

PEMANFAATAN BATU BERSILIKA, SILANE, DAN VINYL SILANE SEBAGAI PENGISI BAHAN ISOLASI RESIN EPOKSI UNTUK ISOLATOR LISTRIK

Moh Toni Prasetyo^{1a)}, Solechan²⁾

^{1,2)}Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang

Jl. Kasipah No.12 Semarang

^{a)}email : toniprast@gmail.com

Abstract

One of the insulating polymer in high voltage air insulation materials is epoxy resin because it has several advantages. However, has a degradation of the surface due to environmental pollution. This research was conducted on resin epoxy by comparison of MPDA, DGEBA, and filler (stone and silane) with a percentage value of 10%; 20%; 30%; 40% and 50%, sample size 120 x 50mm. vinyl silane is mixed as a coupling agent of composite materials. Vacuum method to left out void. Research was done in laboratory according to standard IEC 587: 1984. High voltage electrodes were connected to high voltage AC generator 3.5 KV. The ground electrode was connected to oscilloscope for measuring the leakage current. The effect of variation were analyzed. From the results of the research, the composite are categorized as hydrophobic and partially wetted. The increase concentration of filler caused the increase in contact angle, slow down the aging on the surface of insulating material. Concentration value of filler that had the optimal performance was 40%.

Keywords: *Angle of contact, epoxy resin, hydrophobik, vacuum composite, vinyl silane*

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 (Jauhari, E., 2005). 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 (Berahim, Hamzah, 2005). 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 (Chandrasekar, S. et.al., 2007), khususnya pada material resin epoksi dengan silane dan pasir pantai Kukup sebagai pengisi.

Dalam melakukan penelitian terhadap arus bocor pada permukaan isolator ini digunakan metode Inclined-Plane Tracking (IPT) yang diatur dalam IEC 587:1984 (British Standar, 1986). 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

Penelitian ini adalah penyempurnaan dari penelitian sebelumnya yang menggunakan material dengan pengisi pasir yang berkalsium tinggi dan belum menggunakan sistem pemvakuman komposit (Moh Toni, 2012).

2. METODE PENELITIAN

1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Polimer resin epoksi dengan *DGEBA (Diglycidyl Ether of Bisphenol A)* sebagai bahan dasar, *MPDA (Metaphenylenediamine)* sebagai bahan pengeras.
2. Batu alam yang bersilika
3. *Silane (Lem Kaca)*, dan pasir pantai yang banyak mengandung kalsium sebagai bahan pengisi/*filler*.
4. Vinyl silane sebagai kopling agen
5. Polutan berupa NH_4Cl (*Ammonium Chloride*).

Tabel 1. Komposisi campuran resin epoksi, dan bahan pengisi/*filler*

| 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. Peralatan Penelitian

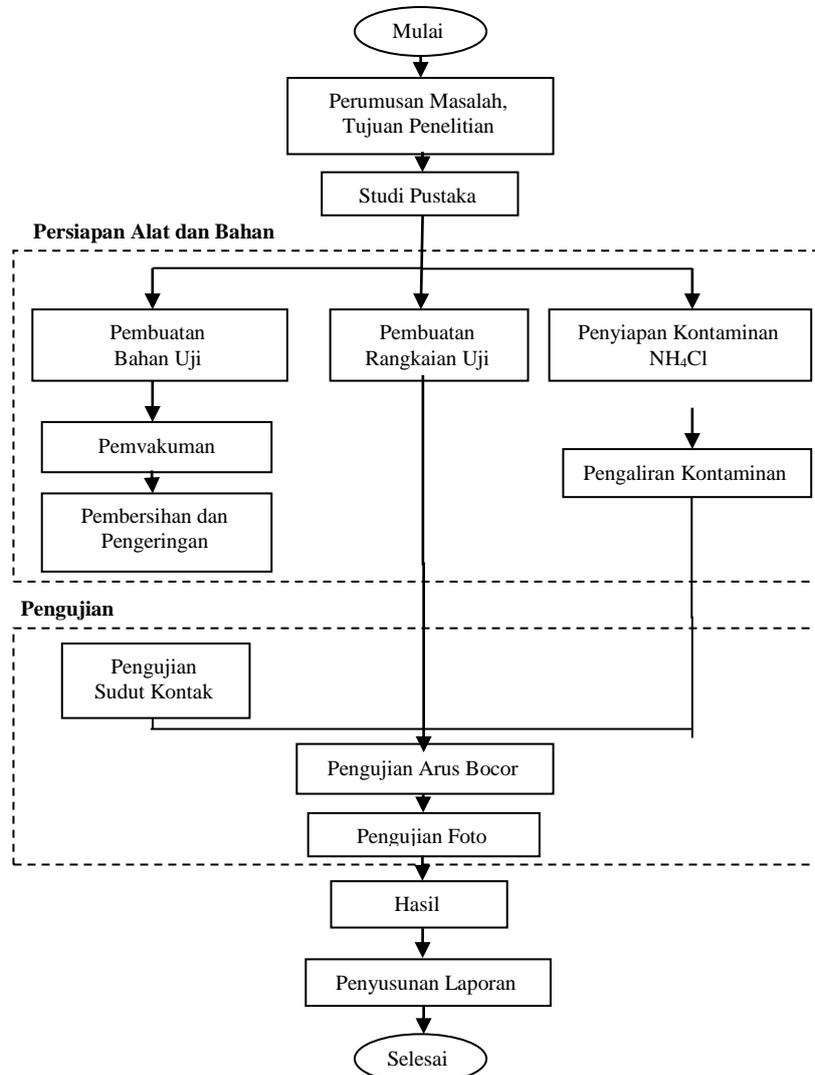
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Seperangkat alat pencetak bahan uji (kaca, kertas mika, pengaduk, tempat mencampur bahan uji).
2. Seperangkat alat untuk mengukur sudut kontak (Kotak lampu dengan lampu 1000W, pipet tetes 50 μl , tempat menaruh polutan, kaca)
3. 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*))
4. Transformator AC
5. Osiloskop
6. Alat Vakum komposit
7. Kamera
8. Seperangkat komputer

C. Langkah-langkah Pengujian

C.1 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan dengan standar prosedur penelitian sesuai dengan diagram alir penelitian pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

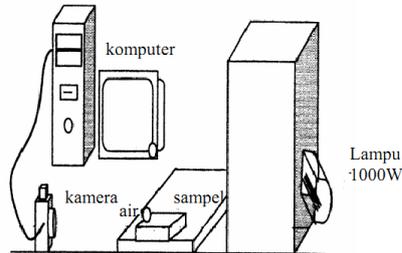
C.2 Pengujian Sudut Kontak

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 (Amin, M. Et.al, 2007 Shaowu, W. et.al., 2002.). 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.

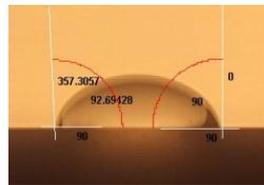
2. Meneteskan air sebanyak 50 μ l. Air yang diteteskan ini berupa polutan yang akan digunakan.
3. Menghidupkan sumber cahaya agar ketika diambil foto, titik air pada permukaan sampel tampak jelas.
4. Memfoto dengan kamera digital, sehingga hasilnya dapat langsung dimasukkan ke dalam komputer untuk mendapatkan besar sudut kontak yang terukur.

Berikut adalah gambar rangkaian pengujian sudut kontak.



Gambar 2. Rangkaian penelitian sudut kontak

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



Gambar 3. Pengukuran sudut kontak sampel

C.3 Pengujian Arus Bocor

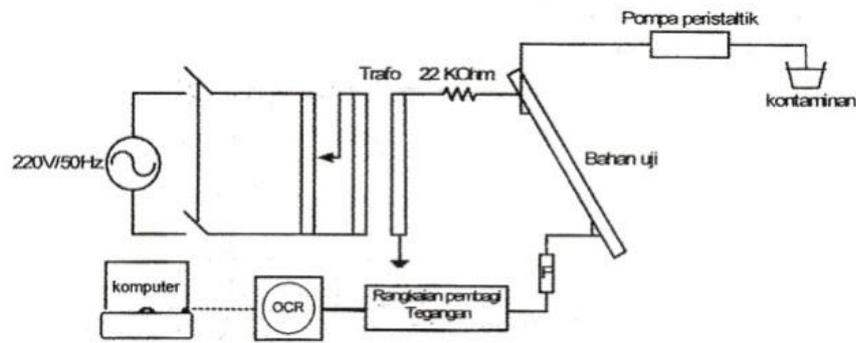
Pengujian arus bocor yang menghasilkan proses *tracking* dan erosi dari isolator polimer resin epoksi dengan pengisi *silane* terkontaminasi dilakukan melalui langkah-langkah berikut ini :

1. Meletakkan elektroda atas dan bawah pada sampel. Pada elektroda atas, sebelum dipasang pada sampel diberi kertas saring sebanyak 8 layer. Kemudian meletakkan sampel tersebut pada support sehingga bagian permukaan sampel menghadap ke bawah dengan sudut 45° terhadap sumbu horizontal.



Gambar 4. 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.



Gambar 5. 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.

C.4 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

3. HASIL PENELITIAN

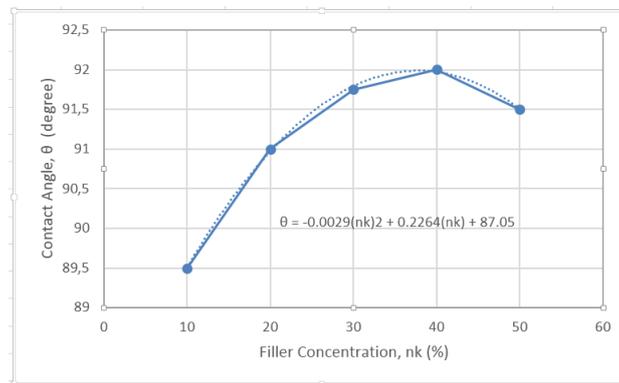
A. Pengujian Sudut Kontak Hidropobik

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 2. Hasil Pengujian sudut kontak

| Sample Code | Filler Concentration, nk (%) | Sample | Contact Angle, θ (°) | | | |
|-------------|------------------------------|--------|-----------------------------|-------|---------|-------|
| | | | Left | Rigth | Average | Best |
| RTV 10 | 10 | 1 | 89 | 90 | 89,5 | 89,5 |
| | | 2 | 80 | 75 | 77,5 | |
| | | 3 | 79 | 81 | 80 | |
| RTV 20 | 20 | 2 | 89 | 90 | 89,5 | 91 |
| | | 3 | 91 | 91 | 91 | |
| | | 4 | 88 | 90 | 89 | |
| RTV 30 | 30 | 1 | 91,5 | 92 | 91,25 | 91,75 |
| | | 2 | 89 | 90 | 89,5 | |
| | | 3 | 91 | 89 | 90 | |
| RTV 40 | 40 | 1 | 92 | 90 | 91 | 92 |
| | | 2 | 93 | 91 | 92 | |
| | | 3 | 90,5 | 86 | 88,25 | |
| RTV 50 | 50 | 1 | 90 | 90 | 90 | 91,5 |
| | | 2 | 91 | 92 | 91,8 | |
| | | 3 | 92 | 90 | 91 | |



Gambar 6. Grafik hubungan sudut kontak dan konsentrasi pengisi komposit resin epoksi

Dari data hasil pengujian dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa komposit resin epoksi yang digunakan pada penelitian ini bersifat basah sebagian (*partially wetted*) dan hidrofobik. Nilai sudut kontak berkisar antara 89,5° sampai 92° 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. Pengujian Arus Bocor

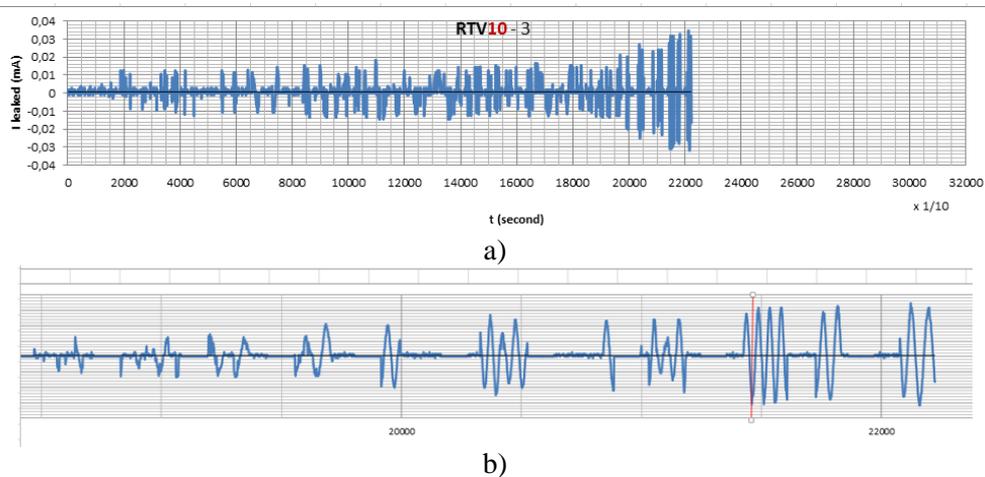
Bahan uji ditempatkan dengan sudut kemiringan 45°. Pada penelitian ini, polutan NH₄Cl, dan polutan Pantai Parangtritis dengan kecepatan 0,3 ml/menit mengalir di permukaan bahan uji melalui kertas saring 8 layer yang dijepitkan di antara bahan uji dan elektroda atas menuju ke bawah. Elektroda atas diterapkan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

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

dengan : I_l = 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 :



Gambar 7 a) Hasil pengujian arus bocor komposit resin epoksi RTV10 sampel 3
 b) Hasil pembesaran 10x range saat sebelum *breakdown*

Berdasarkan gambar 7, dapat disimpulkan bahwa terjadi lucutan muatan (*flashover*) pada detik ke-187. Pelucutan muatan ini ditandai dengan adanya perubahan magnitudo 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-2180. Gelombang sinusoidal ini menunjukkan bahwa telah terjadi jalur konduksi utuh dari elektroda tegangan tinggi ke elektroda pentanahan.

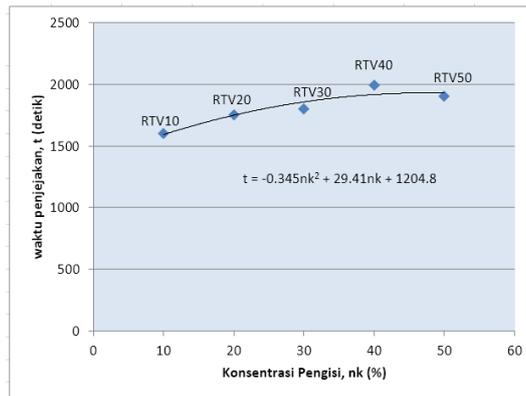
Hal yang seupa juga terjadi pada variasi nilai konsentrasi yang lain, tetapi yang berbeda pada frekuensi dan waktu terjadinya *flash over* sampai terjadinya *breakdown*.

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

Tabel 3. Waktu penjejakan permukaan (*tracking*)

| % filler | Early flash over time (s) | Breakdown time (s) | Tacking time (s) |
|----------|---------------------------|--------------------|------------------|
| 10% | 75 | 2950 | 2879 |
| | 87 | 1905 | 1600 |
| | 187 | 2180 | 1980 |
| 20% | 50 | 1208 | 1246 |
| | 400 | 1750 | 1406 |
| | 310 | 2005 | 1750 |
| 30% | 460 | 2157 | 1800 |
| | 310 | 2960 | 2930 |
| | 70 | 1870 | 2107 |
| 40% | 200 | 2578 | 2486 |
| | 630 | 2650 | 1990 |
| | 190 | 2007 | 1978 |
| 50% | 55 | 1800 | 1780 |
| | 125 | 1300 | 1257 |
| | 54 | 2157 | 1900 |

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 8.

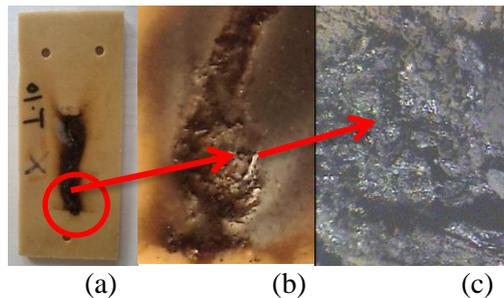


Gambar 8. Grafik hubungan waktu *tracking* dengan konsentrasi pengisi komposit

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 akan cenderung semakin lambat, sehingga dapat memperlambat terjadinya degradasi permukaan.

3. 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 9. Hasil foto makro (a) tanpa pembesaran (b) makro10x dan (c) makro 30x dari permukaan sampel komposit resin epoksi RTV30

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.

4. SIMPULAN

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

1. Kenaikan nilai konsentrasi batu bersilika, *silane* dan *vinyl 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% batu alam bersilika dan 20% *silane* dan perbandingan bahan pengeras metaphenylene diamine (MPDA) bahan dasar

diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA) 1:1 dengan penambahan kopling agen *vinyl silane*

- b. Memperlambat terjadinya kegagalan isolasi atau mempersulit terjadinya arus bocor permukaan bahan isolasi epoksi resin. Kenaikan nilai konsentrasi batu alam bersilika 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 batu alam bersilika 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 batu bersilika, silane dan *vinyl silane* sebagai pengisi komposit akan berbanding lurus terhadap waktu penjejukan dan besarnya sudut kontak akan mempengaruhi waktu penjejukan, berbanding lurus terhadap waktu penjejukan.

Nilai konsentrasi batu bersilika, *silane* dan *vinyl silane* sebagai pengisi komposit resin epoksi yang mempunyai kinerja optimal terhadap proses penjejukan dan erosi adalah 40%

5. REFERENSI

- Amin, M. Et.al., *Hidrophobicity of Silicone Rubber Used For Outdoor Insulation (An Overview) Advanced Study Center CO.Ltd.*, 2007.
- Berahim, Hamzah, *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, 2005
- British Standar, BSi., *Metode for Evaluating Resistance to Tracking and Erosion of Electrical insulating materials used under severe ambient conditions*, IEC 587 :1982, 1986
- Chandrasekar, S. et.al., *Analysis of Surface Degradation of Silicone Rubber Insulation Due To Tracking under Different Voltage Profiles*, *Electr.Eug* (2007) 89 : 489-50 L, 2007
- Jauhari, E., *Isolator Saluran Udara*. Eri Jauhari-EnJ's Blog, 2005
- Moh Toni, *Analisis Degradasi Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi dengan Pengisi Pasir Pantai yang Banyak Mengandung Kalsium*, Tesis, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2012
- Moh Toni, *Efektifitas Pemanfaatan Pasir Pantai Berkalsium Tinggi Sebagai Material Pengisi Bahan Isolasi Resin Epoksi Untuk Isolator Listrik*, *Media ElektriKa*, Vol. 7 No.2, Semarang, 2014
- Shaowu, W. et.al., *Hydrophobicity Changing of Silicone Rubber Insulators in Service*, 21, rue d'artois F-5008, Paris, 2002