udara, dan sebagainya akan menentukan kinerja dan umur isolator.

Polutan yang terkandung di udara dapat menempel pada permukaan isolator dan berangsur-angsur membentuk suatu lapisan tipis pada permukaan isolator. Unsur polutan yang paling berpengaruh terhadap unjuk kerja isolator adalah garam yang terbawa oleh angin laut. Lapisan garam ini bersifat konduktif terutama pada keadaan cuaca lembab, kabut, maupun hujan gerimis. Di saat kondisi cuaca demikian, akan mengalir arus bocor dari kawat fasa ke tanah melalui lapisan konduktif yang menempel pada permukaan isolator maupun pada tiang penyangga.

Apabila tegangan yang harus ditahan sebuah isolator melebihi dari kemampuannya maka akan terjadi aliran arus yang disebut dengan arus bocor.

g. Seperangkat komputer

Arus bocor permukaan bahan isolasi dari isolator saluran udara pasangan luar, tergantung dari kondisi polutan yang menyebabkan kontaminasi permukaan. Selain itu juga tergantung pada iklim dan kondisi cuaca. Pembasahan lapisan polutan oleh cuaca lembab, butir-butir air, pembasahan air hujan yang rintik-rintik, mengakibatkan elektrolit yang konduktif, sehingga resistansi permukaan akan menjadi kecil, dan menyebabkan arus bocor permukaan

Analisis arus bocor (*leakage current*) diselidiki berdasarkan pada bentuk gelombang dan durasi peluahan listrik secara signifikan mempengaruhi kinerja bahan isolasi secara keseluruhan. Oleh karena itu, identifikasi sifat arus bocor ini dapat digunakan untuk deteksi dini kegagalan isolator tegangan tinggi.

III. METODE PENELITIAN

A. 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 I
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

B. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Seperangkat alat pencetak bahan uji (kaca, kertas mika, pengaduk, tempat mencampur bahan uji).
- Seperangkat alat untuk mengukur sudut kontak (Kotak lampu dengan lampu 1000W, pipet tetes 50 μl , tempat menaruh polutan, 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*))
- Transformator AC
- Osiloskop
- Kamera

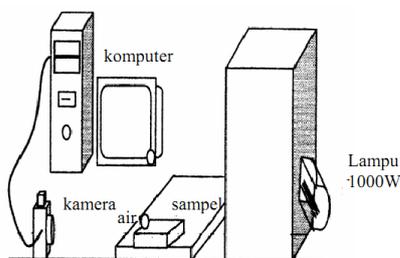
C. Langkah-langkah Pengukuran

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.

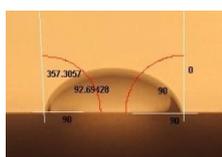
1. Meletakkan sampel dan menghidupkan kamera, keduanya diposisikan sedemikian rupa sehingga pada layar kamera, permukaan sampel tampak seperti garis lurus.
2. Meneteskan air sebanyak 50 µl. Air yang diteteskan ini berupa polutan yang akan digunakan.
3. Menghidupkan sumber cahaya agar ketika diambil foto, titik air pada permukaan sampel tampak jelas.
4. 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.



Gbr. 3 Rangkaian penelitian sudut kontak

Hasil pengujian sudut kontak didapatkan berupa data-data besaran sudut tiap masing-masing sampel



Gbr. 4 Sudut kontak sampel 40%

2) Pengujian Arus Bocor

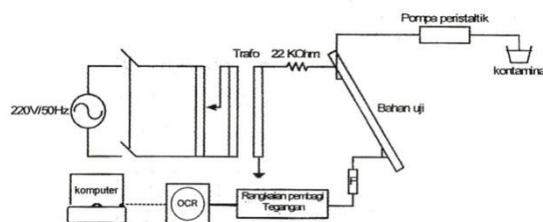
Pengujian arus bocor yang menghasilkan proses *tracking* dan erosi dari isolator polimer resin epoksi dengan pengisi *silane* terkontaminasi dilakukan melalui langkah-langkah berikut ini :

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



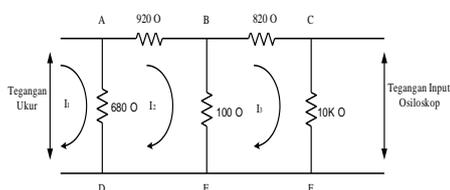
Gbr. 5 Penempatan elektroda pada bahan uji

2. Mengatur kecepatan aliran polutan pada 0,3 ml/menit, kemudian mengalirkan ke sampel melalui kertas saring. Fungsi dari penggunaan kertas saring ini adalah agar terjadi aliran kontaminan yang uniform dari elektroda atas sampai elektroda bawah sebelum tegangan diaplikasikan. Nilai aliran polutan ini berhubungan dengan tegangan aplikasi dan resistor seri yang sesuai dengan IEC 587:1984.



Gbr. 6 Diagram rangkaian penelitian

3. Menerapkan tegangan 3,5 kV pada sampel, yang didapatkan dari pembangkit tegangan tinggi melalui elektroda atas, sedangkan elektroda bawah dihubungkan dengan peralatan ukur.
4. Mengukur arus bocor menggunakan osiloskop. Untuk mengatasi tegangan besar masuk ke dalam osiloskop, maka digunakan rangkaian pembagi tegangan sebagai berikut.



Gbr. 7 Rangkaian pembagi tegangan

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:

1. Bahan ditoto dengan menggunakan foto biasa, kemudian dibandingkan setiap konsentrasinya.
2. Bahan difoto menggunakan foto makro pada bagian terjadinya jalur konduksi
3. Hasil rekaman film dicetak dalam bentuk foto gambar

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sudut Kontak Hidropobik

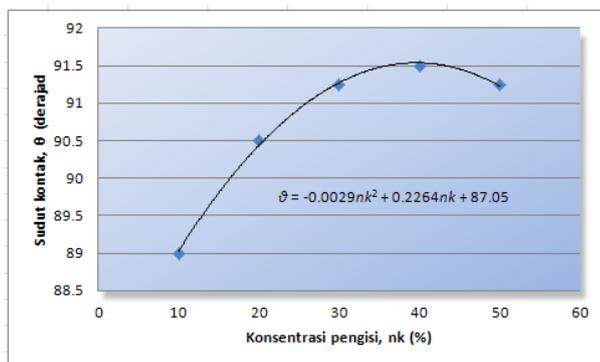
Besarnya sudut kontak permukaan bahan terhadap tetesan cairan diperoleh berdasarkan hasil pengamatan langsung

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 silaneterhadap variasi komposisi bahan pengisi dengan polutan NH_4Cl dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL III
HASIL PENGUJIAN SUDUT KONTAK

Kode sampel	Konsentrasi pengisi, nk (%)	Sampel	Sudut kontak, θ ($^\circ$)			
			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	



Gbr. 8 Grafik hubungan sudut kontak dan konsentrasi pengisi komposit resin epoksi

Dari data hasil pengujian dan Gbr. 8 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.

B. Hasil Pengujian Arus Bocor

Bahan uji ditempatkan dengan sudut kemiringan 45° . Pada penelitian ini, polutan NH_4Cl , 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.

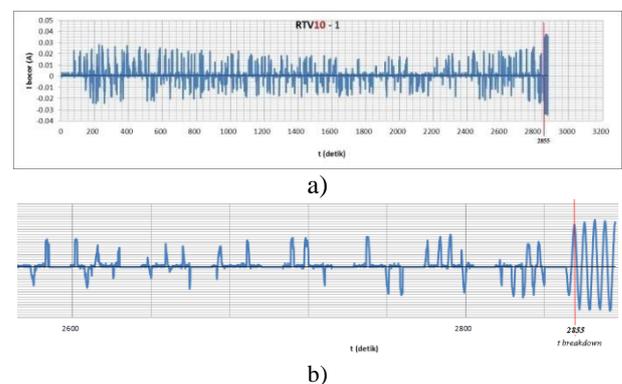
Hasil pengujian arus bocor ini ditunjukkan oleh gambar gelombang tegangan pada osiloskop. Nilai gelombang tegangan ini merupakan tegangan masukan osiloskop dari rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan diperlukan untuk mengatasi input tegangan besar masuk ke dalam osiloskop. Besarnya nilai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

$$I_1 = 0,0240735 V_{CF} \quad (1)$$

dengan : I_1 = arus bocor (A)

V_{CF} = tegangan yang terbaca di osiloskop(V)

Hasil pengujian arus bocor komposit resin epoksi dengan variasi nilai konsentrasi pengisi sebagai berikut :



Gbr. 9 a) Hasil pengujian arus bocor komposit resin epoksi RTV10 sampel 1, b) Hasil pembesaran 10x range saat sebelum breakdown

Berdasarkan Gbr. 9, 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 tumpah dari elektroda tegangan tinggi ke elektroda pentanahan..

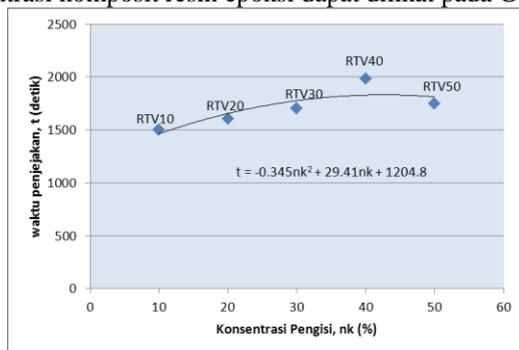
Hal yang seupa juga terjadi pada variasi nilai konsentrasi yang lain, tetapi yang berbeda pada frekuensi dan waktu terjadinya *flash over* sampai terjadinya *breakdown*.

Waktu pengujian arus bocor untuk polutan NH_4Cl dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL III
WAKTU PENJEJAKAN (*TRACKING*) PERMUKAAN

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

Dari hasil pengujian, dapat pula diperoleh waktu penjejukan rata-rata masing - masing konsentrasi pengisi resin epoksi. Hubungan antara waktu penjejukan rata - rata dan nilai konsentrasi komposit resin epoksi dapat dilihat pada Gbr. 13.



Gbr. 10 Grafik hubungan waktu *tracking* dengan konsentrasi pengisi komposit

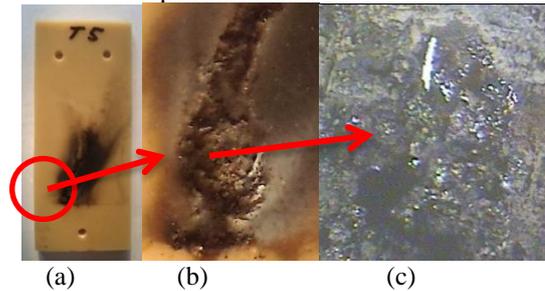
Dari Gbr. 9 diatas, dapat dilihat bahwa kenaikan nilai konsentrasi pengisi komposit resin epoksi cenderung menyebabkan kenaikan waktu penjejukan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi pengisi komposit resin epoksi maka proses terjadinya jalur konduksi dan jalur karbon pada permukaan bahan isolasi akancenderung semakin lambat, sehingga dapat memperlambat terjadinya degradasi permukaan.

C. Hasil Pengujian Degradasi Permukaan

Untuk mengetahui degradasi permukaan dalam bentuk erosi, keretakan dan pengapuran diperlukan suatu cara untuk

3. Penjejukan dan besarnya sudut kontak akan mempengaruhi waktu penjejukan, berbanding lurus terhadap waktu penjejukan.

mengkarakterisasi permukaan. Salah satu metode yang digunakan untuk keperluan ini adalah teknik foto makro.



Gbr. 11 Hasil foto (a) tanpa pembesaran, (b) makro 10x, dan (c) makro 30x dari permukaan sampel komposit resin epoksi RTV10

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

V. 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. 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 epoksi resin. Kenaikan nilai konsentrasi pasir berkalsium tinggi dan *silane* sebagai pengisi menyebabkan kenaikan sudut kontak yang berarti kenaikan resistansi permukaan bahan isolasi, sehingga arus bocor tidak mudah mengalir di permukaan bahan isolasi. Kenaikan nilai konsentrasi pengisi pasir berkalsium dan silane tidak akan mempermudah 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
4. Nilai konsentrasi pasir berkalsium tinggi dan *silane* sebagai pengisi komposit resin epoksi yang mempunyai kinerja optimal terhadap proses penjejukan dan erosi adalah 40%.

REFERENSI

- [1] Amin, M. et al., 2007, *Hydrophobicity of Silicone Rubber Used For Outdoor Insulation (An Overview)* Advanced Study Center CO.Ltd.
- [2] Berahim, 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 GadjahMada
- [3] British Standar, BSi., 1986, *Metode for Evaluating Resistance to Tracking and Erosion of Electrical insulating materials used under severe ambient conditions*, IEC 587 :1982.
- [4] 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
- [5] Eklund, A. et.al., 1995, *Conditioning of Silicone Rubber Insulators: Loss and Recovery of Hydrophobicity*, 9th ISH, Graz, Austria.
- [6] Gbofur, A., 2005, *Pengaruh UV dan Kontaminasi Polutan Industri terhadap Arus Bocor pada Bahan Isolasi DGEBA dengan Bahan Pengisi Aluminium Oksida dan Silicone Rubbe*", VMS Digital Library.
- [7] 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.
- [8] Idayono. A.T., 2006, *Pengaruh Kontaminasi Polutan Garam dan UV Terhadap Sifat Absorpsi Air Bahan Isolasi DGEBA dengan Bahan Pengisi Aluminium Oksida dan Silicone Rubbe*", OMS Digital Library.
- [9] Jatmiko, and Asy'ari, R., 2003, *Tegangan Flashover pada Bahan Isolasi Epoksi (DGEBA) yang Terpengaruh oleh Polutan Garam Parangtritis*, Jurnal Teknik Elektro dan Komputer Emiter Vol1.3 NO.2.
- [10] Jauhari, E., 2005, *Isolator Saluran Udara*. Eri Jauhari-EnJ's Blog
- [11] Karady, G.G, 1995, *Flashover Mechanism of Silicone Rubber Insulator Used For Outdoor Insulation I*. IEEE Transaction on Power Delivery, Vol 10, No.4
- [12] Mala, G.R.E., 2003. *Studi Karakteristik Bahan Isolasi Silicone Rubber Terkontaminasi Polutan Parangtritis*, Tugas Akhir Fakultas Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- [13] Nurlailati, Abdul Syakur, Sarjiya, Hamzah Berahim, *Relationship Between Contact Angle and Stoichiometry Value On Epoxy Resin Polymer Insulating Materials*, CTEE, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2010
- [14] Pratomo, W.A., 2003. *Pengujian Karakteristik Bahan Isolasi Karet Silikon Terkontaminasi Polutan Industri*, Skripsi Fakultas Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- [15] 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.
- [16] Saputro, R.Y., 2005. *Pengaruh Perubahan Suhu terhadap Arus Bocor Pada Bahan Epoksi Resin dengan Bahan Pengisi Pasir Silica dan Silicone Rubber yang Terkontaminasi oleh Polutan Garam*, UMS Digital Library.
- [17] Shaowu, W. et.al, 2002, *Hydrophobicity Changing of Silicone Rubber Insulators in Service*, 21,rue d'arfois F-5008, Paris.
- [18] Suda, T. et.al., 2001, *Frequency Characteristic of Leakage Current Waveforms of an Artificially Polluted Suspension Insulator*. IEEE Trans on Dielectrics and Electrical Insulation.
- [19] Wahada, G., 2003. *Pengaruh Sinar UV Terhadap Bahan Isolasi Resin Epoksi dengan Pengisi Pasir Silika dan Lem Silicon Rubber Terkontaminasi Polutan Parangtritis*, Tugas Akhir Fakultas Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada Yogyakarta