

ANALISIS PENAMBAHAN BAHAN PENGISI PASIR SILIKA PADA BAHAN RESIN EPOKSI SILICONE RUBBER TERHADAP PARAMETER LISTRIK, MEKANIK DAN FISIK UNTUK BAHAN ISOLATOR

Fanny Rizka Savitri^{*)}, Abdul Syakur, Hermawan

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

^{*)}E-mail: fanny.rizka@student.undip.ac.id

Abstrak

Riset terhadap bahan isolator polimer saat ini masih menjadi sebuah tantangan. Kemampuan isolator polimer yang lebih ringan dan dapat ditambahkan pengisi untuk memperbaiki kekuatan isolator masih menjadi sebuah riset. Kajian terhadap kinerja isolator telah dilakukan sehingga diperoleh komposisi bahan yang ideal sebagai komposisi bahan pembuatan isolator. Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan mencari komposisi bahan pembuatan isolator yang lebih baik dari segi mekanik, elektrik dan fisik. Sampel pengujian 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 dan pasir silika. Bahan pengisi pasir silika divariasasi dengan persentase 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, 17,5%. Parameter yang dianalisa adalah sudut kontak, nilai arus bocor, tegangan flashover, kekuatan tarik dan nilai kekerasan bahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bahan pengisi pasir silika pada bahan isolator resin epoksi silicone rubber untuk memperbaiki kekuatan mekanik bahan isolator. Didapatkan komposisi terbaik untuk bahan isolator dengan pengisi pasir silika sebesar 10% dengan nilai sudut kontak sebesar 55,85°, nilai arus bocor sebesar 3,35 mA, tegangan flashover sebesar 16,39 kV, kekuatan mekanis sebesar 11,13 Mpa dan kekerasan sebesar 213,6 HV.

Kata kunci: resin epoksi, pasir silika, sudut kontak, arus bocor, tegangan flashover, uji tarik, kekerasan bahan.

Abstract

Research on polymer insulator materials is still a challenge. The ability of polymer insulators that are lighter and can be added fillers to improve the strength of the insulator is still a research. The study of the performance of insulators has been carried out so that the ideal composition of the material is obtained as the composition of the materials for making insulators. This research is part of the activity of looking for better compositions of insulating materials in terms of mechanical, electrical and physical. The test sample uses epoxy resin insulating material made from a mixture of Diglycidyl Ether of Bisphenol-A (DGEBA) and Metaphenylene Diamine (MPDA) with a mixture of silicone rubber and silica sand fillers. Silica sand filler material was varied with a percentage of 7.5%, 10%, 12.5%, 15%, 17.5%. The parameters analyzed were contact angle, leakage current value, flashover voltage, tensile strength and hardness value of the material. The results showed that the addition of silica sand filler material to the epoxy silicon rubber resin insulator material to improve the mechanical strength of the insulating material. The best composition for the insulator with silica sand filler was 10% with a contact angle value of 55.85°, the leakage current value was 3.35 mA, flashover voltage of 16.39 kV, mechanical strength of 11.13 Mpa and hardness of 213,6 HV.

Keywords: epoxy resin, silica, contact angle, leakage current, flashover voltage, material hardness.

1. Pendahuluan

Selama ini kebutuhan energi listrik tidak pernah berkurang, dari tahun ketahun selalu meningkat disebabkan oleh ketergantungan manusia akan pemakaian alat-alat listrik semakin meningkat. Dengan meningkatnya penggunaan energi listrik maka dibutuhkan sistem tenaga listrik maka dibutuhkan sistem tenaga listrik yang handal dan memadai. Untuk merealisasikan sarana tersebut perlu adanya prasarana yang menunjang. Salah satunya dengan menjaga kinerja dari isolator. Kualitas sistem tenaga listrik baik

transmisi maupun distribusi sangat ditentukan oleh kinerja isolator yang dipakai dalam penyaluran.

Isolator berfungsi secara mekanik menahan beban kawat saluran, secara elektrik mengisolasi saluran yang bertegangan dengan menara, atau saluran dengan saluran sehingga tidak terjadi kebocoran arus dan tidak terjadi lompatan listrik berupa lewat denyar (*flashover*). [1] Salah satu alternatif untuk mengatasi kelemahan porselen dan gelas adalah digunakan isolator polimer. Meskipun isolator polimer lebih mahal daripada isolator berbahan porselen dan gelas, isolator ini memiliki beberapa

kelebihan, antara lain : memiliki sifat listrik dan sifat panas yang lebih baik, lebih ringan, dan proses pembuatannya yang lebih cepat. Berat bahan isolasi polimer khususnya resin epoksi lebih rendah dibanding porselin dan gelas. Resin epoksi memiliki sifat perekat yang sempurna, mudah dibentuk, dan memiliki daya tahan kimia yang baik [2]. Isolator dengan bahan isolasi polimer semakin banyak dipakai pada saluran transmisi dan distribusi dengan tingkatan tegangan semakin tinggi, dan telah dipasarkan secara massal. [3]

Untuk 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 [4]. Telah dilakukan penelitian mengenai analisis degradasi permukaan bahan isolasi resin epoksi berbahan pengisi campuran *silicone rubber* dan silika akibat *electrical tracking* [5]. Hasil pengukuran tahanan permukaan bahan resin epoksi secara umum meningkat dengan bertambahnya bahan pengisi pasir silika dan *silicone rubber*, namun mengalami penurunan setelah mengalami penuaan.

Dalam penelitian ini dianalisis unjuk kerja penambahan bahan pengisi pasir silika pada bahan resin epoksi *silicone rubber* terhadap parameter fisik, elektrik dan mekanik. Material uji yang digunakan adalah resin epoksi yang dibentuk dari *Diglycidyl Ether Bisphenol A* (DGEBA) dan *Methaphenylene Diamine* (MPDA) yang dicampur dengan *silicone rubber*, pasir silika. Untuk komposisi sampel uji yaitu resin epoksi 75%, dan bahan pengisi 25% yang nantinya bahan pengisi divariasi antara *silicone rubber* dan pasir silika dengan perbandingan 7,5% : 17,5% ; 10% : 15% ; 12,5% : 12,5% ; 15% : 10% dan 17,5% : 7,5 % . Sampel bahan isolasi diuji sifat elektriknya dengan dilakukan pengujian *flashover* dan arus bocor. Sifat mekaniknya dilakukan pengujian untuk mengetahui kekuatan tarik dan kekerasan bahan (*hardness*). Dan sifat fisiknya dilakukan pengukuran sudut kontak untuk mengetahui kemampuan dalam menahan air. Pengujian tersebut bertujuan untuk memperoleh data komposisi baru untuk bahan isolator yang sesuai dengan kebutuhan sebagai penyekat bagian-bagian yang bertegangan tinggi.

2. Metode

Berikut disajikan diagram alir penelitian yang digunakan dalam penelitian ini



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1. Pembuatan Sampel uji

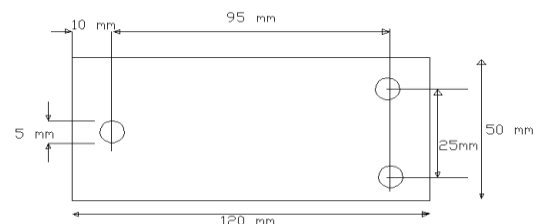
2.1.1. Alat dan Bahan Pembuatan sampel uji

- | | |
|---------------------------|---------------------|
| 1. Resin epoksi | 8. Mesin gerinda |
| 2. <i>Silicone rubber</i> | 9. Mesin bor |
| 3. Pasir silika | 10. Mika |
| 4. Kontaminan | 11. Lakban |
| 5. Cetakan kaca | 12. Penjepit binder |
| 6. Neraca digital | 13. Spidol permanen |
| 7. Sendok plastik | 14. Penggaris |

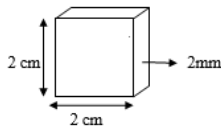
Tabel 1. Komposisi penyusun bahan uji

Komposisi Bahan Pengisi pasir silika (%)	Massa pasir silika (gram)	Massa <i>silicone rubber</i> (gram)	Massa DGEBA (gram)	Massa MPDA (gram)	Kode Sampel
7,5	24	56	108	132	1
10	32	48	108	132	2
12,5	40	40	108	132	3
15	48	32	108	132	4
17,5	56	24	108	132	5

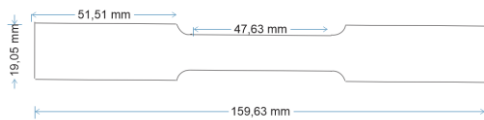
2.2.2. Dimensi bahan uji



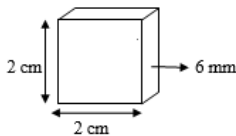
Gambar 2. Dimensi bahan uji sampel arus bocor[6]



Gambar 3. Dimensi bahan uji sampel *flashover* [7]



Gambar 4. Dimensi bahan uji sampel tarik [8]



Gambar 5. Dimensi bahan uji sampel *hardness*

2.2. Peralatan Pengujian Sudut Kontak

Prosedur yang dilaksanakan dalam pengujian sudut kontak adalah:

1. Mempersiapkan alat pengujian
2. Air destilasi diteteskan pada permukaan bahan sampel uji, dengan menggunakan pipet.
3. Mengatur posisi kamera agar titik air berada pada posisi fokusnya, dengan pencahayaan lampu pijar 60 Watt didalam kotak sumber cahaya.
4. Setelah gambar titik air diperoleh, kemudian di pindah ke komputer / laptop untuk pengolahan lebih lanjut dan penyimpanan data.
5. Pengukuran sudut dengan busur derajat dapat dilakukan langsung pada gambar sudut kontak yang telah dicetak, tapi sebaiknya dilakukan menggunakan *Corel Draw* untuk mengurangi kesalahan sudut baca (*paralaks sudut*).

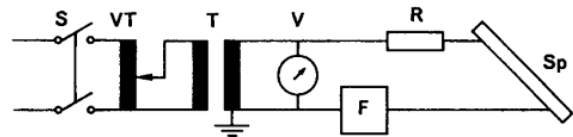


Gambar 6. Penetesan dan pengambilan gambar polutan pada bahan uji

2.3. Peralatan Pengujian Arus Bocor

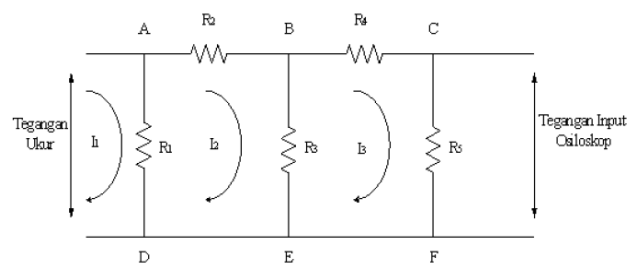
Prosedur yang dilaksanakan dalam pengujian arus bocor adalah:

1. Membuat rangkaian sesuai dengan standar IEC 587 : 1984 [5]



Gambar 7. Rangkaian pengujian arus bocor [5]

2. Meletakkan elektroda atas dan bawah pada sampel. Pada elektroda atas, sebelum dipasang pada sampel diberi kertas saring sebanyak 8 lapis. Kemudian meletakkan sampel tersebut pada *support* sehingga bagian permukaan sampel menghadap ke bawah dengan sudut 45° terhadap sumbu horizontal.
3. Mengatur kecepatan aliran polutan pada 0,3 ml/menit, kemudian mengalirkan ke sampel melalui kertas saring.
4. Melakukan pemeriksaan untuk memastikan bahwa polutan mengalir tepat pada permukaan bahan uji melalui lubang kecil ujung elektroda atas menuju elektroda bawah.
5. Menerapkan tegangan 3,5 kV pada sampel, yang didapatkan dari pembangkit tegangan tinggi melalui elektroda atas, sedangkan elektroda bawah dihubungkan dengan peralatan ukur yang juga terhubung dengan *ground*
6. Mengukur arus bocor menggunakan osiloskop. Menggunakan rangkaian pembagi tegangan seperti Gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian *divider*

Berdasarkan rangkaian pada gambar 8., maka diperoleh perhitungan untuk mengetahui besarnya nilai arus I_1 melalui persamaan berikut:

$$I_1 = 0,025679 V_{CF}$$

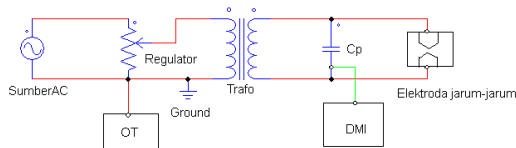
Dimana I_1 merupakan nilai arus bocor yang mengalir pada sampel, dan V_{CF} menunjukkan tegangan efektif (V_{RMS}) yang terbaca pada osiloskop.

7. Mencatat hasil pengukuran arus bocor dengan menekan sebuah tombol pada osiloskop dengan otomatis data dapat dikirim ke komputer / laptop melalui kabel USB.

2.4. Peralatan Pengujian Tegangan *Flashover*

Untuk pengujian tegangan *flashover* dilakukan dengan memberikan tegangan yang dinaikkan secara terus-menerus sampai terjadi *flashover*. Pengujian *flashover* untuk material isolasi komposit disesuaikan standar IEC 1109 : 1992 [7] yaitu tegangan sumber dinaikkan secara bertahap sebesar 1 kV per detik sampai terjadi tegangan *flashover*. Dengan prosedur pengujian sebagai berikut:

1. Membuat rangkaian pengujian tegangan *flashover*



Gambar 9. Rangkaian pengujian tegangan *flashover* [9]

2. Meletakkan sampel uji diantara elektroda.
3. Menaikkan tegangan pada OT (*Operating Terminal*) secara bertahap sebesar 1 kV per detik sampai terjadi *flashover*.
4. Mencatat nilai tegangan *flashover* yang ada pada DMI (*Digital Measurement Instrument*).

2.5. Peralatan Pengujian Tarik

Prosedur pengujian kekuatan tarik sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan pengujian yaitu *Universal Testing Machine* (UTM).



Gambar 10. *Universal Testing Machine*

2. Memasang spesimen uji tarik.
3. Memasang kertas pada *plotter* untuk mengetahui grafik tegangan regangan dari pengujian.
4. Melakukan penarikan sampai spesimen uji tarik sampai putus.

5. Melepas kertas dan menggantinya dengan kertas yang baru untuk pengujian spesimen lain.

2.6. Peralatan Pengujian Kekerasan (*Hardness*)

Prosedur pengujian kekerasan bahan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan pengujian yaitu *micro hardness tester*.



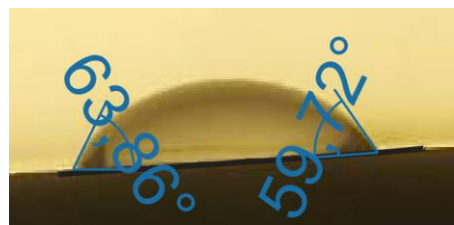
Gambar 11. *Micro Hardness Tester*

2. Permukaan bahan uji diberi pembebanan sebesar 1 kgf.
3. Menjalankan mesin sampai terjadi penekanan pada bahan, hasil penekanan berbentuk dagonal.
4. Mengukur diagonal yang terbentuk dari bekas penekanan penetrator dengan menggunakan *microscope*, hasil pengukuran ditampilkan pada layar *micro hardness tester*.
5. Mencatat nilai *hard value number* (HVN) dari bahan uji.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Sudut Kontak

Hasil sudut kontak isolator resin epoksi silicone *rubber* dengan penambahan pasir silika dengan tetesan akuades ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Sudut kontak permukaan bahan uji isolator

Sudut kontak kiri = 63,86°

Sudut kontak kanan = 59,72°

Untuk menentukan sudut kontak dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Sudut kontak} &= \frac{\text{Sudut kontak kiri} + \text{sudut kontak kanan}}{2} \\ &= \frac{63,86 + 59,72}{2} \\ &= 61,70^\circ \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka diperoleh hasil perhitungan nilai rata-rata pengujian sudut kontak bahan uji dengan variasi persentase pasir silika pada Tabel 2.

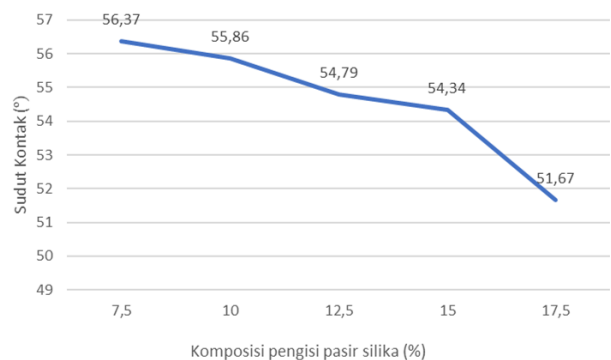
Tabel 2. Nilai sudut kontak permukaan bahan isolasi resin epoksi *silicone rubber*

Komposisi pasir silika (%)	Sampel	Sudut Kontak			Rata-rata	Derajat (°)
		kiri	tengah	kanan		
7,5	1	61,70	52,65	47,64	53,99	56,37
	2	58,71	59,77	60,15	59,54	
	3	52,42	54,93	59,21	55,52	
10	1	54,95	58,98	51,28	55,40	55,86
	2	55,02	54,28	56,06	55,12	
	3	58,03	63,24	49,85	57,04	
12,5	1	55,06	54,17	59,86	56,36	54,79
	2	54,92	55,80	57,74	56,15	
	3	51,27	54,74	49,57	51,86	
15	1	61,65	53,86	50,48	55,33	54,34
	2	55,04	51,46	54,12	53,54	
	3	52,81	51,36	58,25	54,14	
17,5	1	55,88	54,12	45,59	51,86	51,67
	2	52,44	52,11	51,96	52,17	
	3	45,19	54,41	53,28	50,96	

Setelah dilakukan perhitungan nilai rata-rata sudut kontak untuk masing masing variasi komposisi penambahan pasir silika, maka dapat diperoleh hasil pengukuran tersebut pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai rata rata hasil pengukuran sudut kontak

Komposisi pasir silika (%)	Sudut Kontak (°)
7,5	56,37
10	55,86
12,5	54,79
15	54,34
17,5	51,67



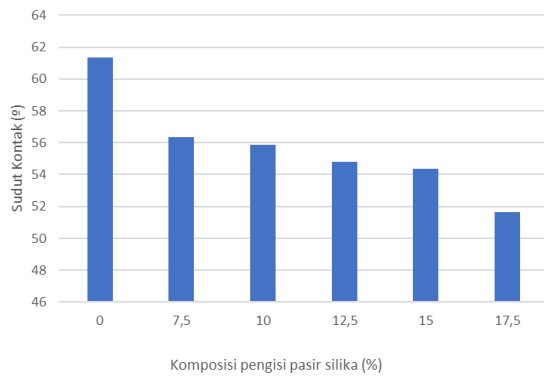
Gambar 13. Grafik hubungan antara sudut kontak dengan variasi bahan pengisi pasir silika

Gambar 13. menunjukkan bahwa penambahan bahan pengisi pasir silika sebesar 7,5% memiliki rata-rata sudut kontak yang paling besar dibandingkan dengan sampel lain, yaitu sebesar 56,36°. Grafik hubungan antara sudut kontak dengan penambahan pasir silika relatif berbanding terbalik. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian yang semakin besar persentase pasir silika, maka nilai sudut kontak permukaan semakin kecil. Pasir silika berguna untuk memperkeras bahan secara mekanis sedangkan *silicone rubber* memiliki sifat hidrofobik. Sehingga dengan variasi penambahan pasir silika, maka nilai sudut kontak permukaan bahan isolator semakin menurun. Hal ini dikarenakan saat variasi pasir silika bertambah, persentase *silicone rubber* diturunkan, sehingga nilai sudut kontak juga semakin turun. Kenaikan sudut kontak menyebabkan nilai resistivitas pada permukaan bahan juga bertambah, sehingga meningkatkan kualitas isolasi dan mempersulit terjadinya arus bocor. Hal ini menyebabkan gaya tarik menarik antar molekul-molekul dipermukaan bahan isolator semakin tinggi. Yakni molekul *polydimethyl* dengan *polysiloxane* sehingga membentuk molekul *polydimethylsiloxane*. [10]

A. Perbandingan nilai sudut kontak resin epoksi dengan dan tanpa pasir silika

Tabel 4. Perbandingan nilai sudut kontak resin epoksi dengan dan tanpa pasir silika

Komposisi pengisi pasir silika (%)	Sudut Kontak (°)
0	61,35
7,5	56,37
10	55,86
12,5	54,79
15	54,34
17,5	51,67



Gambar 14. Perbandingan nilai sudut kontak pada resin epoksi *silicone rubber* dengan dan tanpa pasir silika

Berdasarkan Gambar 14. dapat dilihat bahwa dengan menambahkan pasir silika pada bahan resin epoksi *silicone rubber* memperkecil nilai sudut kontak bahan. Hal ini dikarenakan dengan penambahan pasir silika menyebabkan kandungan silane didalam sampel isolator berkurang, sehingga nilai hidrofobik suatu bahan berkurang. Hal ini menyebabkan gaya tarik menarik antar molekul-molekul dipermukaan bahan isolator semakin tinggi.

3.2. Hasil Pengujian Arus Bocor

Pengujian arus bocor ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh penambahan pasir silika terhadap nilai arus bocor dari bahan isolator polimer resin epoksi *silicone rubber*.

Nilai rata-rata arus bocor pada setiap komposisi variasi bahan pengisi pasir silika pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai arus bocor dengan variasi komposisi bahan pengisi pasir silika

Komposisi pengisi pasir silika (%)	Rata-rata arus bocor (mA)
7,5	2,61
10	3,35
12,5	3,52
15	4,56
17,5	3,55

Berdasarkan gambar 15. dapat diketahui bahwa penambahan komposisi pasir silika pada bahan isolator resin epoksi *silicone rubber* mengakibatkan meningkatnya nilai arus bocor. Akan tetapi pada variasi komposisi pasir silika 17,5% terjadi penurunan nilai arus bocor menjadi 3,55 mA. Hal ini dikarenakan adanya udara saat melakukan pengadukan pembuatan sampel bahan isolator. Arus bocor paling kecil dimiliki sampel dengan komposisi bahan pengisi pasir silika 7,5% dengan nilai arus bocor sebesar 2,61 mA.



Gambar 15. Grafik hubungan antara arus bocor dengan variasi komposisi pengisi pasir silika

Peningkatan nilai atau persentase dari bahan pengisi pasir silika pada bahan resin epoksi silane dapat memperkecil nilai arus bocor yang terjadi. Karena campuran bahan ini sangat mudah terbakar, pada saat pencampuran bahan isolasi dengan polutan akan melelehkan bahan resin epoksi. Tetapi tidak melelehkan bahan pengisi pasir silika, karena bahan pengisi pasir silika merupakan bahan tahan dan tidak leleh dalam panas sehingga sifat resistivitas bahan akan tetap. Oleh karena itu, untuk bahan yang memiliki komposisi bahan pengisi pasir silika yang lebih banyak mempunyai nilai resistivitas semakin besar [11]. Sehingga hasil pengujian kurang sesuai, hal ini dikarenakan adanya udara saat proses pembuatan sampel uji

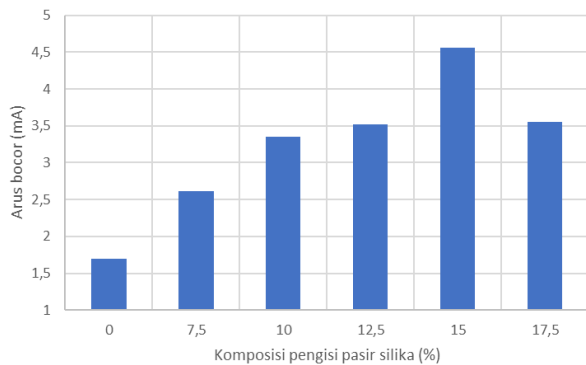
- A. Perbandingan nilai arus bocor pada resin epoksi *silicone rubber* dengan dan tanpa pengisi pasir silika

Tabel 6. Perbandingan nilai arus bocor resin epoksi dengan dan tanpa pasir silika

Komposisi pengisi pasir silika (%)	Arus Bocor (mA)
0	1,7
7,5	2,61
10	3,35
12,5	3,52
15	4,56
17,5	3,55

Berdasarkan Gambar 16. dilihat bahwa dengan menambahkan pasir silika pada bahan resin epoksi *silicone rubber* memperbesar nilai arus bocor permukaan bahan isolasi. Peningkatan nilai atau persentase dari bahan pengisi pasir silika pada bahan resin epoksi silane dapat memperkecil nilai arus bocor yang terjadi. Karena campuran bahan ini sangat mudah terbakar, pada saat pencampuran bahan isolasi dengan polutan akan melelehkan bahan resin epoksi. Tetapi tidak melelehkan bahan pengisi pasir silika, karena bahan pengisi pasir silika merupakan bahan tahan dan tidak leleh dalam panas

sehingga sifat resistivitas bahan akan tetap. Pada penelitian arus bocor pada resin epoksi *silicone rubber* dengan pengisi pasir silika didapatkan nilai arus bocor yang lebih besar, hal ini dikarenakan pengambilan data pada resin epoksi *silicone rubber* dengan pasir silika dengan waktu yang lebih cepat yaitu 45 menit, sehingga data yang dihasilkan berbeda sehingga nilai arus bocor semakin meningkat.



Gambar 16. Perbandingan nilai arus bocor pada resin epoksi *silicone rubber* dengan dan tanpa pasir silika

3.3. Hasil Pengujian Tegangan Flashover

Pengujian tegangan lewat denyar (*flashover*) adalah peristiwa terjadinya lompatan listrik disekitar permukaan isolator. Tujuan pengujian *flashover* ini adalah untuk mengetahui tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh bahan isolator.

Sebelum dilakukan pengujian *flashover* terhadap sampel uji, terlebih dahulu dilakukan pengujian dengan kuat dielektrik udara. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya tegangan *flashover* udara. Hasil pengujian *flashover* udara adalah sebagai berikut:

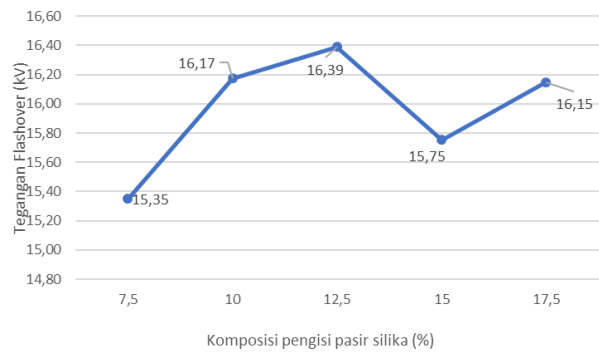
Tabel 7. Hasil pengujian dielektrik udara

No	Jarak Elektrode (mm)	Bahan dielektrik	Tegangan (kV)
1	2	udara	6,650

Pengujian tegangan lewat denyar pada variasi bahan pengisi pasir silika didapatkan hasil pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengujian *flashover*

Komposisi bahan pengisi pasir silika (%)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)			Rata-rata (kV)
	1	2	3	
7,5	15,52	13,77	16,63	15,35
10	16,21	16,28	17,01	16,17
12,5	16,16	16,75	16,26	16,39
15	16,73	15,06	15,47	15,75
17,5	16,23	15,98	16,23	16,15



Gambar 17. Grafik pengaruh variasi komposisi pengisi pasir silika terhadap nilai tegangan *flashover*

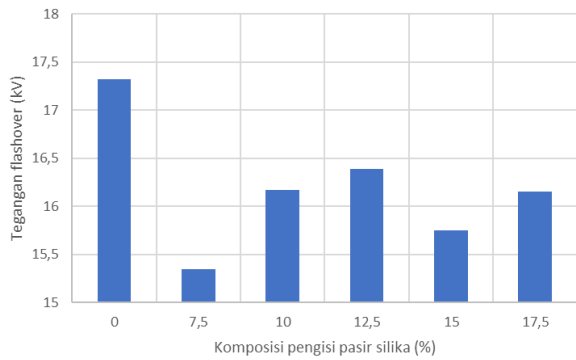
Dari data hasil pengujian dan Gambar 17. dapat dilihat bahwa resin epoksi *silicone rubber* dengan persentase bahan pengisi pasir silika 12,5% merupakan hasil pengujian *flashover* tertinggi yaitu sebesar 16,39 kV. Hasil nilai tegangan *flashover* mengalami penurunan pada saat persentase pasir silika 15%. Hal ini disebabkan oleh pengaruh udara sekitar dan ketidakakuratan pada saat menaikkan tegangan 1 kV tiap detik. Akan tetapi saat pengujian nilai tegangan lewat denyar hampir sama hal ini dikarenakan tegangan yang diukur merupakan tegangan pada udara sekitar yang mengalir melewati bahan, sehingga tegangan yang diukur memiliki nilai yang hampir sama dengan jarak yang sama.

- A. Perbandingan nilai tegangan *flashover* pada resin epoksi *silicone rubber* dengan dan tanpa pengisi pasir silika

Berdasarkan Gambar 18.. dapat dilihat bahwa nilai tegangan lewat denyar (*flashover*) tanpa penambahan pasir silika memiliki nilai yang lebih tinggi daripada dengan penambahan pasir silika. Nilai tegangan lewat denyar (*flashover*) yang diuji memiliki nilai yg hampir sama. Hal ini dikarenakan tegangan yang diukur merupakan tegangan pada udara sekitar yang mengalir melewati bahan, sehingga tegangan yang memiliki nilai yang hampir sama dengan jarak rambat udara yang sama.

Tabel 9. Perbandingan tegangan *flashover* resin epoksi *silicone rubber* dengan dan tanpa pasir silika

Komposisi pengisi pasir silika (%)	Flashover (kV)
0	17,32
7,5	15,35
10	16,17
12,5	16,39
15	15,75
17,5	16,15



Gambar 18. Grafik perbandingan nilai tegangan flashover dengan dan tanpa pasir silika

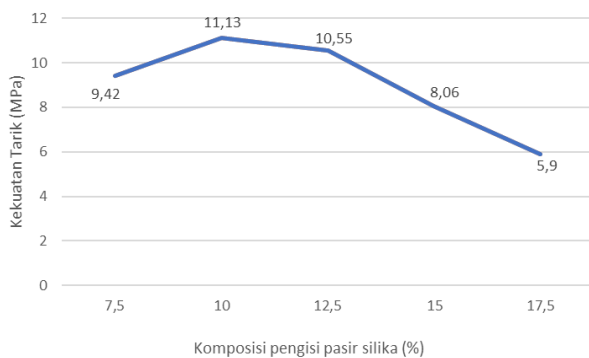
3.4. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Uji tarik digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah.

Tabel 10. Nilai hasil pengujian tarik

Komposisi pengisi pasir silika (%)	Kekuatan Maksimum (Mpa)	Regangan (%)
7,5	9,42	18,89
10	11,13	30,60
12,5	10,55	38,26
15	8,06	15,60
17,5	5,90	90,14

Berdasarkan Gambar 19. dapat disimpulkan bahwa hubungan antara kekuatan tarik dan variasi komposisi pengisi pasir silika adalah berbanding terbalik, dimana semakin banyak penambahan pasir silika maka nilai kekuatan tarik pada sampel akan semakin kecil. Akan tetapi saat pada saat pengujian diperoleh data saat variasi pengisi pasir silika 10% kekuatan tarik mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan hasil dari sampel uji terdapat ketidakrataan.



Gambar 19. Grafik hubungan antara kekuatan tarik dan variasi komposisi pasir silika

Grafik hubungan antara regangan dengan variasi penambahan silicone rubber seperti pada Gambar 20



Gambar 20. Grafik hubungan antara regangan dengan variasi penambahan pasir silika

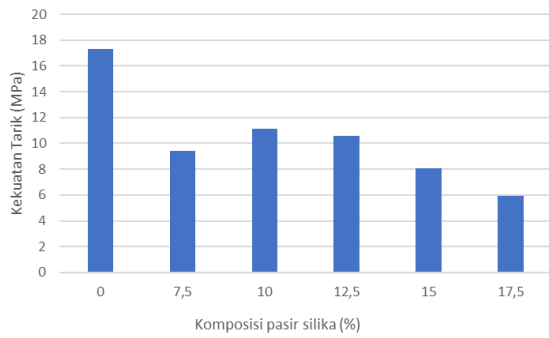
Berdasarkan Gambar 20. dapat dilihat bahwa nilai regangan tertinggi dimiliki oleh bahan komposisi pengisi pasir silika 17,5% dengan nilai regangan 90,14%. Dapat disimpulkan bahwa hubungan antara regangan dan variasi komposisi pengisi pasir silika adalah berbanding lurus, dimana semakin banyak penambahan pasir silika maka nilai regangan pada sampel akan semakin besar. Hal ini sudah sesuai dengan fungsi pasir silika, dimana penambahan pasir silika dimaksudkan agar bahan dapat menahan beban saat isolator lebih baik. Akan tetapi terjadi penurunan nilai regangan pada variasi komposisi bahan pengisi pasir silika 15% , hal ini dikarenakan bentuk sampel uji terdapat keterataan. Semakin besar nilai regangan bahan maka bahan dikatakan ulet.

A. Perbandingan nilai kekuatan tarik maksimum dengan dan tanpa pengisi pasir silika

Tabel 11. Perbandingan nilai pengujian tarik dengan dan tanpa pengisi pasir silika

Komposisi pengisi pasir silika (%)	Kekuatan Maksimum (Mpa)	Regangan (%)
0	17,30	9,66
7,5	9,42	18,89
10	11,13	30,60
12,5	10,55	38,26
15	8,06	15,60
17,5	5,90	90,14

Berdasarkan Gambar 21. dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tarik maksimum tanpa pasir silika lebih besar dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik maksimum dengan pasir silika. Hal ini disebabkan oleh bahan tanpa pasir silika bersifat ulet, sehingga dibutuhkan kekuatan tarik yang lebih besar untuk menarik sampel bahan tersebut.

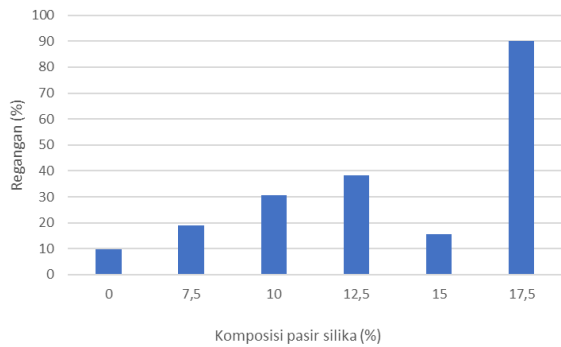


Gambar 21. Perbandingan nilai kekuatan maksimum dengan dan tanpa pasir silika



Gambar 23. Grafik nilai kekerasan bahan dengan variasi penambahan bahan pengisi pasir silika

B. Perbandingan nilai regangan dengan dan tanpa pengisi pasir silika



Gambar 22. Grafik perbandingan nilai regangan dengan dan tanpa pasir silika

Berdasarkan Gambar 22. dapat dilihat bahwa nilai regangan dengan pasir silika lebih besar dibandingkan tanpa penambahan pasir silika. Hal ini disebabkan oleh pasir silika yang berfungsi memperbaiki sifat mekanik bahan isolator. Oleh karena itu, penambahan pasir silika pada bahan isolator membuat bahan lebih kuat terhadap beban berlebih. Sehingga sifat bahan isolator menjadi getas, tidak langsung patah saat diberi beban berlebih.

3.5. Hasil Pengujian Kekerasan (Hardness)

Pengukuran nilai kekerasan bahan ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Nilai kekerasan permukaan bahan isolator polimer resin epoksi *silicone rubber* dengan pengisi pasir silika

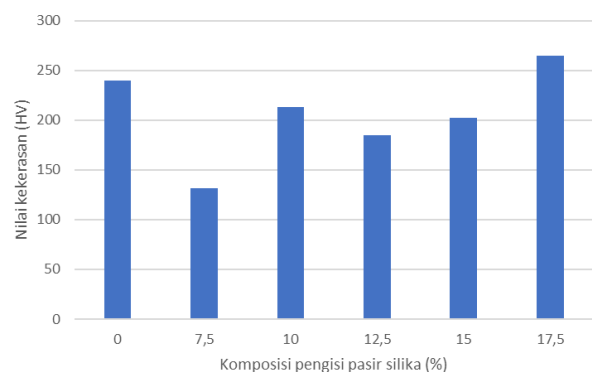
Komposisi pengisi pasir silika (%)	Titik Kekerasan (HV)			Rata-rata
	Kanan	Tengah	Kiri	
7,5	115,2	146,6	132,2	131,33
10	203,7	223,7	213,4	213,6
12,5	211	171,6	170,9	184,5
15	195,6	190,2	221,8	202,53
17,5	210	313,8	271,1	264,97

Berdasarkan Gambar 23. didapatkan bahwa nilai kekerasan permukaan bahan isolasi resin epoksi *silicone rubber* dengan penambahan pasir silika akan meningkat sesuai dengan meningkatnya persentase penambahan pasir silika. Hubungan antara kekerasan bahan dengan variasi penambahan pasir silika yaitu berbanding lurus, dimana semakin banyak bahan pengisi pasir silika maka nilai kekerasannya juga akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena sifat pasir silika yang memperbaiki sifat mekanis bahan isolator resin epoksi *silicone rubber*.

A. Perbandingan nilai kekerasan dengan dan tanpa pengisi pasir silika

Tabel 13. Perbandingan nilai kekerasan dengan dan tanpa pasir silika

Komposisi pengisi pasir silika (%)	Kekerasan (HV)
0	239,56
7,5	131,33
10	213,6
12,5	184,5
15	202,53
17,5	264,97



Gambar 24. Grafik Perbandingan nilai kekerasan dengan dan tanpa pasir silika

Berdasarkan Gambar 24. dapat dilihat bahwa nilai kekerasan resin epoksi *silicone rubber* tanpa pengisi pasir silika lebih besar dibandingkan dengan penambahan pasir silika. Hal ini disebabkan oleh sifat ulet yang ada pada resin epoksi *silicone rubber* tanpa penambahan pasir silika membuat bahan lebih kenyal sehingga diagonal penekanan semakin kecil dan nilai yang terbaca semakin kecil. Saat bahan resin epoksi *silicone rubber* dengan penambahan pasir silika maka dihasilkan sifat bahan yang getas, sehingga dihasilkan nilai diagonal penekanan yang besar dan nilai yang terbaca lebih kecil.

3.6. Penentuan Bahan Resin Epoksi *Silicone Rubber* dengan Penambahan Pasir Silika Terbaik.

Tabel 14. Perhitungan *scoring*

Variasi (%)	Sudut Kontak (°)	Score	arus bocor (mA)	Score	<i>flashover</i> (kV)	Score	Kekuatan tarik (Mpa)	Score	Total score
7,5	56,37	5	2,61	5	15,35	1	9,42	3	14
10	55,86	4	3,35	4	16,17	4	11,13	5	17
12,5	54,79	3	3,52	3	16,39	5	10,55	4	15
15	54,34	2	4,56	1	15,75	2	8,06	2	7
17,5	51,67	1	3,55	2	16,15	3	5,9	1	7

Berdasarkan perhitungan *scoring* pada Tabel 14. dapat diketahui bahwa bahan dengan komposisi pengisi pasir silika 10% memiliki total skor tertinggi yaitu sebesar 17 poin. Lalu skor yang lebih rendah didapat pada bahan dengan komposisi pengisi pasir silika 7125% sebesar 15 poin. Pada sampel dengan komposisi pengisi pasir silika 7,5% diperoleh skor 14 dan sampel dengan komposisi pengisi pasir silika 15% dan 17,5% diperoleh skor yang sama sebesar .

Berdasarkan analisa diatas, dapat disimpulkan bahwa bahan isolator resin epoksi *silicone rubber* dengan pengisi pasir silika yang terbaik adalah bahan dengan penambahan pasir silika sebesar 10%, karena bahan komposisi ini lebih baik dan lebih stabil dibandingkan dengan bahan dengan komposisi yang lain. Komposisi pengisi pasir silika 10% pada bahan isolator resin epoksi *silicone rubber* juga mendapatkan skor tertinggi.

4. Kesimpulan

Setelah mempertimbangkan besarnya nilai sudut kontak, nilai arus bocor, tegangan *flashover*, kekuatan tarik dan kekuatan tekan maka komposisi bahan pengisi pasir silika 10% mempunyai nilai yang lebih stabil dibandingkan komposisi bahan pengisi pasir silika lainnya. Perhitungan *scoring* juga dilakukan untuk memperkuat pemilihan bahan pengisi pasir silika 10% menjadi komposisi yang paling baik dari sifat mekanis, fisik dan elektrik.

Referensi

- [1]. A. Arismunandar, *Teknik Tegangan Tinggi*, 4th ed. Jakarta: Pradnya Paramita, 1978.
- [2]. Hamzah Berahim, "Metodologi Untuk Mengkaji Kinerja Isolasi Polimer Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tegangan Tinggi di Daerah Tropis," *Disertasi Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta*, 2005.
- [3]. Syakur Abdul and Hamzah Berahim, "Electrical Tracking Formation on Silane Epoxy Resin Under Various Contaminant", *TELKOMNIKA*, vol. 11, pp.17-28, 2013.
- [4]. W.Zulkaida, "Flashover Voltage, Leak Current and ESDD Performance Test on Epoxy Resin Polymer which to Experience Different Filler Treatment for High Voltage Insulation in Tropic Region", *Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan (STNK)*, Makassar, 2007.
- [5]. A. Syakur, Rochmadi, H. Berahim and Tumiran, "Mekanisme Degradasi Permukaan dan Penentuan Tracking Index Bahan Resin Epoksi Silane Silica," *Disertasi S-3 Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada*.
- [6]. IEC 587:1984, "Methods for Evaluating Resistance to Tracking and Erosion of Electrical Insulating Materials Used Under Severe Ambient Conditions", *British Standards Institution, British Standard (BS)*.
- [7]. IEC 1109: 1992,
- [8]. ASTM E8/E8M-09, "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials".
- [9]. B. L. Tobing, *Peralatan Tegangan Tinggi*, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 2003.
- [10]. A. Syakur, Hermawan and H. Sutanto, "Determination of Hydrophobic Contact Angle of Epoxy Resin Compound Silicone Rubber and Silica," in *IAES (International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics)*, 2017.
- [11]. Syakur, Abdul, Yuningtyastuti, Johanadib Heri, "Studi Arus Bocor Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Silane Dengan Variasi Pengisi Pasir Silika (Dengan Polutan Pantai)," *TRANSMISI*, 2013.