

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

Putri Nur Aisyah<sup>\*)</sup>, Abdul Syakur, dan Hermawan

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

<sup>\*)</sup>E-mail : [aisyahputri171@student.undip.ac.id](mailto:aisyahputri171@student.undip.ac.id)

### Abstrak

Isolator memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Isolator berfungsi untuk memisahkan secara elektris dua buah atau lebih penghantar listrik bertegangan yang berdekatan dan mencegah terjadinya aliran arus dari kawat penghantar ke bagian bodi menara atau tiang. Berbagai jenis isolator telah dikembangkan. Salah satunya isolator berbahan resin epoksi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa isolator jenis ini lebih unggul dibandingkan dengan bahan jenis keramik dan kaca. Pada penelitian ini dilakukan penambahan silicone rubber pada bahan resin epoksi yang kemudian dianalisis nilai parameter listrik, mekanik dan fisiknya untuk digunakan sebagai bahan isolator. Material uji yang digunakan dalam tugas akhir adalah resin epoksi yang dibentuk dari bisphenol A - epichlorohydrin (DGEBA) dan polyaminoamide yang dicampur dengan silane (silicone rubber). Dimana masing-masing tingkat variasi komposisi penambahan silicone rubber dengan persentase 20%, 25%, 30%, 35% dan 40%. Parameter yang dianalisis adalah pengujian sudut kontak sebagai parameter fisik, nilai arus bocor rata-rata dan dan flashover sebagai parameter listrik, serta kekuatan tarik dan kekerasan (hardness) sebagai parameter mekanik.

**Kata kunci:** Isolator, resin epoksi, silicone rubber, sudut kontak, flashover, arus bocor, kekuatan tarik, kekerasan

### Abstract

*Insulators have a very important role in the system of electric power. Insulator serves to separate in two or more of the electrical conduction of the electrical-voltage and prevent the flow of current from the conductive wire to the body of the tower or pole. Various types of insulators have been developed. One of them is an insulator made from epoxy resin. Some studies show that this type of insulator is superior to ceramic and glass. In this research, the addition of silicone rubber on epoxy resin material was then analyzed for the value of electrical, mechanical and physical parameters to be used as an insulating material. The test material used in this research are epoxy resin formed from bisphenol A - epichlorohydrin (DGEBA) and polyaminoamide mixed with silane (silicone rubber). Where each level of variation in the composition of the addition of silicone rubber with the percentage of 20%, 25%, 30%, 35% and 40%. The parameters analyzed were contact angle as physical parameters, leakage current and flashover as electrical parameters, as well as tensile strength and hardness as mechanical parameters.*

*Keywords: Insulator, epoxy resin, silicone rubber, contact angle, flashover, leakage current, tensile strength, hardness.*

### 1. Pendahuluan

Selama ini ketergantungan manusia akan penggunaan alat-alat listrik kian meningkat. Karena hal tersebut diperlukan suatu sistem tenaga listrik yang handal. Pemilihan jenis isolator akan sangat mempengaruhi keandalan sistem tenaga listrik tersebut. Pemilihan jenis isolator yang akan dipergunakan dalam suatu sistem transmisi dan distribusi perlu untuk mempertimbangkan karakteristik mekanis, karakteristik elektrik maupun karakteristik fisiknya. Secara mekanis isolator harus mampu menahan beban yang akan dibebankan pada isolator tersebut. Secara elektrik suatu isolator harus mampu memisahkan dua bagian yang bertegangan sehingga tidak terjadi kebocoran arus dan

hubung singkat atau dalam skala yang lebih tinggi tidak terjadi tegangan lewat denyar (*flashover*) [1]

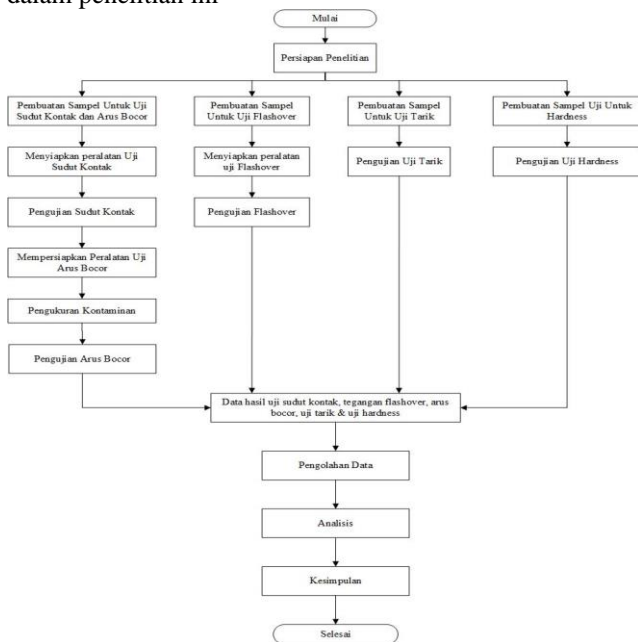
Isolator polimer dewasa ini banyak digunakan dikarenakan kelebihanannya dibandingkan dengan isolator berbahan keramik dan gelas. Isolator polimer memiliki banyak keuntungan daripada isolator keramik yaitu ringan, perawatan mudah, waktu produksi singkat, resistansi tinggi, kekuatan mekanik tinggi, kekuatan dielektrik tinggi, rugi-rugi dielektrik rendah dan resistansi isolasi tinggi [2] Selain itu dari segi mekanis isolator jenis ini memiliki rapat massa yang tinggi sehingga dalam penggunaannya akan membebani menara transmisi karena berat isolator [3]

Salah satu cara lain untuk mengatasi kelemahan porselen dan gelas adalah menggunakan isolator polimer yang dikenal juga dengan sebutan isolator non-keramik atau isolator komposit [4]. Isolator polimer memiliki banyak keuntungan daripada isolator keramik yaitu ringan, perawatan mudah, waktu produksi singkat, resistansi tinggi, kekuatan mekanik tinggi, kekuatan dielektrik tinggi, rugi-rugi dielektrik rendah dan resistansi isolasi tinggi [5] Adhitya Fauzan [6] dan Diah Monica [7] melakukan penelitian mengenai pengaruh sinar *ultraviolet* dan komposisi *fly ash* terhadap unjuk kerja permukaan bahan isolasi resin epoksi *silicone rubber* dengan variasi injeksi tegangan tinggi dengan kontaminan  $NH_4Cl$  dan air hujan.

Dalam tugas akhir ini dianalisis menganalisis penambahan *silicone rubber* pada bahan resin epoksi dengan persentase sebesar 20%, 25%, 30%, 35% dan 40% terhadap parameter listrik, mekanik dan fisik untuk bahan isolator. Material uji yang digunakan dalam tugas akhir adalah resin epoksi yang dibentuk dari *Diglycidyl Ether Bisphenol A* (DGEBA) dan *Methaphenylene Diamine* (MPDA) yang dicampur dengan *silicone rubber*. Hasil dari bahan isolasi tersebut dilakukan pengujian sudut kontak sebagai parameter fisik, nilai arus bocor rata-rata dan *flashover* sebagai parameter listrik, serta kekuatan tarik dan kekerasan bahan sebagai parameter mekanik Dengan tujuan untuk memperoleh data komposisi baru untuk ditambahkan bahan pengisi pasir silika yang nantinya digunakan sebagai 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

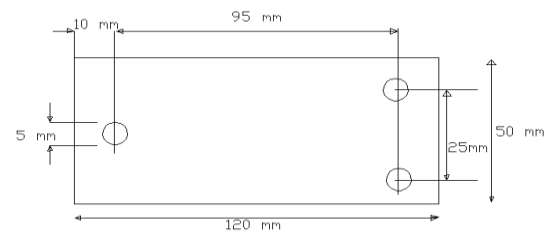
#### A. Alat dan Bahan

1. Resin Epoksi A8. Gerinda
2. Hardener B
3. Silane
4. Kontaminan
5. Cetakan Kaca
6. Neraca Digital
7. Sendok Plastik
15. Gelas plastik
16. cutter
17. Mika
18. Gunting
19. Penggaris
20. Spidol
9. Mesin Bor
10. Gelas ukur
11. Binder klip
12. Kayu
13. Kaca
14. Lakban

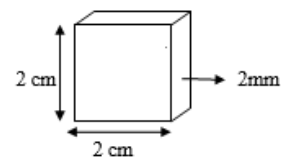
Tabel 1. Komposisi penyusun bahan uji

Komposisi Bahan Pengisi pasir silika (%)	Massa <i>silicone rubber</i> (gram)	Massa DGEBA (gram)	Massa MPDA (gram)	Kode Sampel
20	64	115.2	140.8	1
25	80	108	132	2
30	96	100.8	123.2	3
35	112	93.6	114.4	4
40	128	86.4	105.6	5

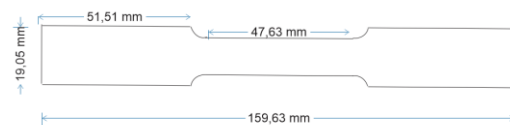
#### 2.1.1. Dimensi Bahan uji



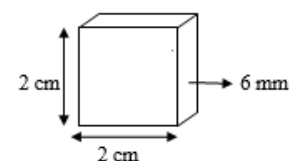
Gambar 2. Dimensi bahan uji sampel arus bocor



Gambar 3. Dimensi bahan uji sampel flashover



Gambar 4. Dimensi bahan uji sampel tarik



Gambar 5. Dimensi bahan uji sampel hardness

## 2.2 Peralatan Pengujian Sudut Kontak

Langkah- Langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat pengujian
2. Air destilasi ditetaskan 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).

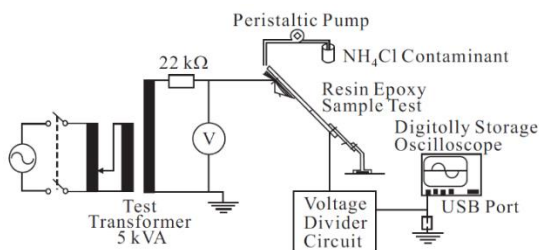


Gambar 6. Penetesan dan pengambilan gambar polutan pada bahan uji

## 2.3 Peralatan Pengujian Arus Bocor

Langkah-langkahnya adalah :

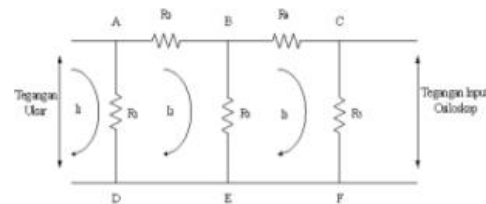
1. Membuat rangkaian sesuai dengan standar IEC 587 : 1984, ditunjukkan pada Gambar 7



Gambar 7. Rangkaian pengujian arus bocor

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  $45^\circ$  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:

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

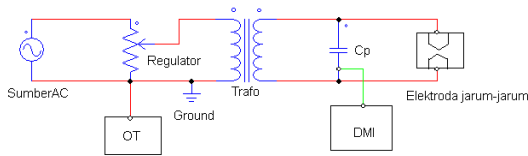
Dimana  $I_1$  merupakan nilai arus bocor yang mengalir pada sampel, dan  $V_{CF}$  menunjukkan tegangan efektif ( $V_{RMS}$ ) yang terbaca pada osiloskop.

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 *Flashover*

Pengujian *flashover* untuk material isolasi komposit disesuaikan standar IEC 1109 : 1992 [8] yaitu tegangan sumber dinaikkan secara bertahap sebesar 1 kV per detik sampai terjadi tegangan *flashover*. Untuk lebih jelasnya metode ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut,

1. Membuat rangkaian pengujian tegangan *flashover*
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*).



Gambar 9. Rangkaian pengujian tegangan flashover

### 2.5. Peralatan pengujian Kekuatan Tarik

Prosedur pengujian kekuatan tarik sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan pengujian yaitu *Universal Testing Machine* (UTM). Memasang spesimen uji tarik.
2. Memasang kertas pada *plotter* untuk mengetahui grafik tegangan regangan dari pengujian.
3. Melakukan penarikan sampai spesimen uji tarik sampai putus.
4. Melepas kertas dan menggantinya dengan kertas yang baru untuk pengujian spesimen lain.



Gambar 10. *Universal Testing Machine*

### 2.6. Peralatan pengujian Kekerasan

Prosedur pengujian kekerasan bahan sebagai berikut

1. Mempersiapkan peralatan pengujian yaitu *micro hardness tester*.
2. Permukaan bahan uji diberi pembebanan sebesar 1.
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.

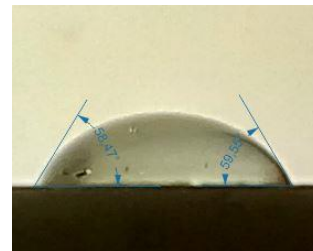


Gambar 11. *Micro Hardness Tester*

### 3. Hasil dan Analisis

#### 3.1. Hasil Pengukuran 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 = 58.47°

Sudut kontak kanan = 59.55°

Untuk menentukan sudut kontak dapat digunakan rumus sebagai berikut:

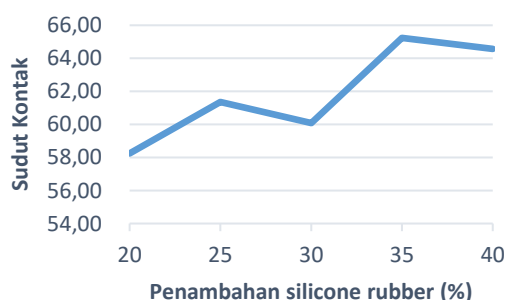
$$\begin{aligned} & \frac{\text{Sudut kontak kiri} + \text{sudut kontak kanan}}{2} \\ &= \frac{58.47 + 59.55}{2} \\ &= 59.01^\circ \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil pengukuran sudut kontak isolator resin epoksi

Komposisi	Sudut Kontak (°)
20%	58.24
25%	61.35
30%	60.07
35%	65.24
40%	64.57

Setelah dilakukan perhitungan nilai rata-rata sudut kontak untuk masing-masing variasi komposisi *silicone rubber*,

dapat dibuat grafik hubungan antara variasi komposisi *silicone rubber* terhadap sudut kontak pada gambar 13



Gambar 13. Grafik hubungan sudut kontak dengan penambahan *silicone rubber*

Berdasarkan Gambar 13 dapat diketahui bahwa penambahan *silicone rubber* sebesar 35% yang ditetesi dengan aquades memiliki rata-rata sudut kontak yang paling besar dibandingkan dengan sampel lain, yaitu sebesar 65.24°. Namun, pada presentase variasi penambahan *silicone rubber* 30% dan 40% terjadi sedikit penurunan nilai sudut kontak. Hal ini disebabkan oleh kesalahan pada pengambilan tertesan air atau pada perhitungan sudut.

Grafik hubungan antara sudut kontak dengan penambahan *silicone rubber* relatif berbanding lurus. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian yang semakin besar persentase *silicone rubber*, maka nilai sudut kontak permukaan juga semakin besar. Pengaruh penggunaan *silicone rubber* pada campuran resin epoksi tergolong bagus. Karakteristik resin epoksi memiliki sifat hidrofilik atau menyerap air, yang dapat menyebabkan meningkatnya arus bocor pada permukaan isolator. Sedangkan *silicone rubber* pada permukaan isolator memiliki sifat hidrofobik sehingga meminimalkan arus bocor pada permukaan isolator.

Sifat hidrofobik pada permukaan bahan resin epoksi meningkat dengan menambahkan *silicone rubber*. Hal ini terjadi karena semakin banyak gugus metil (CH<sub>3</sub>) pada *silicone rubber* yang hidrofobik. Grup metil berasal dari polisiloksan. Hidrofobitas permukaan komposisi resin epoksi dipengaruhi oleh struktur kimia polisiloksana yang lebih didominasi oleh gugus fungsional polidimetil (n[CH<sub>3</sub>]<sub>2</sub>) yang bersifat hidrofobik. [9]

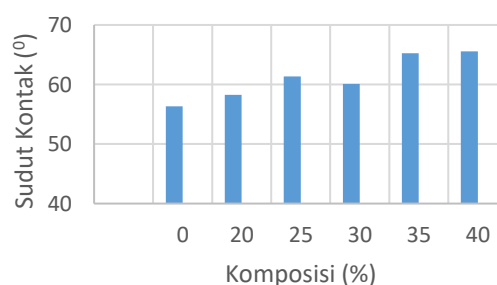
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dyah Ika Susilawati, didapatkan bahwa kenaikan persentase bahan pengisi silane menyebabkan sudut kontak yang dihasilkan semakin besar yang menunjukkan kenaikan sifat menolak air (hidrofobik) pada permukaan sampel. [10]

#### A. Perbandingan Nilai Sudut Kontak Resin Epoksi dengan dan tanpa *Silicone Rubber*

Tabel 3. Perbandingan nilai sudut kontak resin epoksi dengan dan tanpa *silicone rubber*

Komposisi ( <i>silicone rubber</i> %)	Sudut Kontak (°)
0	56.351
20	58.24
25	61.35
30	60.07
35	65.24
40	65.57

Berdasarkan Tabel 3 dapat dibuat grafik perbandingan nilai sudut kontak pada bahan isolator resin epoksi dengan dan tanpa penambahan *silicone rubber* sebagai berikut



Gambar 14. Perbandingan sudut kontak dengan dan tanpa *silicone rubber*

Berdasarkan Gambar 14 dapat dilihat bahwa dengan menambahkan *silicone rubber* pada bahan resin epoksi dapat menambah nilai sudut kontak pada permukaan bahan. Hal tersebut dikarenakan karakteristik resin epoksi memiliki sifat hidrofilik atau menyerap air. Sedangkan *silicone rubber* pada permukaan isolator memiliki sifat hidrofobik sehingga dapat menambah nilai sudut kontak pada bahan resin epoksi.

Ditinjau dari Gambar 14 dapat disimpulkan bahwa dengan menambahkan *silicone rubber* dapat memperoleh nilai sudut kontak yang lebih tinggi dibandingkan dengan tidak menambahkan *silicone rubber*. Penambahan *silicone rubber* juga dapat digunakan untuk memperbaiki karakteristik resin epoksi yang hidrofilik.

### 3.2. Hasil Pengujian Tegangan Lewat Denyar (*Flashover*)

Pengujian tegangan lewat denyar (*flashover*) adalah peristiwa terjadinya lompatan listrik disekitar permukaan isolator. Pada *flashover* kerusakan isolator disebabkan karena panas yang ditimbulkan busur api pada permukaan isolator.

Pengujian tegangan *flashover* dilakukan dengan memberikan tegangan yang dinaikkan secara terus-menerus sampai terjadi *flashover*. Tujuan pengujian

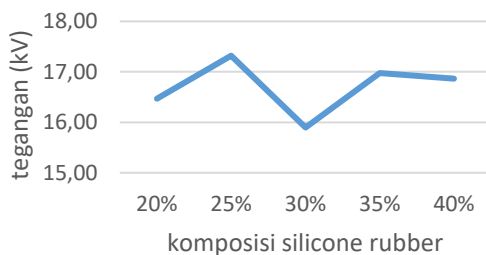


flashover ini adalah untuk mengetahui kekuatan dielektrik isolator terhadap tegangan tinggi.

Tabel 4. Data hasil pengukuran tahanan isolasi variasi suhu

komposisi (silicone rubber)	Percobaan			Rata- rata
	1	2	3	
20%	17.15	15.62	16.63	16.46
25%	17.25	17.70	17.01	17.32
30%	14.97	16.65	16.07	15.89
35%	17.22	16.74	16.96	16.97
40%	16.95	17.10	16.55	16.86

Berdasarkan Tabel 4 dapat diperoleh grafik sebagai berikut



Gambar 15. Grafik pengujian flashover

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai tegangan lewat denyar pada komposisi silicone rubber 20% sebesar 16.46 kV, komposisi 25% sebesar 17.32 kV, komposisi 30% sebesar 15.89 kV, komposisi 35% sebesar 16.97 kV serta komposisi 40% sebesar 16.86 kV.

Dari Tabel 4 terlihat bahwa besar tegangan flashover hampir sama pada setiap sampel atau setiap penambahan silicone rubber yaitu rata-rata 16.70 kV. Hal ini dikarenakan oleh tegangan yang diukur adalah tegangan pada udara sekitar yang mengalir meliewati bahan, sehingga tegangan memiliki nilai dengan jarak rambat udara yang sama.

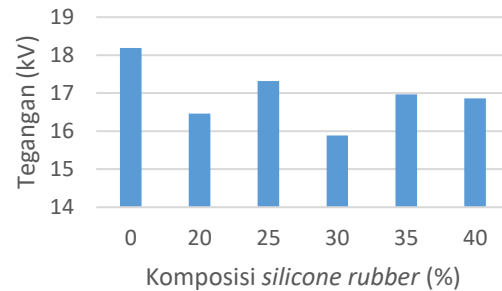
A. Perbandingan nilai tegangan lewat denyar (flashover) dengan dan tanpa silicone rubber

Tabel 5. Tabel perbandingan nilai flashover dengan dan tanpa silicone rubber

Komposisi (%)	Flashover (kV)
0	18.19
20	16.46
25	17.32
30	15.89
35	16.97
40	16.86

Berdasarkan hal diatas, dapat diperoleh perbandingan nilai tegangan lewat denyar dengan dan tanpa silicone rubber pada tabel 5.

Ditinjau dari Tabel 5 dapat dibuat grafik perbandingan antara nilai tegangan flashover dengan dan tanpa penambahan bahan silicone rubber pada gambar 16.



Gambar 16. Perbandingan tegangan flashover dengan dan tanpa silicone rubber

Berdasarkan Gambar 16 dapat dilihat bahwa nilai tegangan lewat denyar tanpa penambahan silicone rubber memiliki nilai yang lebih tinggi daripada dengan penambahan silicone rubber. Hal ini tidak sesuai dengan teori, dimana semakin bertambahnya bahan silicone rubber pada sampel, maka nilai sudut kontak pada sampel akan semakin meningkat dan memiliki sifat hidrofobik yang lebih baik, sehingga nilai tegangan lewat denyar pada penambahan silicone rubber akan lebih tinggi dibandingkan dengan sampel bahan tanpa silicone rubber. Hal ini disebabkan oleh pengaruh udara sekitar dan ketidakakuratan pada saat menaikkan tegangan 1 kV tiap detik.

3.3. Hasil Pengujian Arus Bocor

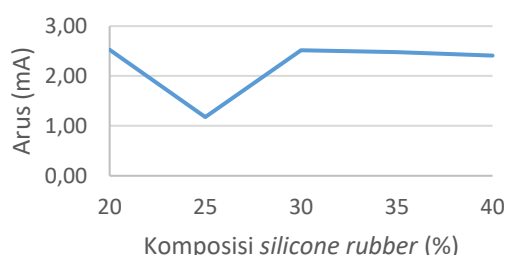
Pengujian arus bocor ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh penambahan silicone rubber terhadap nilai arus bocor dari bahan isolator polimer resin epoksi. Pengujian arus bocor menggunakan variasi tegangan 3,5 kV bahan uji ditempatkan dengan sudut kemiringan 45°. Pengujian menggunakan polutan dari NH<sub>4</sub>Cl dengan kecepatan aliran 0,3 ml/menit melalui kertas saring yang telah dijepitkan antara bahan uji dan elektroda tegangan atas menuju ke elektroda bawah.

Berikut ini adalah hasil arus bocor rata rata sebagai berikut

Tabel 6. Hasil arus bocor rata-rata

Komposisi	Arus (mA)
20%	2.52
25%	1.17
30%	2.51
35%	2.47
40%	2.40

Berdasarkan Tabel 6 perhitungan diatas, didapatkan grafik seperti gambar 17 sebagai berikut:



Gambar 17. Grafik persentase bahan *silicone rubber* dengan arus bocor rata rata

Berdasarkan Gambar 17 dapat diketahui bahwa penambahan komposisi *silicone rubber* 25% memiliki nilai arus bocor yang paling kecil. Hal ini disebabkan oleh keadaan udara sekitar saat dilakukan pengujian dan adanya rongga udara saat melakukan pengadukan pembuatan sampel bahan isolator.

A. Perbandingan Nilai Arus Bocor dengan dan tanpa *Silicone Rubber*

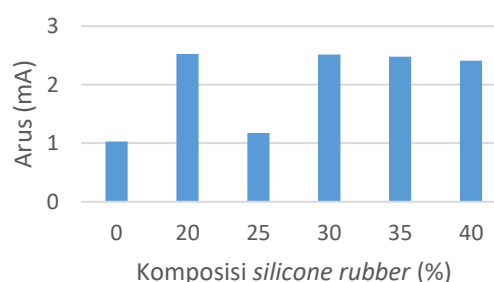
Berdasarkan hal diatas, dapat diperoleh perbandingan nilai arus bocor dengan dan tanpa *silicone rubber* sebagai berikut :

Tabel 7. Perbandingan nilai sudut kontak resin epoksi dengan dan tanpa *silicone rubber*

Komposisi (%)	Arus (mA)
0	1.03
20	2.52
25	1.17
30	2.5
35	2.47
40	2.40

Berdasarkan Tabel 7 dapat dibuat grafik perbandingan nilai arus bocor dengan dan tanpa *silicone rubber* sebagai berikut :

Berdasarkan Gambar 18 dapat dilihat bahwa nilai arus bocor resin epoksi tanpa *silicone rubber* lebih kecil daripada resin epoksi dengan penambahan *silicone rubber*. Hal ini tidak sesuai dengan teori, dimana seharusnya nilai arus bocor dengan *silicone rubber* lebih kecil daripada tanpa penambahan *silicone rubber*, karena penambahan *silicone rubber* akan memperbaiki sifat hidropobik pada resin epoksi, sehingga nilai arus bocor seharusnya lebih kecil.



Gambar 18. Grafik perbandingan nilai arus bocor dengan dan tanpa *silicone rubber*

Kesalahan diatas disebabkan karena pada saat pengambilan data resin epoksi tanpa *silicone rubber* diuji selama kurang lebih 30 menit, sampai terjadi tracking sepanjang 25mm. Sedangkan pengambilan data resin epoksi dengan *silicone rubber* diuji selama 60 menit. Pengujian dilakukan selama 60 menit supaya melihat perbedaan fisik setelah diuji pada waktu yang sama. Sehingga pada saat penyimpanan data gelombang osiloskop datanya lebih banyak resin epoksi dengan *silicone rubber*. Hal ini yang menyebabkan nilai arus bocor resin epoksi *silicone rubber* lebih besar.

3.4. Hasil Pengujian Tarik

Kekuatan tarik dari bahan isolasi polimer yang digunakan untuk isolator adalah penting karena fungsi isolator sebagai penggantung kawat saluran udara pasangan luar dengan menara, disamping juga sebagai pemisah antara bagian yang bertegangan dan tidak. Sehingga bahan isolator yang baik adalah yang memiliki nilai kekuatan tarik yang besar, dengan nilai regangan kecil.

Pada penelitian ini didapatkan nilai pengujian tarik sebagai berikut :

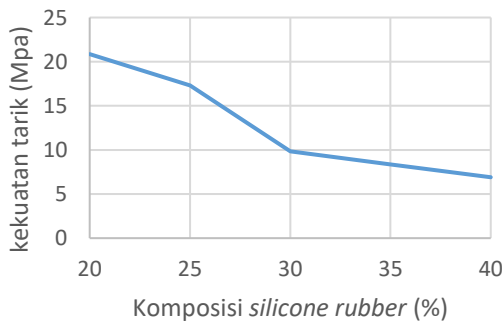
Tabel 8. Hasil Pengujian Tarik

Komposisi ( <i>silicone rubber</i> )	Kekuatan Tarik Maksimum (Mpa)	Regangan (%)
20%	20.85	9.20
25%	17.30	9.66
30%	9.83	5.88
35%	8.36	11.44
40%	6.90	11.17

Berdasarkan Tabel 8 dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tarik pada komposisi *silicone rubber* 20% sebesar 20.85 Mpa sedangkan nilai regangannya sebesar 9.70%, komposisi 25% memiliki nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 17.30 Mpa dan nilai regangannya sebesar 9.66%, komposisi 30% memiliki nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 9.83 Mpa dengan nilai regangan sebesar 5.88%, komposisi 35% memiliki nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 8.36 Mpa dengan nilai regangan 11.44% serta

komposisi 40% memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 6.90 Mpa dengan nilai regangan 11.17%.

Dari nilai hasil pengujian tarik seperti ditunjukkan pada Tabel 8 maka dapat dibuat grafik hubungan antara nilai kekuatan tarik dengan variasi komposisi *silicone rubber* pada Gambar 19 sebagai berikut :



Gambar 19. Grafik hubungan antara kekuatan tarik dan variasi komposisi *silicone rubber*

Berdasarkan Gambar 19 dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh bahan dengan komposisi *silicone rubber* 20% yaitu 20.85 Mpa. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah dimiliki oleh bahan dengan komposisi *silicone rubber* 40% yaitu 6.90 Mpa. Berdasarkan Gambar 19 dapat disimpulkan bahwa hubungan antara kekuatan tarik dan variasi komposisi *silicone rubber* adalah berbanding terbalik., dimana semakin banyak penambahan *silicone rubber* maka nilai kekuatan tarik pada sampel akan semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh sifat mekanis pada *silicone rubber* yang lentur membuat nilai kekuatan tarik pada sampel akan menurun apabila persentase *silicone rubber* bertambah. Sehingga, kekuatan tarik yang baik ada pada penambahan *silicone rubber* dengan persentase 20%.

#### A. Perbandingan Nilai Pengujian Tarik dengan dan tanpa *Silicone Rubber*

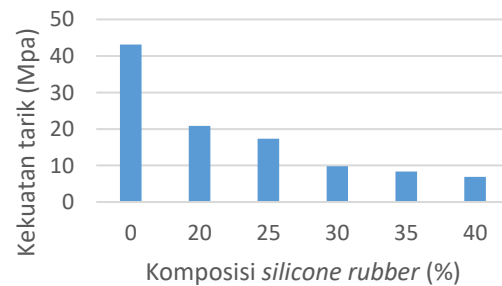
Berdasarkan hal diatas, dapat diperoleh perbandingan nilai kekuatan tarik maksimum dan nilai regangan dengan dan tanpa *silicone rubber* pada tabel 9.

Berdasarkan Gambar 20 dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tarik maksimum tanpa *silicone rubber* lebih besar dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik maksimum dengan *silicone rubber*. Hal ini disebabkan oleh bahan *silicone rubber* membuat bahan isolasi menjadi lebih ulet, sedangkan bahan tanpa *silicone rubber* lebih getas, sehingga lebih kuat daripada dengan menggunakan *silicone rubber*.

Ditinjau dari Tabel 9 dapat dibuat grafik seperti gambar 20 perbandingan nilai kekuatan maksimum dengan dan tanpa *silicone rubber* sebagai berikut :

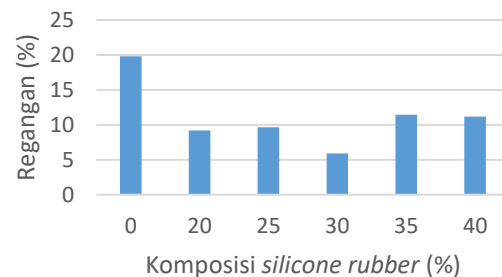
Tabel 9. Perbandingan nilai pengujian tarik dengan dan tanpa *silicone rubber*

Komposisi (%)	Kekuatan Tarik (Mpa)	Regangan (%)
0	43.144	19.792
20	20.854	9.207
25	17.308	9.663
30	9.838	5.889
35	8.365	11.442
40	6.901	11.178



Gambar 20. Perbandingan nilai kekuatan maksimum dengan dan tanpa *silicone rubber*

Ditinjau dari Tabel 9 dapat dibuat grafik perbandingan nilai regangan dengan dan tanpa *silicone rubber* sebagai berikut :



Gambar 21. Grafik perbandingan nilai regangan dengan dan tanpa *silicone rubber*

Berdasarkan Gambar 21 dapat dilihat bahwa nilai regangan tanpa *silicone rubber* lebih besar dibandingkan dengan dilakukan penambahan *silicone rubber*. Hal ini disebabkan oleh nilai kekuatan tarik maksimum bahan tanpa *silicone rubber* yang lebih besar sehingga nilai regangannya juga lebih besar daripada dengan penambahan *silicone rubber*. Sifat getas yang dimiliki oleh resin epoksi tanpa *silicone rubber* membuat bahan menjadi sangat kuat.

### 3.5. Hasil Pengujian Kekerasan (Hardness)

Kekerasan bahan merupakan parameter penting karena bahan isolasi polimer resin epoksi ini, dipergunakan untuk

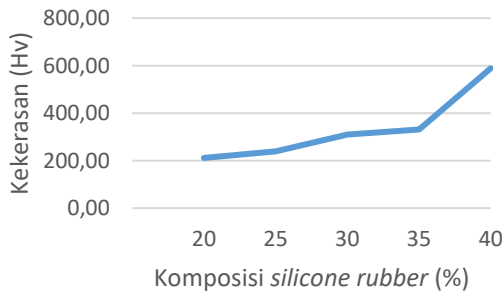


bahan isolasi dari isolator, yang selain harus mampu menjalankan fungsi elektrisnya yaitu memisahkan dua penghantar atau lebih yang tidak boleh berhubungan, tetapi secara mekanis juga harus mampu menahan beban kawat penghantar saluran udara, dan permukaannya harus tahan terhadap terpaan iklim tropis. Hasil pengukuran nilai kekerasan bahan dapat dilihat pada Tabel 10

Tabel 10. Hasil Pengujian Kekerasan

Komposisi (silicone rubber)	Titik Kekerasan			Rata-rata
	Kanan	Tengah	Kiri	
20%	240.9	171.7	221.8	211.46
25%	217.4	337.9	163.4	239.56
30%	244.6	147.8	537.9	310.10
35%	128.3	533.7	332.7	331.56
40%	535.2	847.6	383.7	588.83

Hasil pengukuran dan data yang ada pada Tabel 10 dapat disajikan dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 22. Grafik nilai kekerasan bahan dengan variasi penambahan silicone rubber

Berdasarkan Tabel 10 didapatkan bahwa kekerasan permukaan bahan isolasi resin epoksi dengan penambahan silicone rubber akan meningkat sesuai dengan meningkatnya persentase silicone rubber. Hubungan antara kekerasan bahan dengan variasi penambahan silicone rubber yaitu berbanding lurus, dimana semakin banyak silicone rubber maka nilai kekerasannya juga akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena sifat elastis yang dimiliki oleh silicone rubber.

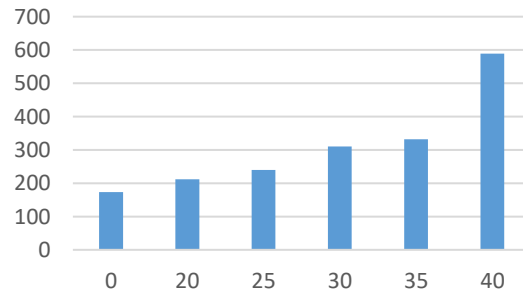
A. Perbandingan Nilai Pengujian Kekerasan (Hardness) dengan dan tanpa Silicone Rubber

Tabel 11. Perbandingan nilai kekerasan dengan dan tanpa silicone rubber

Komposisi (%)	Hardness
0	173.61
20	211.46
25	239.56
30	310.1
35	331.56
40	588.83

Berdasarkan hal diatas, dapat diperoleh perbandingan nilai kekerasan dengan dan tanpa silicone rubber sebagai tabel 11.

Ditinjau dari Tabel 11 dapat dibuat grafik perbandingan nilai kekerasan dengan dan tanpa silicone rubber sebagai berikut :



Gambar 23. Grafik Perbandingan nilai kekerasan dengan dan tanpa silicone rubber

Berdasarkan Gambar 23 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan resin epoksi dengan penambahan silicone rubber lebih besar dibandingkan dengan tanpa penambahan silicone rubber. Hal ini disebabkan oleh sifat getas yang ada pada resin epoksi tanpa penambahan silicone rubber membuat bahan lebih kuat namun rapuh. Dengan penambahan silicone rubber membuat sifat getas pada resin epoksi sedikit lebih ulet dari sebelumnya.

3.7. Penentuan Bahan Resin Epoksi dengan Penambahan Silicone Rubber Terbaik

Tabel 12. Hasil pengujian keseluruhan

Komposisi	Sudut Kontak (°)	Flashover (kV)	Arus bocor (mA)	Kekuatan tarik (Mpa)	Kekerasan
20%	58.24	16.46	2.52	20.85	211.46
25%	61.35	17.32	1.17	17.30	239.56
30%	60.07	15.89	2.51	9.83	310.10
35%	65.24	16.97	2.47	8.36	331.56
40%	64.57	16.86	2.40	6.90	588.83

Tabel 13. Metode Scoring

Variasi	Sudut Kontak (°)	Score	arus bocor (mA)	Score	flashover (kV)	Score	Kekuatan tarik (Mpa)	Score	Total score
20%	58.24	1	2.53	1	16.46	2	20.85	5	9
25%	61.35	3	1.18	5	17.32	5	17.31	4	17
30%	60.07	2	2.51	2	15.89	1	9.84	3	8
35%	65.24	5	2.48	3	16.97	4	8.37	2	14
40%	65.57	5	2.41	4	16.86	3	6.90	1	13

Pengambilan keputusan juga bisa dengan menggunakan metode scoring, dimana nilai yang paling baik untuk digunakan sebagai isolator diberi skor 5 dan begitu

seterusnya hingga nilai yang paling buruk untuk isolator diberi nilai 1. Perhitungan *scoring* pada penelitian ini sebagai Tabel 13.

Berdasarkan perhitungan score pada Tabel 12 dapat diketahui bahwa bahan dengan komposisi *silicone rubber* 20% memiliki total skor tertinggi yaitu sebesar 17 poin. Skor tertinggi berikutnya yaitu komposisi *silicone rubber* 35% dan 40%. Hanya saja pada komposisi tersebut memiliki kekurangan yaitu pada saat proses pembuatannya seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Berdasarkan analisa diatas, dapat disimpulkan bahwa bahan isolator resin epoksi *silicone rubber* yang terbaik adalah bahan dengan penambahan komposisi *silicone rubber* 25%, karena bahan komposisi *silicone rubber* 25% ini lebih baik dan lebih stabil dibandingkan dengan bahan dengan komposisi yang lain. Komposisi *silicone rubber* 25% juga mendapatkan skor tertinggi.

#### 4. Kesimpulan

Bahan isolator resin epoksi *silicone rubber* yang terbaik adalah bahan dengan penambahan komposisi *silicone rubber* 25%, karena bahan komposisi *silicone rubber* 25% ini lebih baik dan lebih stabil dibandingkan dengan bahan dengan komposisi yang lain

Pada perhitungan score pada dapat diketahui bahwa bahan dengan komposisi *silicone rubber* 20% memiliki total skor tertinggi yaitu sebesar 19 poin. Skor tertinggi berikutnya yaitu komposisi *silicone rubber* 35% dan 40%. Hanya saja pada komposisi tersebut memiliki kekurangan yaitu pada saat proses pembuatannya seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

#### Referensi

- [1] A. Arismunandar, Teknik Tegangan Tinggi, 2001.
- [2] L. Disado and J. Fothergill, "Electrical Degradation and Breakdown in Polymer," *IEE Materials and Devices Series 9*, 1992.
- [3] A. Syakur, Yuningtyastuti, M. E. D. Setiaji and A. Aprianto, "Unjuk Kerja Isolator 20 kV Bahan Resin Epoksi Silane Kondisi Basah dan Kering," *Transmisi*, vol. 14, pp. 68-72, 2012.
- [4] B. L. Tobing, Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Medan: Penerbit Erlangga, 2012.
- [5] L. Disado and J. Fothergill, "Electrical Degradation and Breakdown in Polymer," *IEE Materials and Devices Series 9*, 1992.
- [6] A. Fauzan, Hermawan and A. Syakur, "Pengaruh Sinar Ultraviolet dan Komposisi Fly Ash pada Bahan Isolasi Resin Epoksi Silane terhadap Nilai Arus Bocor dengan Kontaminan NH<sub>4</sub>CL dan Air Hujan," in *Teknik Elektro, Universitas Diponegoro*, Semarang, 2017.
- [7] D. M. A, A. Syakur and Hermawan, "Analisis Pengaruh Sinar Ultraviolet dan Komposisi Fly Ash terhadap Unjuk Kerja Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Silicone Rubber dengan Variasi Injeksi Tegangan Tinggi," in *Teknik Elektro, Universitas Diponegoro*, Semarang, 2017.
- [8] I. E. Commision, "1109," 1992.
- [9] A. Syakur, Hermawan and H. Sutanto, "Determination of Hydrophobic Contact Angle of Epoxy Resin Compound Silicon Rubber and Silica," in *EECSI*, 2016.
- [10] D. I. Susilawati, Hermawan and A. Syakur, "Analisa Arus Bocor Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Silane Menggunakan Metode Pengukuran Inclined-Plane Tracking," *Transmisi*, 2012.