

**ANALISIS PEMANFAATAN BATU BERKARBON TINGGI DAN
SILANE SEBAGAI FILLER BAHAN ISOLASI RESIN EPOKSI
UNTUK ISOLATOR LISTRIK**



**JURNAL
TUGAS AKHIR**

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Sarjana S-1 pada Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang**

Disusun oleh:

Diah Ayu Lestari

C2B013009

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG**

2017

ANALISIS PEMANFAATAN BATU BERKARBON TINGGI DAN SILANE SEBAGAI FILLER BAHAN ISOLASI RESIN EPOKSI UNTUK ISOLATOR LISTRIK

Oleh :

Diah Ayu Lestari

C2B013009

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Semarang

e-mail : diahayulestari44@gmail.com

Abstrak

Energi listrik disalurkan dan didistribusikan dari pusat pembangkit listrik ke pusat-pusat beban menggunakan saluran transmisi dan jaringan listrik distribusi. Untuk membatasi antara konduktor saluran bertegangan tinggi dengan bodi menara atau bodi tiang, maka digunakan isolator. Bahan isolator yang telah banyak digunakan adalah keramik, sementara untuk bahan polimer masih terus dikembangkan, salah satu bahan polimer yang telah dikembangkan digunakan sebagai isolator adalah Resin Epoksi. Dalam aplikasinya di lapangan, isolator yang terletak pada pasangan luar banyak sekali terpengaruh oleh keadaan lingkungan di sekitarnya, sehingga tidak tertutup kemungkinan menjadikan kemampuan isolator menurun atau berada di bawah kemampuan kerja seharusnya. Sehingga dibutuhkan suatu isolator yang memiliki unjuk kerja yang baik untuk mendukung keandalan sistem. Pada penelitian tugas akhir ini bahan yang digunakan adalah sampel Resin Epoksi dengan pengisi batu alam dan silane dengan persentase yang divariasikan. Semua pengujian dilakukan di laboratorium dengan kondisi temperatur ruang. Hasil pengujian sudut kontak menunjukkan bahwa sampel RTV 40 yang terbaik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pengujian tarik, tegangan tarik semakin menurun disebabkan karena semakin bertambahnya bahan pengisi batu alam dan silane.

Kata Kunci : Isolator, resin epoksi, silane, batu, sudut kontak, uji tarik,

**ANALYSIS OF THE UTILIZATION OF HIGH-CARBON ROCKS AND SILANE AS A
FILLER FOR EPOXY RESIN INSULATORS FOR ELECTRICAL INSULATORS**

by :

Diah Ayu Lestari

C2B013009

Electrical Engineering Program, Faculty of Engineering

University of Muhammadiyah Semarang

e-mail : diahayulesatri44@gmail.com

Abstract

Electrical energy is channeled and distributed from power plants to load centers use electricity transmission and distribution networks. To limit the high-voltage line conductor with the body of the tower or pole body, then use an insulator. Insulating material has been widely used is ceramic, while for the polymer material is still being developed, one of the polymer materials that have been developed and used as an insulator is Epoxy Resin. In its application in the field, an insulator which is located on the outside a lot of couples are affected by environmental conditions around it, so it is possible to make the ability of the insulator falls at or below should work ability. In this final project, the material used is Epoxy Resin sample with natural stone filler and silane with percentage varied. All tests were performed in the laboratory under conditions of room temperature. The results of the contact angle testing show that the RTV 40 sample is the best. The results showed that in tensile testing, tensile stress decreased due to the increasing of natural stone and silane filler material.

Keywords: Isolator, epoxy resins, silane, stone, contact angle, tensile test

Pendahuluan

Energi listrik saat ini dapat dikatakan sebagai kebutuhan pokok manusia, karena sebagian besar energi listrik yang telah dikonversikan menjadi bentuk energi yang lain seperti energi mekanik, energi panas, energi cahaya, energi suara, dan berbagai bentuk energi yang lain banyak digunakan dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Energi listrik telah menjadi kebutuhan utama dalam kehidupan manusia, baik dalam kehidupan individu maupun dalam kehidupan masyarakat umum (Tobing, 2003).

Untuk memenuhi kebutuhan yang semakin meningkat maka diperlukan pembangkit dengan jumlah yang memadai dan untuk menyalurkan tenaga listrik kepada konsumen diperlukan saluran transmisi yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit sampai ke gardu-gardu induk. Tenaga listrik kemudian disalurkan kepada konsumen melalui saluran distribusi. Untuk mendapatkan sebuah sistem tenaga listrik yang handal, maka diperlukan peralatan-peralatan listrik yang handal pula (Waluyo, 2010).

Dalam pemilihan jenis bahan isolasi, diharapkan tidak mengurangi nilai guna ataupun fungsi dari isolator itu sendiri. Dalam pemilihan jenis isolator, harus diketahui sifat-sifatnya. Dua sifat yang sangat penting yang harus diperhatikan adalah sifat elektris dan sifat mekanis suatu isolator. Secara mekanis isolator harus cukup kuat untuk menahan beban yang diberikan pada isolator tersebut, sedangkan secara elektris isolator harus mampu memisahkan dua bagian yang bertegangan. Meskipun memiliki keunggulan tetap saja suatu bahan pasti juga memiliki kelemahan (Nurlailati, 2010). Demikian halnya dengan resin epoksi, maka untuk mengatasi kelemahan pada isolator bahan resin epoksi, ditambahkan bahan lain yang disebut filler (pengisi). Penggunaan filler (pengisi) bertujuan untuk memperbaiki kinerja polimer sekaligus menekan biaya pembuatan isolator polimer (Prasetyo, 2015). Batu berkarbon tinggi seperti batu silika dan Na_2CO_3 merupakan salah satu bahan pengisi (filler).

Tinjauan Pustaka

Isolator

Isolator adalah alat yang berfungsi sebagai isolasi dan pemegang mekanis dari perlengkapan atau penghantar yang dikenai beda potensial. Jika isolator gagal dalam kegunaannya sebagai pemisah antara saluran maupun saluran dengan pentanahan maka penyaluran energi tersebut akan gagal atau tidak optimal. Pengaruh keadaan udara sekitar dan polutan yang menempel pada permukaan yang menyebabkan permukaan isolator bersifat konduktif. Dalam menentukan sebuah isolator yang akan dibuat serta bagaimana unjuk kerjanya dalam melayani suatu sistem tenaga listrik ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan yaitu, sifat-sifat kandungan material dengan bahan dasar untuk membuat isolator kemampuannya pada cuaca buruk, keadaan saat terkontaminasi serta pertimbangan masalah biaya produksi (Arismunandar, 2001).

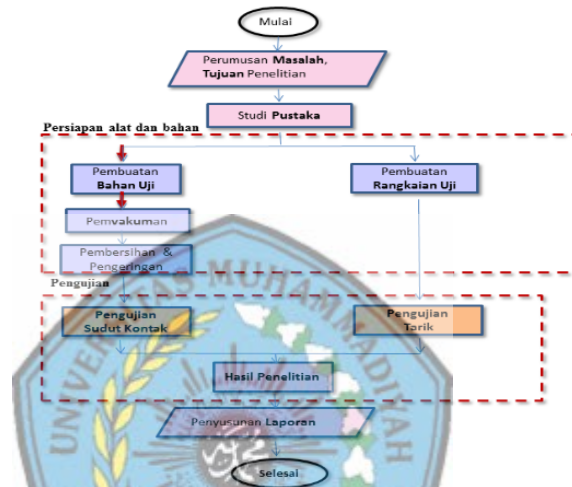
Isolator dapat ditemui pada setiap bagian sistem tenaga listrik. Selain pada transmisi, isolator juga dapat ditemui pada jaringan distribusi hantaran udara, gardu induk dan panel pembagi daya.

Pada jaringan distribusi hantaran udara isolator digunakan sebagai penggantung atau penopang konduktor. Pada gardu induk isolator digunakan sebagai pendukung sakelar pemisah, pendukung konduktor penghubung dan penggantung rel dengan kerangka pendukung pemisah (Surdia et al., 1995).

Metodologi Penelitian

Alur Penelitian

Secara garis besar tahapan penelitian yang dilaksanakan seperti pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Isolator polimer, material resin epoksi dengan perbandingan DGEBA: MPDA yang sama pada semua variasi penambahan pengisi dengan bahan pengisi (filler) batu berkarbon tinggi dan silane masing – masing 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, sehingga konsentrasi total dari pengisi yakni 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%.
 - a. Proses persiapan : menyiapkan bahan dan alat yang digunakan yaitu,
 - i) Bahan : - bahan dasar : *diglycidyl ether of bisphenol A* (DGEBA)
 - bahan pengeras : *metaphenylene diamine* (MPDA)

Bahan dasar DGEBA dan bahan pengeras MPDA resin epoksi ini produksi dengan merk SUPER EPOXY.



Gambar 3.2 Resin Epoksi tipe SUPER EPOXY beserta hardenernya.

- bahan pengisi (filler) memakai batu berkarbon tinggi dengan menggunakan batu pantai yang didapatkan dari daerah Pracimantoro Wonogiri yang banyak mengandung karbon.
 - bahan pengisi *silane*, menggunakan Silicon Rubber (Lem Kaca).

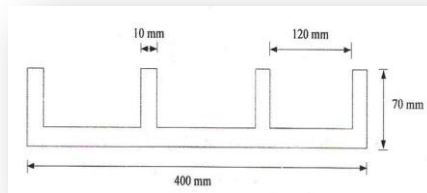
Dengan urutan pencampuran bahan dimulai dari batu berkarbon tinggi dilanjutkan Lem kaca (*silane*) yang terakhir adalah pencampuran Epoxy resin Epoxy hardener.

- ii) Alat : Cetakan yang dilapisi mika, timbangan, sendok plastik sebagai alat pengaduk dan mangkuk plastik sebagai tempat mencampur.
- b. Proses pencampuran dan pengadukan : dilakukan kira – kira 5 menit untuk mendapatkan campuran resin epoksi dan pengisi (*filler*) yang merata. Komposisi campuran dapat dilihat pada tabel 3.2. untuk setiap variasi komposisi resin epoksi dibuat 3 sampel uji.

Tabel 3.2 Komposisi campuran resin epoksi, dan bahan pengisi

Bahan Campuran (dalam persen)					
No	Kode	DGEBA	MPDA	Silane	Batu
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

- c. Penuangan dan pencetakan : dilakukan setelah bahan tercampur rata pada suhu dan tekanan ruang dengan terlebih dahulu melapisi permukaan dengan plastik mika untuk mencegah bahan lengket ke cetakan dan memperoleh bahan uji halus. Cetakan dengan berukuran panjang 400 mm dan lebar 70 mm dengan sekat 10 mm sehingga dapat dibuat 3 sampel untuk setiap kali cetak dengan ukuran sample 120 mm x 50 mm x 50 mm. Setelah penuangan dan pemasangan cetakan, campuran diaduk perlahan untuk menghilangkan void – void yang timbul saat proses pengadukan.



Gambar 3.3 Cetakan Resin epoksi

- d. Pengeringan : bahan yang sudah dicetak, dibiarkan selama 24 – 36 jam dalam suhu ruangan untuk mendapatkan bahan uji yang padat sempurna benar – benar kering dan meminimalkan adanya *void*. Proses pematangan dilakukan dengan vulkanisasi suhu ruangan (*room temperature vulcanized = RTV*).
- e. Pemotongan : bahan yang telah kering kemudian dipotong untuk mendapatkan dimensi 120 mm x 50 mm x 50 mm.



Gambar 3.4 Dimensi bahan uji

- f. Pengamplasan : sisi – sisi yang rata diampelas agar lebih halus dan tepat ukurannya.
2. Kontaminan berupa $0,1 \pm 0.002\%$ NH_4CL (*ammonium chlorida*)
 3. Air destilasi
Air yang dipilih adalah dari jenis ini, sebab diharapkan tidak banyak mengandung bahan – bahan pengotor yang dapat mempengaruhi kemurnian sifat air.

Hasil Penelitian

Hasil Pengujian Sudut Kontak Resin Epoksi

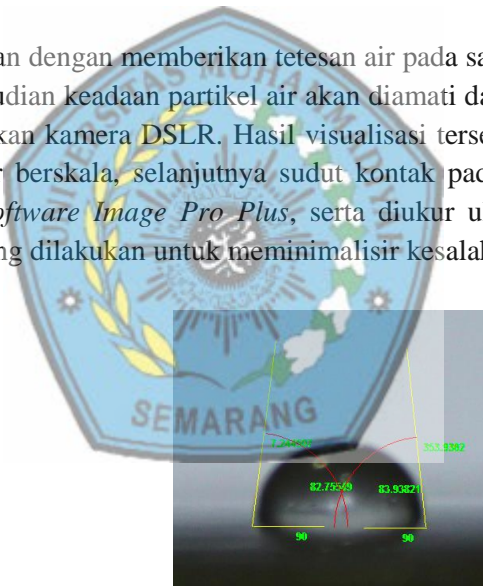
Sebelum dilakukan pengukuran atau uji karakteristik spesimen isolator terhadap air, maka dilakukan pembuatan spesimen dengan bahan material yang telah diuraikan pada bab 3 (tiga). Sampel yang dibuat untuk dilakukan uji karakteristik berjumlah 5 (lima) sampel dengan konsentrasi pengisi (batu alam dan silane) yang bervariasi disetiap sampelnya. Pada penelitian ini, kelima sampel uji diberinama RTV10, RTV20, RTV30, RTV40, dan RTV50. Untuk lebih jelas mengenaikan dengan sampel uji dapat dilihat pada Tabel 3.1 (bab 3).



Gambar 4.1. Sampel uji isolator terhadap sudut kontak (RTV10 – RTV50)

Pada Gambar 4.1 terlihat penamaan sampel dengan penambahan komposisi filler adalah T5, T10, T15, T20, dan T25, yang mana secara berurutan merupakan nama dari sampel RTV10, RTV20, RTV30, RTV40, dan RTV50. Sampel – sampel tersebut kemudian dilakukan pengujian sudut kontak terhadap partikel air, sehingga dapat diketahui karakteristik sampel terhadap resapan air.

Pengujian dilakukan dengan memberikan tetesan air pada sampel uji menggunakan pipet tetes 0,05 ml atau 50 µl. Kemudian keadaan partikel air akan diamati dan dilakukan pengambilan gambar secara visual menggunakan kamera DSLR. Hasil visualisasi tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk : ukur proyektor berskala, selanjutnya sudut kontak pada sisi kiri dan kanan sampel uji diukur menggunakan *Software Image Pro Plus*, serta diukur ulang dengan menggunakan busur derajat. Pengukuran ulang dilakukan untuk meminimalisir kesalahan terhadap besaran sudut kontak dari partikel air.



Gambar 4.2 Profil tetesan air dan perhitungan sudut kontak RTV 40.

Dari Gambar 4.2 diketahui bahwa bentuk partikel air menandakan sampel tersebut (RTV40) memiliki karakteristik terhadap air adalah basah sebagian, dengan sudut kontak kiri = 82.7°, dan sudut kontak kanan = 83.9°. Dari ukuran derajat kedua sudut kontak tersebut dapat diketahui sudut kontak sampel RTV40 dengan mencari nilai rerata dari sudut kontak kanan dan kiri, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Sudut kontak} &= \frac{\text{Sudut kontak kiri} + \text{Sudut kontak kanan}}{2} \\ &= \frac{82.7 + 83.9}{2} = 83.3 \end{aligned}$$

Jika mengacu pada standar yang telah ditetapkan, bahwa derajat sudut kontak yang diperbolehkan untuk isolator adalah minimal 90° , maka sampel RTV 40 tidak memiliki karakteristik yang dipersyaratkan untuk sudut kontak isolator yang diperbolehkan. Dimana nilai sudut kontak sampel RTV 40 adalah $0^\circ < 83$, $1^\circ < 90^\circ$ (basah sebagian). Sudut kontak kiri dan kanan pada sampel RTV 40 besarnya tidak sama karena permukaan sampel tidak homogen, yang diakibatkan proses pembuatan sampel.

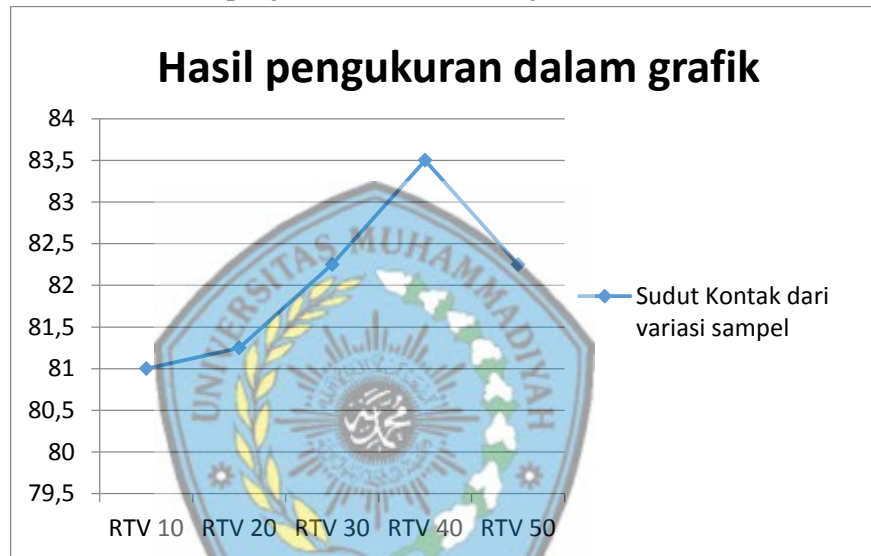
Hasil pengukuran sudut kontak sampel untuk isolator terhadap variasi konsentrasi batu alam dan silane sebagai pengisi komposit adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1. Hasil pengukuran sampel uji RTV10 – RTV50

Kode Sempel	Konsentrasi pengisink	Sempel	Sudut Kontak ($^\circ$)			
			Kiri	Kanan	Rata-rata	Terbaik
Kode RTV 10	10%	1	80	81	80.5	81
		2	80	81.5	80.75	
		3	81	81	81	
Kode RTV 20	20%	1	81	81.5	81.25	81.25
		2	81	81	81	
		3	81	80	80.5	
Kode RTV 30	30%	1	81.5	82	81.75	82.25
		2	82.5	82	82.25	
		3	82	82	82	
Kode RTV 40	40%	1	83	84	83.5	83.5
		2	83	84	83.5	
		3	83.5	83	83.25	
Kode RTV 50	50%	1	82	82	82	82.25
		2	82	81	81.5	
		3	82.5	82	82.25	

Setelah dilakukan perhitungan nilai rata – rata sudut kontak untuk masing – masing konsentrasi resin epoksi dan diambil yang terbaik kemudian dibuat grafik. Hubungan antara sudut kontak dan terhadap nilai konsentrasi pengisi resin epoksi, seperti yang di tampilkan tabel 4.2 :

Tabel 4.2 Hasil pengukuran dalam bentuk grafik



Dari hasil pengujian dan Tabel 4.2, karena hasil pengukuran sudut kontaknya $< 90^\circ$, maka dapat disimpulkan bahwa permukaan bahan uji komposit resin epoksi yang digunakan pada penelitian ini bersifat basah sebagian (*partially wetted*). Dari semua material sampel yang dilakukan uji sudut kontak dikategorikan bersifat *partially wetted* (sebagian basah). Sifat ini kurang baik bagi suatu isolator, karena dapat menurunkan resistansi permukaan bahan dan menurunkan nilai tegangan *flashover*. Sudut kontak yang paling besar adalah resin epoksi RTV 40.

Hubungan besarnya sudut kontak terhadap nilai konsentrasi pengisi komposit resin epoksi dapat disekati dengan persamaan :

$$\theta = -0.0029(nk)^2 + 0.2264(nk) + 87.05$$

Dengan : θ = sudut kontak

nk = nilai konsentrasi pengisi

Dari persamaan pendekatan diatas dapat dilihat bahwa kenaikan nilai konsentrasi pengisi komposit resin epoksi cenderung menyebabkan kenaikan sudut kontak yang menunjukkan kenaikan sifat kedap air permukaan bahan isolator.

Penambahan pengisi silane akan memiliki sifat hidrofobik yang tinggi, bahkan mampu memulihkan dan memindahkan sifat hidrofobiknya sehingga pada kondisi lembab tidak terbentuk

lapisan air yang kontinyu sehingga konduktivitas permukaan isolator tetap rendah. Penambahan pengisi batu akan memperbaiki sifat fisik bahan sehingga akan dihasilkan bahan yang tak mudah lentur dan rapuh.

Penurunan sudut kontak menyebabkan menurunnya resistivitas permukaan bahan isolator, sehingga mempermudah terjadinya arus bocor. Perubahan arus bocor ini berkontribusi pada pengembangan sifat penjeakan dan pola-pola penjeakan karbon. Arus bocor akan menyebabkan terjadinya degradasi permukaan karena adanya medan listrik. Jika elektroda tegangan tinggi diterapkan tegangan, maka akan timbul medan listrik.

Di dalam medan listrik, elektron-elektron bebas akan mendapatkan energi yang kuat dapat memicu timbulnya proses ionisasi. Penguraian ion ini menyebabkan penurunan kualitas isolasi. Medan listrik yang melebihi nilai ambang akan mengakibatkan terjadinya pelepasan muatan permukaan. Erosi pada permukaan diikuti dengan terbentuknya pola filament yang menghasilkan pepohonan listrik.

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa untuk memperoleh resin epoksi dengan nilai sudut kontak yang tinggi, dapat dilakukan dengan penambahan pengisi (*filler*) batu alam dan silane.

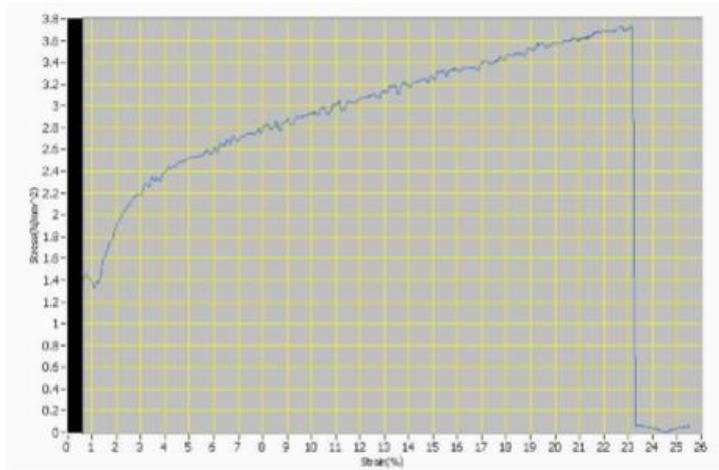
Untuk penambahan silane pada komposit akan berpengaruh pada sifat hidrofobik, semakin besar sudut kontak akan semakin besar sifat hidrofobiknya. Tetapi pada RTV 40 mengalami kejenuhan dengan sudut kontak tertinggi 83.5.

4.2. Hasil Pengujian Uji Tarik

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Uji Tarik Sempel RTV 40

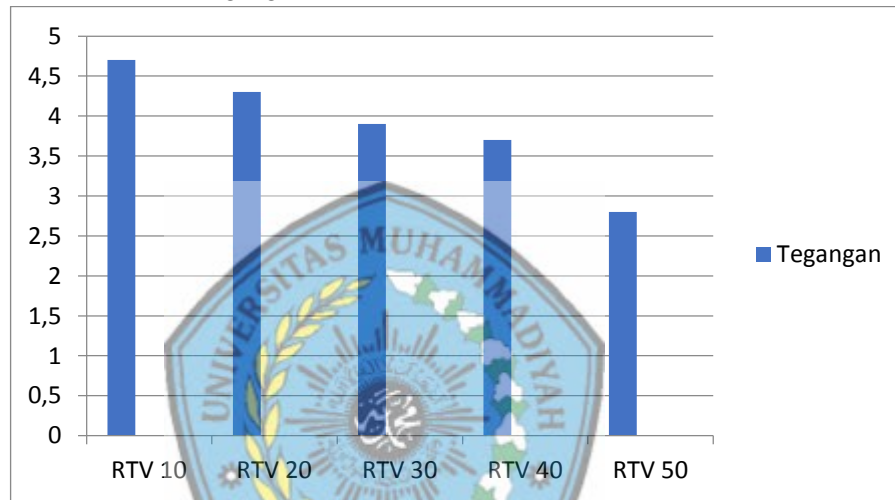
No	Material	Panjang Awal (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Panjang Akhir (mm)	Tensile Strength (N/mm ²)	%EL
1	Composite	123,7	10,25	9,45	128,6	3742	3,96%

Dari grafik dibawah ini dapat disimpulkan, hasil pengukuran uji tarik sampel RTV 40 mengalami tekanan sebesar 3742 N/mm²



Gambar 4.3 Contoh Hasil Pengukuran Uji Tarik Sampel RTV 20

Tabel 4.4 Grafik Tegangan Tarik RTV 10 – RTV 50



Uji tarik digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus.

Dilihat dari variasi campuran tersebut, tegangan yang paling tinggi adalah pada RTV10, yaitu sampel dengan campuran DGEBA : MPDA = 45% : 45%. Penambahan filler/pengisi akan menurunkan tegangan tarik maksimal.

Penambahan MPDA menjadikan nilai regangannya berangsur-angsur turun. Dan setelah ditambahkan silane/silicone rubber nilai regangannya menurun apabila dibandingkan dengan tidak ditambahkan silane/silicone rubber. Namun, penambahan komposisi silane/silicone rubber cenderung menaikkan nilai tegangan. Hal ini disebabkan pencampuran/pengadukan tidak merata. Untuk penambahan batu alam yang dimasukkan sebagai filler, juga akan menurunkan regangan sehingga kekuatan tarik semakin berkurang.

Kesimpulan

1. Dari hasil pengukuran sudut kontak RTV10 – RTV50, diambil hasil yang terbaik dari masing-masing sampel, yaitu RTV10 = 81°, RTV20 = 81,25°, RTV30 = 82,25°, RTV40 = 83,5°, dan RTV50 = 82,25°. Dan dari hasil tersebut diketahui bahwa semakin banyak konsentrasi pengisi (batu alam dan silane) akan membuat derajat sudut kontak semakin besar, yang ditunjukkan pada RTV40 dengan sudut kontak 83,5° (paling besar diantara RTV10 – RTV50).

2. Dari hasil pengujian tarik diambil kesimpulan, bahwa semakin banyak penambahan fillernya semakin kecil kekuatan tariknya. Kekuatan tarik yang terbesar adalah sampel RTV 10.

Saran

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik dari masing-masing material silane dan batu berkarbon tinggi, baik dari sisi uji sudut kontak maupun uji tarik.
2. Dilakukan penambahan uji material, seperti tegangan tembus, suhu, tekanan, polutan, dll.

Daftar Pustaka

- Anggraini, Ika Novia., 2010 Pengaruh Komposisi Bahan Isolasi Resin Epoksi dengan Bahan Pengisi Silicone Rubber terhadap Proses Tracking dan Erosi, Tesis S-2, Fakultas Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
http://www.elektro.undip.ac.id/el_kpta/wp-content/uploads/2012/05/21060110151061_MTA.pdf
- Arifianto, 2008 Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500 Volt, Skripsi Fakultas Teknik Departemen Elektro Universitas Indonesia, Depok.
<http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/126745-R0308153-Analisis%20karakteristik-Literatur.pdf>
- Arismunandar, A., 2001. Teknik Tegangan Tinggi, Pradnya Paramita, Jakarta,
- Berahim, Hamzah, 2005. Metodologi untuk Mengkaji Kinerja Isolasi Polimer Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tegangan Tinggi di Daerah Tropis, Disertasi S-3 Fakultas Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Cundari, Lia, 2014. Pengaruh Penggunaan Solven Natrium Karbonat (Na_2CO_3) Terhadap Absorpsi CO_2 Pada Biogas Kotoran Sapi Dalam Spray Column, Jurnal Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Ogan Ilir.
<http://jtk.unsri.ac.id/index.php/jtk/article/viewfile/186/187>
- Dissado, L.A., Fothergill J.C., 1992 Electrical Degradation and Breakdown in Polymers, Peter Peregrinus Ltd, London.
- Heri, Johanadib, 2012. Studi Arus Bocor Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Silane Dengan Variasi Pengisi Pasir Silika (Dengan Polutan Pantai), Skripsi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/transmisi/article/view/3717/3405>

Lee, Henry, Kris Neville, 1957. Epoxy Resins Their Applications And Technology, McGraw-Hill Book Company, INC, New York Toronto London.

