

ANALISIS KARAKTERISTIK ARUS BOCOR DAN SUDUT KONTAK PADA BAHAN ISOLASI RESIN EPOKSI DENGAN CAMPURAN ABU SEKAM PADI PADA KONTAMINAN NH_4Cl DAN AIR HUJAN

Gilang Prasetyo^{*)}, Hermawan, and Abdul Syakur

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

^{*)}E-mail: gilang.prasetyo2012@gmail.com

Abstrak

Isolator merupakan salah satu peralatan penting dalam sistem tenaga listrik. Isolator berfungsi untuk memisahkan bagian yang bertegangan dengan bagian lain. Pada isolator sering terjadi kebocoran arus, sehingga perlu dicari bahan isolator dengan kebocoran arus kecil. Salah satunya isolator berbahan resin epoksi. Isolator sangat rentan terhadap pengaruh lingkungan karena adanya kontaminan yang menempel pada permukaan isolator yang dapat menyebabkan arus bocor permukaan. Sehingga diperlukan isolator dengan daya tahan arus bocor yang baik. Pada penelitian ini dilakukan pengujian 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 abu sekam padi. Kontaminan yang digunakan adalah kontaminan NH_4Cl dan air hujan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran Inclined-Planed Tracking (IPT) sesuai standart IEC 587:1984. Parameter yang dianalisis adalah sudut kontak, arus bocor rata-rata, dan waktu tracking. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposisi bahan pengisi dan variasi kontaminan mempengaruhi besarnya sudut kontak, besarnya arus bocor rata-rata, dan waktu penjejakan. Dilihat dari keseluruhan parameter yang diukur didapatkan komposisi bahan pengisi resin epoksi dengan bahan pengisi 40% lebih baik dibanding bahan pengisi lainnya 20% dan 30%.

Kata kunci: resin epoksi, abu sekam padi, arus bocor, sudut kontak, kontaminan

Abstract

Isolator is an important equipment in electric power system. Isolator serves to separate the part that is in tension with other parts. In the insulator frequent leakage current, so need to look for insulator material with small current leakage. One of them is an epoxy resin insulator. Isolators are susceptible to environmental influences due to contaminants attached to the surface of the insulator which can cause surface leak currents. So the required insulator with good leakage current resistance. In this research, the insulation material of epoxy resin made from mixture of Diglycidyl Ether of Bisphenol-A (DGEBA) and Metaphenylene Diamine (MPDA) with mixture of silicone rubber and silica ash husk rice husk. Contaminants used are contaminants NH_4Cl and rainwater. The test was performed using Inclined-Planed Tracking (IPT) measurement method according to IEC 587: 1984 standard. Parameters analyzed were contact angle, average leakage current, and tracking time. The test results showed that the composition of the filler and the variation of the contaminant affected the amount of contact angle, average leakage current, and tracking time. Seen from all parameters measured, the composition of epoxy resin filler with filler 40% better than other filler 20% and 30%.

Keywords: epoxy resin, rice husk ash, leakage current, contact angel, contaminants

1. Pendahuluan

Bahan isolasi yang banyak digunakan di Indonesia saat ini adalah bahan isolasi keramik dan gelas. Kelebihan isolasi jenis ini adalah harganya yang murah dan memiliki sifat thermal yang baik. Namun isolator jenis ini memiliki kelemahan dari segi mekanis yaitu berat dan permukaannya yang bersifat menyerap air sehingga lebih

mudah terjadi arus bocor pada permukaan yang akhirnya dapat menyebabkan flashover[1].

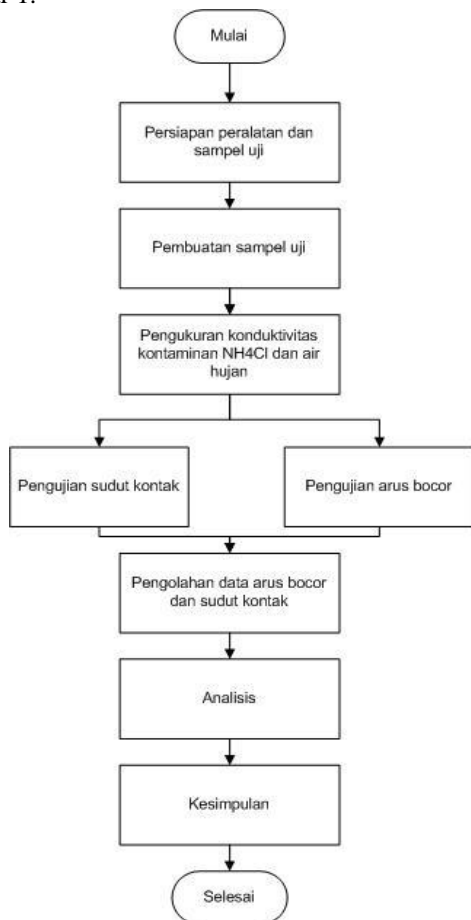
Salah satu alternatif untuk mengatasi kelemahan porselin dan gelas adalah dengan mengganti dengan isolator polimer. Material polimer sekarang ini banyak digunakan sebagai isolasi peralatan tegangan tinggi karena banyak keunggulan dibanding dengan material lain, antara lain

yaitu 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]. Meskipun memiliki keunggulan, polimer juga memiliki beberapa kelemahan. Bahan polimer mudah mengalami degradasi karena faktor lingkungan seperti temperature, kelembaban, polusi udara, ataupun radiasi sinar ultraviolet[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[1]. Berdasarkan uraian tersebut maka dalam Penelitian ini akan menganalisis karakteristik arus bocor dan sudut kontak sampel bahan isolasi resin epoksi dengan campuran abu sekam padi pada variasi kontaminan dengan tegangan konstan menggunakan metode Inclined-Plane Tracking (IPT) yang diatur dalam IEC 587:1984.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

Tahapan pengujian pada Penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2. Pembuatan Sampel uji

Sampel uji yang digunakan pada pengujian ini adalah isolator polimer resin epoksi dengan campuran silicone rubber dan abu sekam padi untuk pengujian isolasi arus bocor 3,5 kV. Komposisi dari sampel uji dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Komposisi bahan penyusun sampel uji

Jenis Sampel	DGEBA	MPDA	Silicone rubber	Silika abu sekam padi
Resin epoksi 20%	40 gr (40%)	40 gr (40%)	10 gr (10%)	10 gr (10%)
Resin epoksi 30%	35 gr (35%)	35 gr (35%)	15 gr (15%)	15 gr (15%)
Resin epoksi 40%	30 gr (30%)	30 gr (30%)	20 gr (20%)	20 gr (20%)

2.3. Pengukuran Konduktivitas Kontaminan

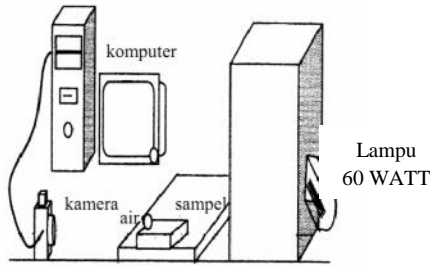
Pengukuran konduktivitas kontaminan menggunakan alat konduktivimeter. Kontaminan NH_4Cl dibuat dari campuran air aquades dan garam NH_4Cl dengan konduktivitas sesuai standart IEC 587:1984 sebesar 2560 $\mu S/cm$.



Gambar 2. Pengukuran konduktivitas kontaminan

2.4. Pengukuran Sudut Kontak

Besar 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 Corel Draw X5 untuk mendapatkan sudut kontak sisi kanan dan sisi kiri sampel uji yang diukur. Berikut adalah rangkaian pengujian sudut kontak :



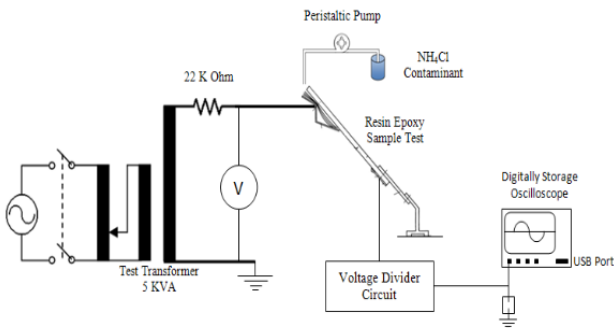
Gambar 3. Rangkaian pengukuran sudut kontak[4]

2.5. Pengujian Arus Bocor dan Sudut Kontak

Untuk memperoleh data karakteristik arus bocor dari masing-masing sampel maka dilakukan pengujian arus bocor dengan rangkaian pengujian sesuai standar IEC 587:1984 yang ditunjukkan gambar 4.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian arus bocor antara lain :

1. Elektroda atas dan elektroda bawah
2. Support 45°
3. Transformator
4. Pompa peristaltik
5. Multimeter dan probe tegangan tinggi
6. Osiloskop digital
7. Resistor pembagi tegangan



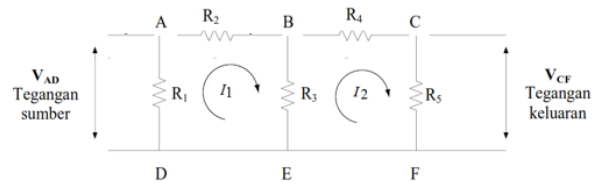
Gambar 4. Rangkaian pengujian arus bocor dan sudut kontak[5]

Pengamatan arus bocor ini memerlukan osiloskop sebagai alat bantu. Input tegangan yang masuk ke dalam osiloskop harus sesuai dengan karakteristik kemampuan osiloskop tersebut. Piranti pengamanan dan perlindungan bagi osiloskop diperlukan untuk membatasi tegangan besar yang masuk ke dalam osiloskop dengan cara memasang rangkaian pembagi tegangan.

Nilai resistansi pada rangkaian pembagi tegangan adalah $R_1 = 680 \Omega$, $R_2 = 820 \Omega$, $R_3 = 100 \Omega$, $R_4 = 820 \Omega$, dan $R_5 = 10K \Omega$. Berdasarkan data resistansi pada gambar 4 akan diperoleh perhitungan sebagai berikut

$$I_1 = 0,025679 V_{CF} \quad (1)$$

Dengan I_1 merupakan nilai arus bocor yang mengalir pada isolator uji dan V_{CF} menunjukkan tegangan efektif yang terbaca pada osiloskop.

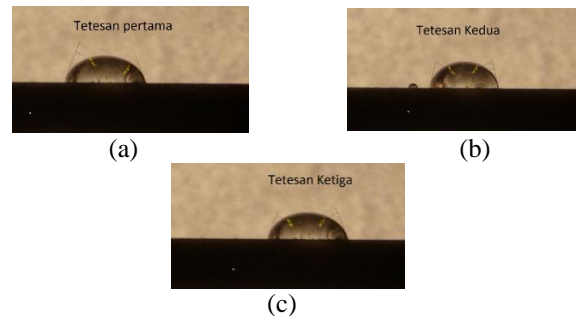


Gambar 4. Rangkaian pembagi tegangan

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian Sudut Kontak

Besar 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 Corel Draw X5 untuk mendapatkan sudut kontak pada sisi kanan dan sisi kiri sampel uji yang diukur.



Gambar 5. Sudut kontak resin epoksi 20% sampel 1 dengan kontaminan NH_4Cl (a) tetesan pertama, (b) tetesan kedua, dan (c) tetesan ketiga

- Tetesan pertama
 - Sudut kontak kiri = $68,84^\circ$
 - Sudut kontak kanan = $68,61^\circ$
 - Sudut kontak tetesan pertama

$$= \frac{\text{sudut kontak kanan} + \text{sudut kontak kiri}}{2}$$

$$= \frac{68,84 + 68,61}{2}$$

$$= 68,72^\circ$$
- Tetesan kedua
 - Sudut kontak kiri = $76,26^\circ$
 - Sudut kontak kanan = $76,47^\circ$
 - Sudut kontak tetesan kedua

$$= \frac{\text{sudut kontak kanan} + \text{sudut kontak kiri}}{2}$$

$$= \frac{69,67 + 72,58}{2}$$

$$= 71,12^\circ$$
- Tetesan ketiga
 - Sudut kontak kiri = $69,26^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Sudut kontak kanan} &= 67,51^\circ \\ \text{Sudut kontak tetesan ketiga} &= \frac{\text{sudut kontak kanan} + \text{sudut kontak kiri}}{2} \\ &= \frac{69,26 + 67,51}{2} \\ &= 68,38^\circ \end{aligned}$$

Maka sudut kontak dapat ditentukan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \text{Sudut kontak} &= \frac{\text{tetesan pertama} + \text{tetesan kedua} + \text{tetesan ketiga}}{3} \quad (2) \\ &= \frac{68,72 + 71,12 + 68,38}{3} \\ &= 69,41 \end{aligned}$$

Hasil pengukuran dan perhitungan sudut kontak hidrofobik bahan uji resin epoksi silane terhadap variasi kontaminan dapat dilihat pada Tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 2. Hasil pengukuran sudut kontak dengan kontaminan NH₄Cl

Bahan Pengisi	Sampel	Rata-rata (°)	θ (°)
20%	Sampel 1	69,41	70
20%	Sampel 2	69,87	
20%	Sampel 3	70,72	
30%	Sampel 1	74,09	74,33
30%	Sampel 2	74,46	
30%	Sampel 3	74,44	
40%	Sampel 1	81,08	79,09
40%	Sampel 2	75,44	
40%	Sampel 3	80,71	

Tabel 3. Hasil pengukuran sudut kontak dengan kontaminan air hujan

Bahan Pengisi	Sampel	Rata-rata (°)	θ (°)
20%	Sampel 1	70,12	68,42
20%	Sampel 2	66,72	
30%	Sampel 1	75,02	74,0
30%	Sampel 2	73,06	
40%	Sampel 1	79,96	81,01
40%	Sampel 2	82,07	

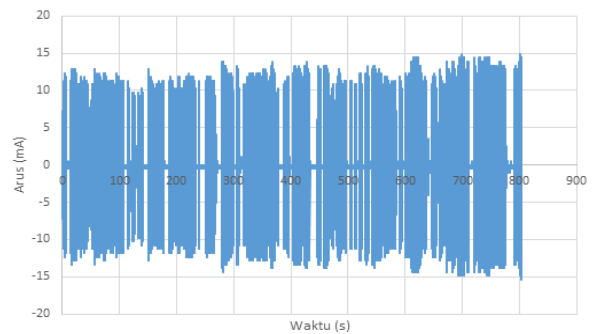
Berdasarkan Tabel 2 dan 3 dapat diketahui bahwa nilai sudut kontak berkisar antara 68° sampai dengan 81°. Ini dapat dikategorikan bersifat *partially wetted* (basah sebagian). Pengaruh kontaminan pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai konduktivitas yang berbeda jauh pada kandungan kontaminan air hujan dan kontaminan NH₄Cl tidak berpengaruh pada hasil pengukuran sudut kontak. Hal ini dibuktikan dengan nilai sudut kontak resin epoksi bahan pengisi 20%, 30%, dan 40% yang ditetesi kontaminan air hujan dan kontaminan NH₄Cl memiliki selisih yang tidak terlalu besar sekitar kurang dari 2°. Juga dapat diketahui bahwa sampel uji resin epoksi yang ditetesi kontaminan NH₄Cl dan air hujan, semakin besar bahan pengisinya maka akan semakin besar sudut kontak. Sehingga dapat dikatakan resin epoksi bahan pengisi 40% paling hidrofobik dibanding resin epoksi bahan pengisi lainnya.

3.2. Pengujian Arus Bocor

Secara umum dari keseluruhan pengujian arus bocor resin epoksi dengan presentase pengisi 20%, 30%, dan 40% menggunakan kontaminan NH₄Cl dan kontaminan air hujan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Hasil pengukuran arus bocor dengan kontaminan NH₄Cl

Bahan Pengisi	Sampel	t _{awal} (detik)	I _{awal} (mA)	t _{tracking} (detik)	t _{max} (detik)	I _{max} (mA)	I _{LC} (mA)
20%	Sampel 1	1	12,32	804	802	15,4	4,24
	Sampel 2	14	9,75	442	372	15,4	4,81
	Sampel 3	28	12,83	437	435	15,92	6,42
	Rata-rata	14	11,64	561	563	15,57	5,16
30%	Sampel 1	74	4,62	801	668	15,92	5,57
	Sampel 2	30	8,73	707	622	15,4	3,93
	Sampel 3	3	9,75	819	804	14,89	4,16
	Rata-rata	35	7,7	775	698	15,4	4,55
40%	Sampel 1	11	8,73	1172	1144	14,89	3,59
	Sampel 2	10	2,05	1401	1388	14,89	2,5
	Sampel 3	9	4,62	1614	1592	14,89	2,44
	Rata-rata	10	5,13	1395	1374	14,89	2,84

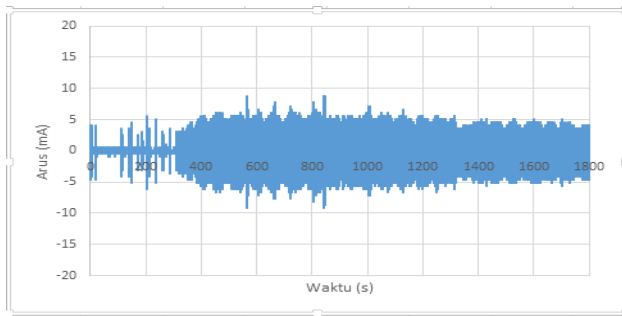


Gambar 6. Gelombang pengujian arus bocor kontaminan NH₄Cl

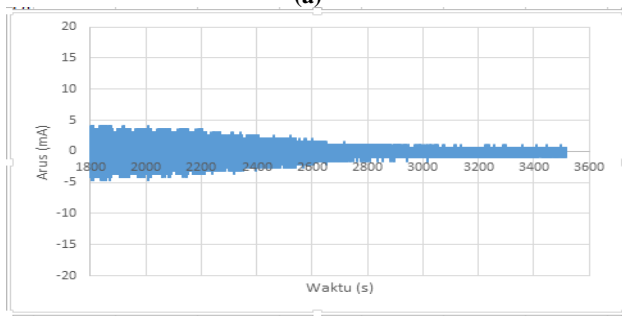
Tabel 5. Hasil pengukuran arus bocor dengan kontaminan air hujan

Bahan Pengisi	Sampel	t _{awal} (detik)	I _{awal} (mA)	t _{tracking} (detik)
20%	Sampel 1	1	13,8	728
	Sampel 2	1	4,62	3600
	Rata-rata	1	9,24	2164
30%	Sampel 1	20	8,73	1098
	Sampel 2	7	4,11	3600
	Rata-rata	13,5	6,41	2349
40%	Sampel 1	83	6,67	3600
	Sampel 2	7	0,51	3600
	Rata-rata	45	3,59	3600

Bahan pengisi	Sampel	t_{max} (detik)	I_{max} (mA)	I_{LC} (mA)
20%	Sampel 1	716	13,86	2,93
	Sampel 2	844	9,24	1,65
	Rata-rata	780	11,55	2,29
30%	Sampel 1	522	13,86	3,78
	Sampel 2	401	11,81	1,61
	Rata-rata	461	12,83	2,7
40%	Sampel 1	296	10,78	1,03
	Sampel 2	28	1,54	0,27
	Rata-rata	162	6,16	0,62



(a)



(b)

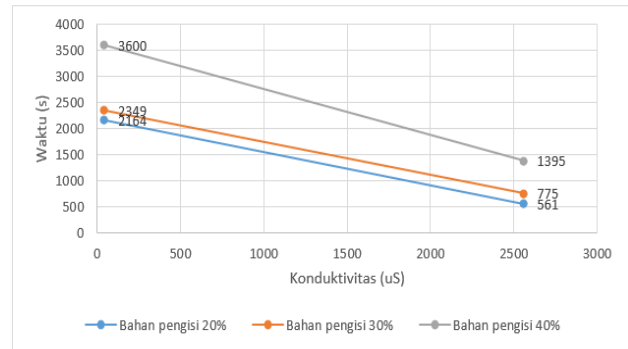
Gambar 7. Gelombang pengujian arus bocor kontaminan air hujan

Pada tabel 4 dan 5 di atas, parameter t_{awal} menunjukkan waktu kapan terjadinya lucutan muatan pertama pada bahan isolasi. I_{awal} menunjukkan besaran nilai arus pada lucutan muatan pertama. $t_{tracking}$ menunjukkan lamanya waktu pengujian arus bocor yang dilakukan sampai $tracking$ mencapai batasnya. t_{max} menunjukkan waktu kapan arus bocor maksimal terjadi, sedangkan I_{max} menunjukkan besaran nilai arus bocor maksimal yang terjadi pada bahan isolasi. Arus bocor rata-rata (I_{LC}) adalah nilai arus bocor yang terjadi dari t_{awal} sampai $t_{tracking}$ dibagi dengan lamanya waktu pengujian.

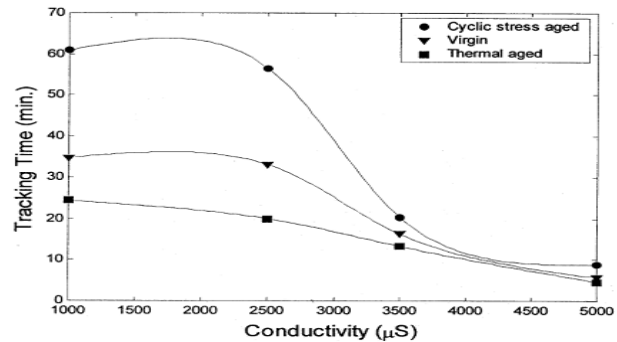
Berdasarkan tabel 4. dan 5. dapat dibuat grafik hubungan variasi kontaminan dengan waktu tracking ($t_{tracking}$) arus bocor rata-rata sebagai berikut.

Berdasarkan hasil pengukuran arus bocor pada bahan resin epoksi dengan bahan pengisi silicone rubber dan silika abu sekam padi, baik dengan menggunakan kontaminan NH_4Cl maupun dengan kontaminan air hujan Semarang, maka dapat dilihat bahwa penambahan bahan pengisi akan membuat bahan dapat menahan terjadinya $tracking$ sampai

mencapai batas standarnya menjadi semakin lama. Hal ini disebabkan penambahan bahan pengisi khususnya silicone rubber pada resin epoksi membuat sifat bahan menjadi semakin menolak air (hidrofobik). Hal ini ditunjukkan dengan semakin besar sudut kontak yang terbentuk, baik yang ditetesi kontaminan NH_4Cl maupun kontaminan air hujan, seperti yang terlihat pada tabel 2 dan 3.



Gambar 8. Hubungan variasi kontaminan dengan waktu tracking



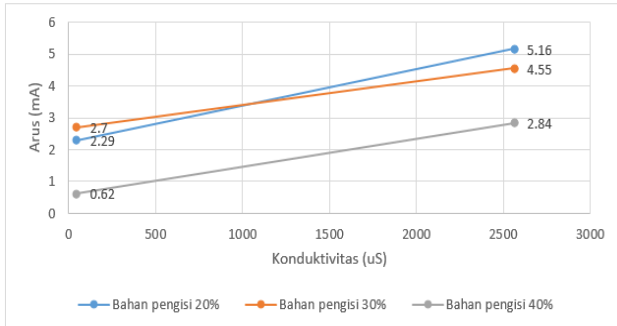
Gambar 9. Grafik variasi kontaminan dengan waktu tracking material HDPE (R. Sarathi,2004)[6]

Pada variabel waktu terjadinya lucutan awal (t_{awal}), semakin besar bahan pengisinya maka akan semakin lama terjadinya lucutan awal. Hal ini disebabkan semakin banyaknya kandungan bahan pengisi pada resin epoksi membuat bahan uji menjadi semakin hidrofobik sehingga semakin sulit terjadi kegagalan isolasi.

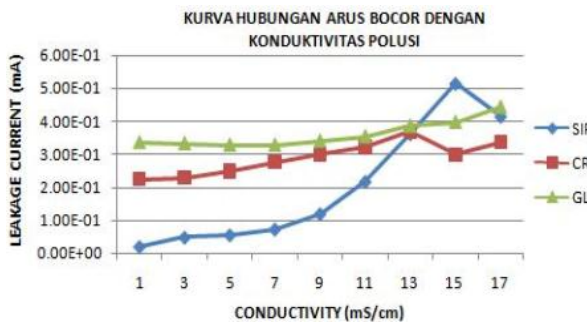
Pada variabel arus bocor maksimal (I_{max}) yang terjadi pada bahan uji, terlihat bahwa semakin besar presentase bahan pengisi maka arus bocor maksimal yang terjadi akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan banyaknya pasir silika yang terdapat pada bahan uji ikut mempengaruhi kekakuan bahan uji tersebut.

Berdasarkan gambar 8, resin epoksi bahan pengisi 20% dengan konduktivitas di atas $2500 \mu S/cm$ mengalami kegagalan isolasi yang paling cepat yaitu pada waktu 561 detik. Jadi, semakin besar konduktivitas yang dialirkan dan semakin sedikit bahan pengisinya akan mempercepat terjadinya kegagalan isolasi pada resin epoksi. Hasil pengujian tersebut sama dengan pengujian yang telah

dilakukan R. Sarathi (2004) pada gambar 9 di mana semakin besar konduktivitas kontaminan maka akan semakin cepat waktu trackingnya.



Grafik 10. Hubungan variasi kontaminan dengan arus bocor rata-rata (I_{LC})



Grafik 11. Kurva arus bocor isolator polimer SIR di bawah pengaruh konduktivitas garam (Mustamin, 2010)[7]

Berdasarkan gambar 10, resin epoksi dengan bahan pengisi 40% dengan konduktivitas $44 \mu\text{S}/\text{cm}$ memiliki arus bocor rata-rata terkecil dengan nilai $0,62 \text{ mA}$. Jadi, semakin kecil konduktivitas yang dialirkan dan semakin besar komposisi bahan pengisinya akan menyebabkan arus bocor rata-rata semakin kecil. Hasil pengujian tersebut sama dengan pengujian yang telah dilakukan Mustamin (2010) pada gambar 11 di mana semakin besar konduktivitas kontaminan maka akan semakin besar arus bocornya.

Umumnya batas arus bocor maksimal yang diperbolehkan adalah 100 mA , meskipun nilai-nilai yang pernah diamati pada kondisi kering hingga mencapai 5 mA dan pada kondisi basah lonjakan arus bocor dapat mencapai 50 mA atau lebih, tetapi masih tetap dianggap aman. Pada pengujian bahan isolasi kondisi basah pada Penelitian ini nilai arus bocor maksimalnya mencapai $15,92 \text{ mA}$, yaitu pada sampel 3 bahan pengisi 20% dan sampel 1 bahan pengisi 30%. Sehingga dapat dikatakan bahan isolasi polimer resin epoksi dengan bahan pengisi silicone rubber dan abu sekam padi yang telah diuji pada Penelitian ini dapat dipertimbangkan sebagai bahan isolator karena nilai arus bocor maksimalnya masih dalam batas aman[8].

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa sudut kontak permukaan sampel bahan resin epoksi dipengaruhi oleh bahan pengisi silicone rubber dan pasir silika abu sekam padi. Kenaikan presentase bahan pengisi menyebabkan sudut kontak yang terbentuk semakin besar. Sudut kontak yang dihasilkan berkisar antara 68° - 81° dengan sudut kontak terbesar dimiliki oleh resin epoksi bahan pengisi 40% dengan sudut kontak $81,01^\circ$. Sehingga bahan dikategorikan *partially wetted* (basah sebagian). Nilai rata-rata arus bocor bahan isolasi resin epoksi mengalami penurunan untuk setiap kenaikan komposisi bahan pengisi. Pada bahan isolasi yang diberi kontaminan air hujan memiliki rata-rata arus bocor yang lebih kecil dibanding bahan isolasi yang diberi kontaminan NH_4Cl . Nilai arus bocor rata-rata untuk bahan pengisi 20%, 30%, dan 40% pada kontaminan NH_4Cl berturut-turut adalah $5,16 \text{ mA}$; $4,55 \text{ mA}$; dan $2,89 \text{ mA}$. Untuk nilai arus bocor rata-rata untuk bahan pengisi 20%, 30%, dan 40% pada kontaminan air hujan berturut-turut adalah $2,29 \text{ mA}$; $2,7 \text{ mA}$; dan $0,62 \text{ mA}$. Sedangkan untuk lamanya waktu pengujian bahan pengisi 20%, 30%, dan 40% pada kontaminan NH_4Cl berturut-turut adalah 561 detik , 776 detik , dan 1395 detik . Untuk lamanya waktu pengujian bahan pengisi 20%, 30%, dan 40% pada kontaminan air hujan berturut-turut adalah 2164 detik , 2349 detik , 3600 detik .

Referensi

- [1] Tobing, Bonggas L, Peralatan Tegangan Tinggi, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [2] A. Syakur and H. Berahim, "Hydrophobic Contact Angle and Surface Degradation of Epoxy Resin Compound with Silicon Rubber and Silica," vol. 2, no. 5, pp. 284–291, 2012.
- [3] E. Insulation, "RTV Silicone Rubber Coatings for Outdoor Insulators," vol. 6, no. 5, 1999.
- [4] A. Syakur and R. Wahyu, "Pengaruh Kontaminan terhadap Sudut Kontak Hidropobik dan Karakteristik Arus Bocor pada Sampel Isolator Resin Epoksi Silane," vol. 10, no. 1, pp. 52–56, 2012.
- [5] A. Syakur and H. Berahim, "Electrical Tracking Formation on Silane Epoxy Resin under Various Contaminants," vol. 11, no. 1, pp. 17–28, 2013.
- [6] S. C. R. S. M. G. Danikas, "Analysis of surface degradation of silicone rubber insulation due," pp. 489–501, 2007.
- [7] S. Manjang, "KARAKTERISTIK ISOLATOR POLIMER TEGANGAN TINGGI DI BAWAH PENUAAN TEKANAN IKLIM TROPIS BUATAN YANG DIPERCEPAT Mustamin 1 dan Salama Manjang 2."
- [8] M. Amin, S. Amin, and M. Ali, "MONITORING OF LEAKAGE CURRENT FOR COMPOSITE INSULATORS AND ELECTRICAL DEVICES," vol. 21, 2009.