

PENGARUH SINAR ULTRAVIOLET DAN KOMPOSISI *FLY ASH* PADA BAHAN ISOLASI RESIN EPOKSI SILANE TERHADAP NILAI ARUS BOCOR DENGAN KONTAMINAN NH_4Cl DAN AIR HUJAN

Adhitya Fauzan Hidayat^{*}), Hermawan, and Abdul Syakur

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

^{*}E-mail : *fauzanadhitya2@gmail.com*

Abstrak

Riset terhadap bahan isolator polimer yang lebih ringan dan dapat ditambahkan pengisi untuk memperbaiki kekuatan isolator masih menjadi sebuah riset, namun kondisi lingkungan akan mempengaruhi kinerja pada isolator polimer di luar ruangan. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran arus bocor kondisi basah terhadap permukaan bahan isolator dengan metode pengukuran Inclined-Planed Tracking (IEC 587:1984) dengan kontaminan NH_4Cl dan air hujan. Sampel pengukuran menggunakan bahan isolasi resin epoksi yang terbuat dari campuran DGEBA dan MPDA dengan campuran bahan pengisi silicone rubber dan fly ash. Penuaan dipercepat dilakukan dalam kotak pengukuran yang terdapat paparan radiasi ultraviolet. Parameter yang dianalisa adalah sudut kontak, arus bocor lucutan pertama dan arus puncak. Hasil pengukuran menunjukkan semakin lama radiasi ultraviolet menyebabkan penurunan hidrofobik permukaan dan meningkatnya nilai arus bocor. Penggunaan polutan dengan nilai konduktivitas tinggi menyebabkan semakin tingginya arus bocor lucutan pertama dan arus puncak pada permukaan isolator. Didapatkan penggunaan komposisi pengisi terbaik terdapat pada sampel uji RTV23 dibandingkan RTV22 dan RTV24 dengan daya tahan sudut hidrofobik paling stabil sebesar 48.56% dan rata-rata kenaikan nilai arus bocor lucutan awal sebesar 31.16% dan arus puncak 10.76% terhadap penuaan radiasi ultraviolet.

Kata kunci : resin epoksi, fly ash, variasi kontaminan, penuaan dipercepat, sudut kontak, arus bocor.

Abstract

Research on polymer insulator material that is lighter and can be added filler to improve the strength of the insulator is still a research, but environmental conditions will affect the performance of outdoor polymer insulators. In this research, we measured leakage current in wet condition on surface of insulating material with Inclined-Planed Tracking measurement method (IEC 587:1984) with contaminant of NH_4Cl and rainwater. The measurement sample used an epoxy resin insulation material made from a mixture of DGEBA and MPDA with a mixture of silicone rubber and fly ash. Accelerated aging is done in a measurement box with exposure of ultraviolet radiation. Parameters analyzed were contact angle, first leakage current and peak current. The measurements show longer ultraviolet radiation causes decrease in surface hydrophobicity and increased value of leakage current. The use of pollutants with high conductivity values leads to higher leakage current first and peak current on the surface of the insulator. The best use of filler composition was found in RTV23 test sample compared to RTV22 and RTV24 with the most stable hydrophobic of 48.56% and an average rise in initial discharge leakage value of 31.16% and a peak current of 10.76% against aging of ultraviolet radiation.

Keywords: epoxy resin, fly ash, contaminant variation, accelerated aging, contact angle, leakage current.

1. Pendahuluan

Kegagalan sistem isolasi peralatan sistem tenaga listrik akan menimbulkan kerugian yang besar bagi perusahaan pembangkit karena diperlukan adanya penggantian peralatan isolasi, selain itu kerugian juga dialami konsumen [1]. Dibutuhkan isolator dengan kekuatan mekanis dan elektris yang baik agar dapat menjaga

keandalan suatu jaringan. Pengaruh kondisi cuaca, suhu lingkungan dan kelembaban akan sangat mempengaruhi kemampuan suatu isolator [2].

Saat ini banyak digunakan isolator porselein dan gelas pada sistem transmisi energi listrik yang cenderung tidak menguntungkan karena rapat massa yang besar, mudah pecah menyebabkan semakin tinggi biaya konstruksi dan

pemeliharaan jaringan tenaga listrik. 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 [3]. 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* [4].

Pengukuran arus bocor dengan penuaan dipercepat di lab menggunakan sinar *ultraviolet* pada isolator resin epoksi dengan abu sekam padi menunjukkan semakin lama penyinaran maka nilai arus bocor rata-rata akan semakin meningkat dimana kerusakan permukaan isolator terjadi akibat penyinaran *ultraviolet* secara terus menerus [5]

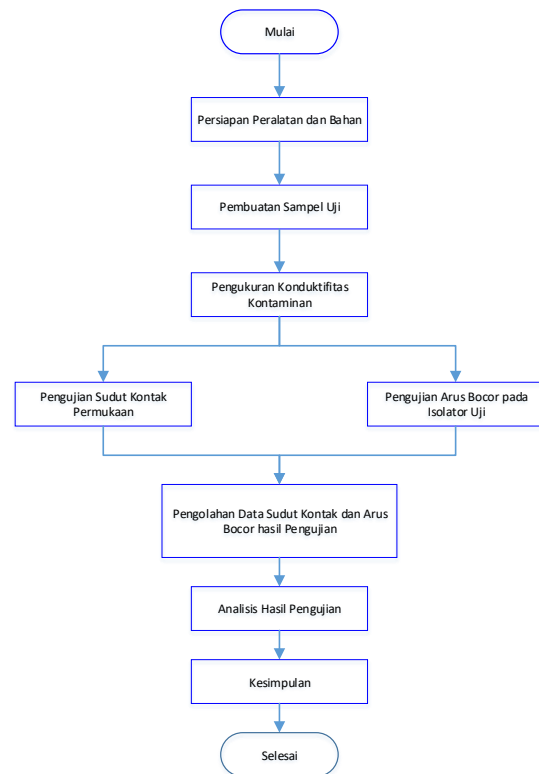
Penggunaan *silicone rubber* (SiR) memiliki kemampuan untuk memperbaiki kualitas permukaan isolator agar bersifat menolak air. Sehingga digunakan *silicone rubber* dicampur dengan resin epoksi untuk mengurangi penggunaan resin epoksi. Penelitian terhadap kekuatan mekanis dan elektrik pada *silicone rubber* dan *fly ash*, penambahan komposisi *fly ash* akan meningkatkan kekuatan tarik bahan dan kekuatan dielektrik. Penambahan *fly ash* berlebih justru menurunkan nilai sudut kontak permukaan [6].

Berdasarkan uraian tersebut maka dalam penelitian ini akan dianalisis karakteristik arus bocor dan sudut kontak sampel bahan isolasi resin epoksi pada (*Room Temperature Vulcanising*) RTV dengan campuran *silicone rubber* dan *fly ash* pada variasi kontaminan dengan tegangan konstan menggunakan metode Inclined-Plane Tracking (IPT) yang diatur dalam IEC 587:1984.

2. Metode

2.1. Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan 2 metode, yaitu pengukuran sudut kontak dan pengukuran arus bocor. Kedua metode tersebut memiliki tahapan penelitian seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Prosedur penelitian

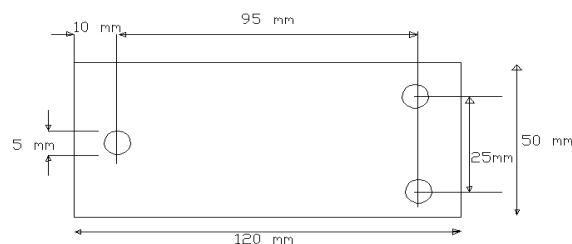
2.2. Pembuatan Sampel Uji

Dalam pengukuran ini sampel uji isolator yang digunakan adalah isolator resin epoksi dengan campuran pengisi *silicone rubber* / silane dan *fly ash*, memiliki komposisi penyusun bahan uji pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi penyusun bahan uji

Kode Sampel	Persen Pengisi (%)	Komposisi Pengisi (gram)			
		DGEBA	MPDA	Silane	Fly ash
RTV22	20	40	40	10	10
RTV23	30	35	35	15	15
RTV24	40	30	30	20	20

Dimensi sampel bahan uji dibuat dengan ukuran 120 x 50 x 5 mm dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Dimensi Sampel Uji [7]

Tabel 2. Jumlah Sampel Pada Kontaminan NH₄Cl

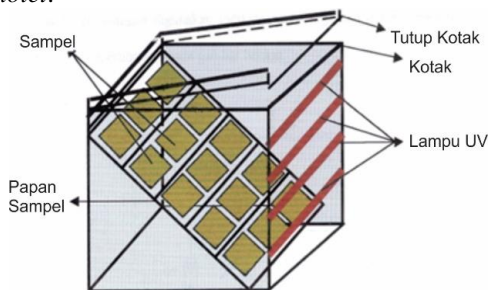
Komposisi Bahan Pengisi (%)	Variasi Perlakuan Sinar UV					Jumlah
	0 jam	24 jam	48 jam	72 jam	96 jam	
20	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	10 buah
30	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	10 buah
40	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	10 buah
TOTAL						30 buah

Tabel 3. Jumlah Sampel Pada Kontaminan Air Hujan

Komposisi Bahan Pengisi (%)	Variasi Perlakuan Sinar UV					Jumlah
	0 jam	24 jam	48 jam	72 jam	96 jam	
20	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	10 buah
30	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	10 buah
40	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	10 buah
TOTAL						30 buah

2.3. Penyerinaran Sinar Ultraviolet

Pengukuran dilakukan pada gambar 3 dengan memberi lima variasi perlakuan penyerinaran dari 0 jam hingga 96 jam dengan rentang perbedaan waktu 24 jam. Percepatan penuaan dilakukan di laboratorium berdasarkan Standart IEC 1109:1992. Terdiri dari kotak kayu dan lampu TL ultraviolet.



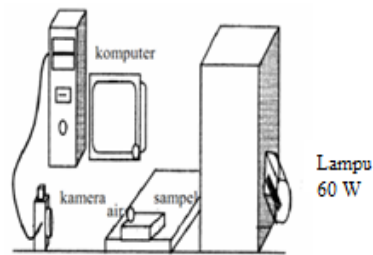
Gambar 3. Kotak Penyerinaran UV[8,9]

2.4. Pengukuran Sudut Kontak

Pengukuran sudut kontak ditunjukkan pada gambar 4. Pengukuran dilakukan dengan meneteskan air polutan 50 µl pada permukaan isolator, menyalakan lampu 60 W untuk pencahayaan tidak langsung, pengambilan gambar menggunakan kamera. Pengukuran sudut kontak dilakukan dengan bantuan software Corel Draw. Nilai sudut kontak didapatkan dari nilai rata-rata sudut kanan dan kiri tetesan air dengan pengambilan tetesan pada masing-masing sampel uji, dengan rumus:

$$\theta_{123} = \frac{\theta_{kanan} + \theta_{kiri}}{2} \tag{1}$$

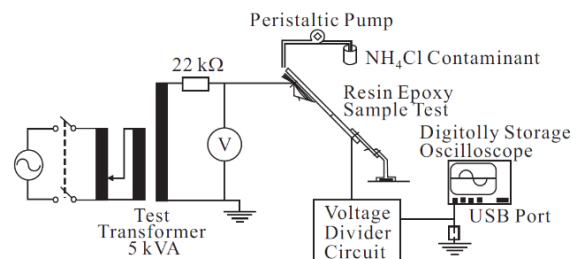
$$\theta_{rata-rata} = \frac{\theta_1 + \theta_2 + \theta_3}{3} \tag{2}$$



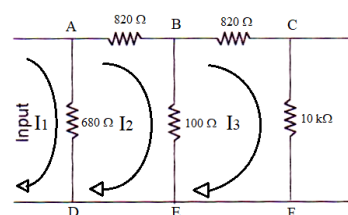
Gambar 4. Rangkaian Pengukuran Sudut Kontak[8]

2.5. Pengukuran Arus Bocor

Pengukuran arus bocor menggunakan metode Incline-Plane Tracking (IPT) berdasarkan standart IEC 587:1984. Rangkaian pengukuran ditunjukkan pada gambar 5. Pada pengukuran digunakan metode tegangan tetap dengan kondisi basah. Pengamatan arus bocor menggunakan bantuan osiloskop untuk merekam gelombang arusnya. Piranti pengamanan dan perlindungan osiloskop untuk membatasi tegangan yang tinggi dengan memasang rangkaian pembagi tegan yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 5. Rangkaian Pengukuran Arus Bocor[3]



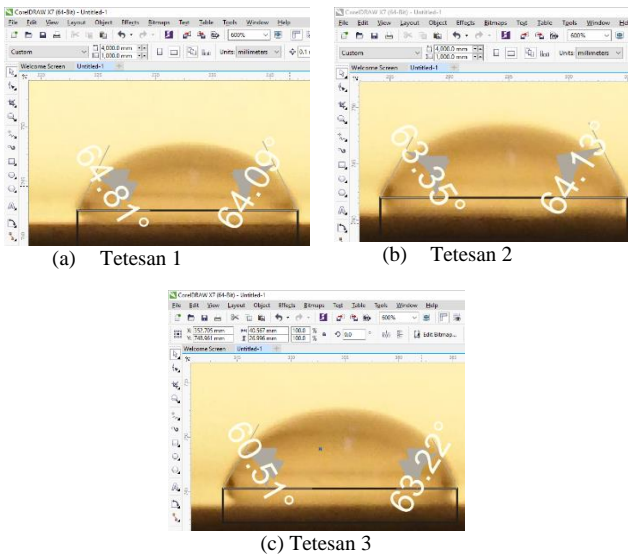
Gambar 6. Rangkaian Pembagi Tegangan Resistif

Pengukuran dilakukan dengan pembatasan terjadinya penjejakan permukaan sejauh 25 mm dari elektroda bawah atau dengan maksimal waktu pengukuran 1 jam.

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengukuran Sudut Kontak

Besar sudut kontak permukaan bahan terhadap tetesan cairan diolah dengan bantuan Software Corel Draw X7 pada gambar 7 untuk mendapatkan sudut kontak pada sisi kanan dan sisi kiri sampel uji yang diukur. Penetesan dilakukan 3 kali untuk mendapat nilai rata-rata sudutnya.



Gambar 7. Pengukuran Sudut Kontak RTV22 penyinaran UV 24 jam sampel 1 kontaminan NH₄Cl

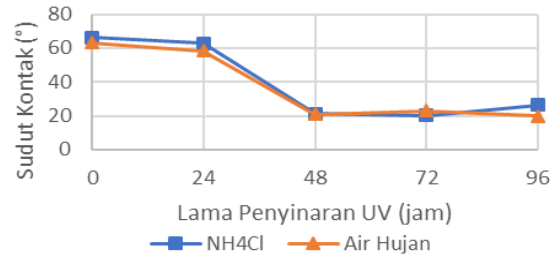
Perhitungan rata-rata sudut kontak dengan rumus 1 dan 2:

- Tetesan 1
 - Sudut kontak kiri = 64.81°
 - Sudut kontak kanan = 64.09°
 - Rata-rata sudut kontak = $\frac{64.81+64.09}{2} = 64.45^\circ \approx 64^\circ$
- Tetesan 2
 - Sudut kontak kiri = 63.35°
 - Sudut kontak kanan = 64.13°
 - Rata-rata sudut kontak = $\frac{63.35+64.13}{2} = 63.74^\circ \approx 64^\circ$
- Tetesan 3
 - Sudut kontak kiri = 60.51°
 - Sudut kontak kanan = 63.22°
 - Rata-rata sudut kontak = $\frac{60.51+63.22}{2} = 61.865^\circ \approx 62^\circ$
- Rata-rata sudut kontak = $\frac{64+64+62}{2} = 63.33^\circ \approx 63^\circ$

Dengan cara yang sama dilakukan pengukuran pada kontaminan NH₄Cl dan Air Hujan. Didapatkan nilai pada tabel 4.

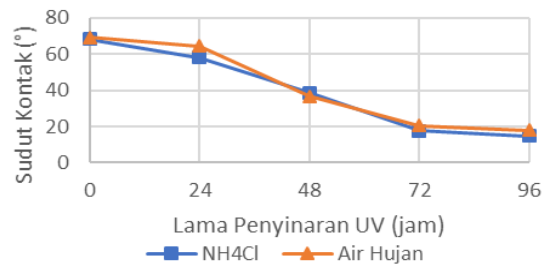
Tabel 4. Hasil Pengukuran Sudut Kontak

Lama UV (Jam)	Sampel	Sudut Kontak NH ₄ Cl			Sudut Kontak Air Hujan		
		RTV2 2	RTV2 3	RTV2 4	RTV2 2	RTV2 3	RTV2 4
		θ (°)	θ (°)	θ (°)	θ (°)	θ (°)	θ (°)
0	1	66	69	54	64	69	71
	2	66	68	58	62	69	68
24	1	63	62	39	62	61	65
	2	63	55	50	55	67	54
48	1	28	43	14	17	42	26
	2	14	34	24	25	32	15
72	1	19	17	32	15	18	25
	2	22	18	22	31	23	24
96	1	36	16	17	19	21	15
	2	17	13	21	20	14	18



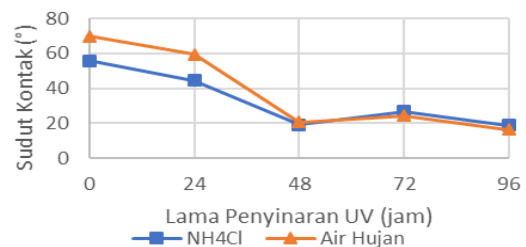
Gambar 8. Grafik perbandingan sudut kontak RTV22 variasi kontaminan

Perbandingan sudut kontak RTV22 pada gambar 8, menunjukkan penggunaan variasi kontaminan tidak mempengaruhi nilai sudut kontak. Namun pengaruh penyinaran sinar *ultraviolet* akan menurunkan nilai sudut kontak yang menunjukkan adanya kerusakan permukaan pada sampel isolator



Gambar 9. Grafik perbandingan sudut kontak RTV23 variasi kontaminan

Perbandingan sudut kontak RTV23 pada gambar 9, menunjukkan penggunaan variasi kontaminan tidak mempengaruhi nilai sudut kontak. Namun pengaruh penyinaran sinar *ultraviolet* akan menurunkan nilai sudut kontak yang menunjukkan adanya kerusakan permukaan pada sampel isolator



Gambar 10. Grafik perbandingan sudut kontak RTV24 variasi kontaminan

Perbandingan sudut kontak RTV24 pada gambar 10, menunjukkan penggunaan variasi kontaminan tidak mempengaruhi nilai sudut kontak. Namun pengaruh

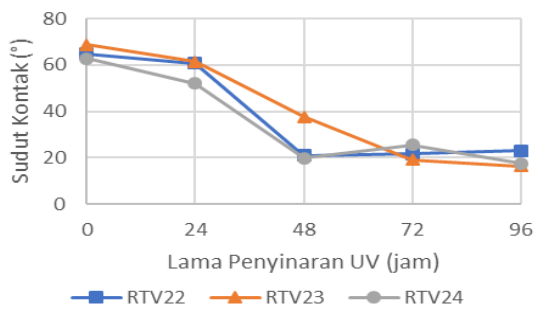
penyinaran sinar *ultraviolet* akan menurunkan nilai sudut kontak yang menunjukkan adanya kerusakan permukaan pada sampel isolator

3.1.1. Perbandingan Rata-rata Sudut Kontak terhadap Lama Penyinaran Ultraviolet

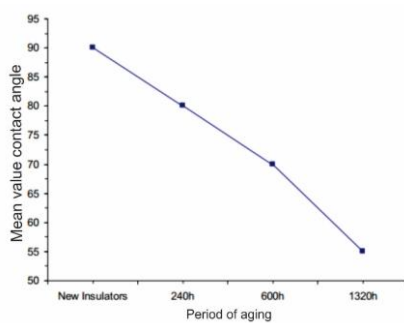
Dengan asumsi bahwa kontaminan yang berbeda tidak mempengaruhi nilai sudut kontak permukaan maka dapat diambil nilai rata-rata sudut kontak tiap komposisi ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata Sudut Kontak Tiap Komposisi

Variasi Komposisi	Lama Penyinaran UV (jam)					
	0	24	48	72	96	
	θ (°)	θ (°)	θ (°)	θ (°)	θ (°)	
RTV22	NH4Cl	66	63	21	20	26
	Air Hujan	63	58	21	23	20
	Rata-rata	65	61	21	22	23
RTV23	NH4Cl	68	58	39	18	15
	Air Hujan	69	64	37	20	18
	Rata-rata	69	61	38	19	16
RTV24	NH4Cl	56	44	19	27	19
	Air Hujan	70	59	21	24	16
	Rata-rata	63	52	20	26	18



Gambar 11. Grafik perbandingan sudut kontak terhadap pengaruh lama penyinaran *ultraviolet*



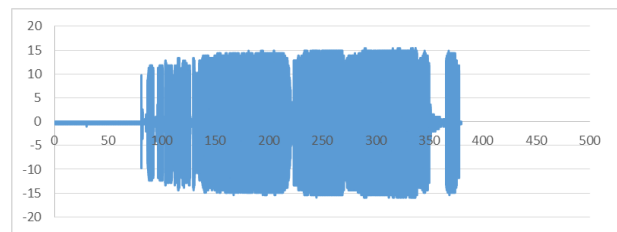
Gambar 12. Grafik rata-rata sudut kontak terhadap pengaruh lama penyinaran *ultraviolet*[10]

Berdasarkan gambar 11 diketahui bahwa lama penyinaran *ultraviolet* dapat memperkecil nilai sudut kontak permukaan pada seluruh komposisi. Hasil penelitian yang

sama oleh R. Portillo (2012) ditunjukkan pada gambar 12. Hal ini disebabkan karena isolator akan menyerap *ultraviolet* sehingga ikatan karbon pada permukaan isolator akan putus sehingga terjadi perubahan sifat permukaan karena terjadi proses pemanasan dan oksidasi sehingga permukaan isolator semakin mengalami kerusakan.

3.2. Pengukuran Arus Bocor

Hasil pengukuran berupa gelombang arus bocor dengan kontaminan NH₄Cl ditunjukkan pada gambar 13. Data hasil pengukuran arus bocor dengan kontaminan NH₄Cl dan air hujan ditunjukkan pada tabel 6. Gelombang arus bocor sinus hasil pengukuran menunjukkan adanya arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator sehingga terjadinya kenaikan suhu pada permukaan yang menunjukkan partikel silika mengalami pembakaran[11].



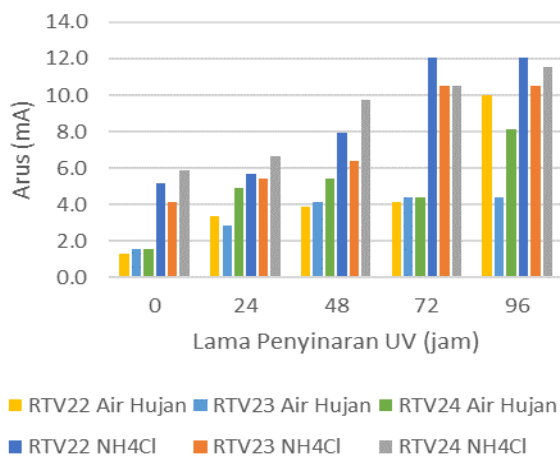
Gambar 13. Gelombang pengukuran arus bocor

Tabel 6. Hasil Pengukuran Arus Bocor

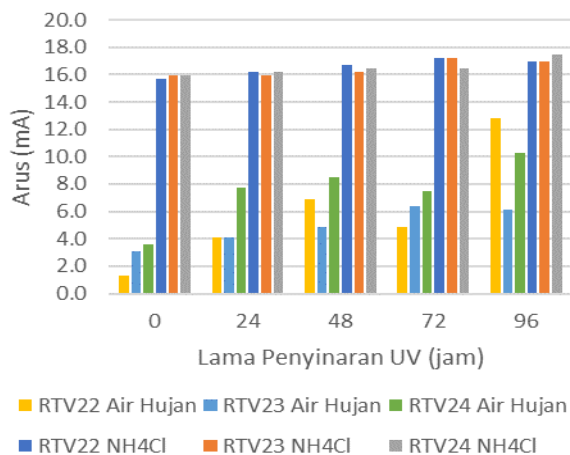
Lama UV (jam)	Sampel	Kontaminan NH ₄ Cl		Kontaminan Air Hujan	
		Arus Lucutan (mA)	Arus Puncak (mA)	Arus Lucutan (mA)	Arus Puncak (mA)
0	RTV22	5.136	15.666	1.284	1.284
	RTV23	4.109	15.921	1.541	3.082
	RTV24	5.906	15.921	1.541	3.595
	RTV22	5.649	16.178	3.338	4.109
24	RTV23	5.393	15.921	2.825	4.109
	RTV24	6.677	16.178	4.879	7.704
	RTV22	7.960	16.691	3.852	6.934
48	RTV23	6.420	16.178	4.109	4.879
	RTV24	9.758	16.435	5.393	8.474
	RTV22	12.069	17.205	4.109	4.879
72	RTV23	10.528	17.205	4.366	6.420
	RTV24	10.528	16.435	4.366	7.447
	RTV22	12.069	16.948	10.015	12.840
96	RTV23	10.529	16.948	4.366	5.904
	RTV24	11.556	17.460	8.132	10.272

3.2.1. Pengaruh Lama Waktu Penyinaran Ultraviolet

Berdasarkan data pada tabel 6 dapat dibuat perbandingan lama penyinaran *ultraviolet* pada sampel isolator, ditunjukkan pada gambar 14 dan gambar 15.



Gambar 14. Grafik rata-rata arus bocor lucutan awal terhadap lama penyinaran *ultraviolet*



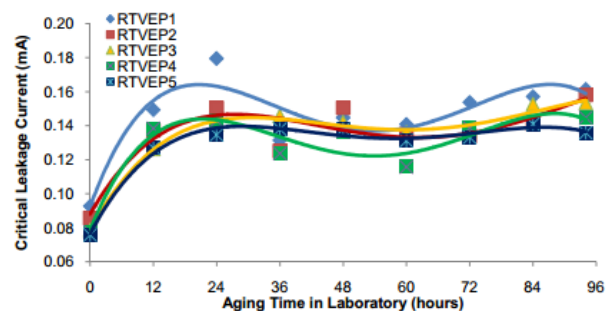
Gambar 15. Grafik rata-rata arus puncak terhadap lama penyinaran *ultraviolet*

Hasil penelitian menunjukkan semakin lama penyinaran *ultraviolet* maka akan semakin besar arus bocor lucutan awal. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 14, semakin lama penyinaran *ultraviolet* maka nilai arus lucutan awalnya akan semakin tinggi. Penggunaan kontaminan yang berbeda juga mempengaruhi nilai rata-rata arus bocor lucutan awal, pada kontaminan NH₄Cl dengan konduktivitas lebih tinggi dari air hujan mengalami arus lucutan yang lebih tinggi. Dengan variasi komposisi yang digunakan dapat terlihat pada RTV23 nilai rata-rata arus bocor lucutan pertama mengalami kenaikan yang tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan RTV22 dan RTV24. Berdasarkan nilai arus puncak hasil pengukuran pada gambar 15 ditunjukkan bahwa semakin lama penyinaran *ultraviolet* maka nilai arus puncaknya juga semakin tinggi, penggunaan kontaminan yang berbeda juga menunjukkan kenaikan arus, pada kontaminan NH₄Cl nilai arus puncaknya lebih tinggi dari hasil pengukuran kontaminan air hujan. Dengan variasi komposisi yang digunakan terlihat nilai rata-rata arus puncak pada RTV23

mengalami kenaikan arus yang tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan RTV22 dan RTV24.

Kenaikan nilai rata-rata arus bocor lucutan awal dan arus puncak yang tidak linear disebabkan akibat isolator yang digunakan tidak homogen, dimana masih terdapat gelembung udara yang jumlahnya berbeda-beda tiap sampel sehingga hasil pengukuran tiap sampel mengalami perbedaan.

Hasil pengukuran serupa pada gambar 16 juga dilakukan oleh Tumiran (2012), dimana semakin lama penyinaran *ultraviolet* maka akan menyebabkan rata-rata arus bocornya akan semakin meningkat.

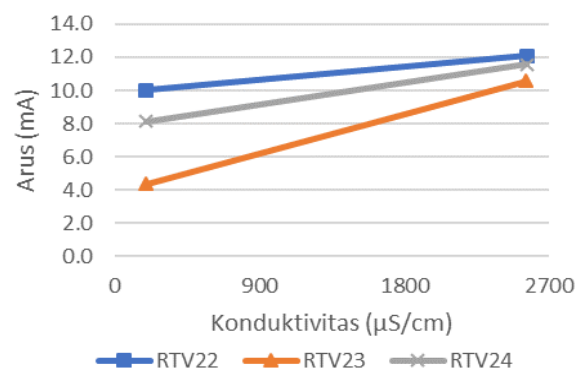


Gambar 16. Grafik rata-rata arus bocor terhadap lama penyinaran *ultraviolet*[12]

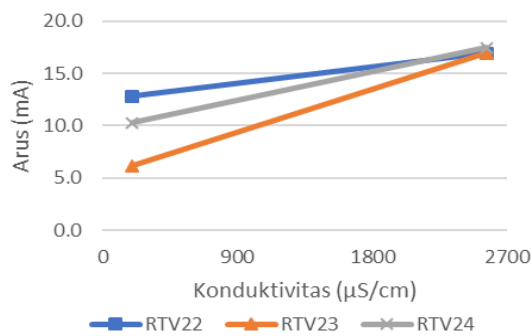
Kenaikan rata-rata arus bocor lucutan awal dan arus puncak disebabkan karena saat isolator terkena sinar *ultraviolet* maka akan terjadi proses penyerapan radiasi yang dapat menyebabkan pemutusan ikatan kovalen pada permukaan isolator sehingga dapat terjadi oksidasi yang menyebabkan terjadinya reaksi kimia pada isolator sehingga mempengaruhi karakteristik isolator.

3.2.2. Pengaruh Kontaminan Berbeda

Berdasarkan data hasil pengukuran pada tabel 6 dapat dibuat perbandingan konduktivitas terhadap arus bocor hasil pengukuran ditunjukkan pada gambar 17 dan gambar 18. Sampel yang digunakan adalah sampel dengan penyinaran 96 jam untuk setiap komposisi dengan asumsi kerusakan tertinggi pada permukaan isolator pada penelitian ini.



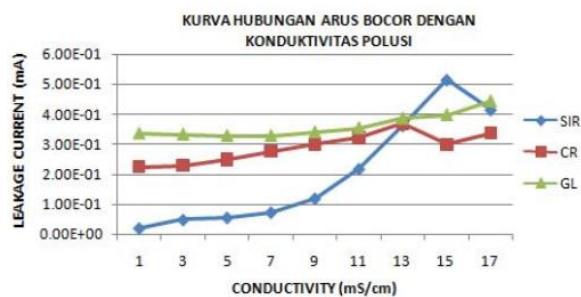
Gambar 17. Grafik arus lucutan awal dengan variasi kontaminan



Gambar 18. Grafik arus puncak dengan variasi kontaminan

Grafik menunjukkan semakin tinggi nilai konduktivitas kontaminan yang digunakan maka akan semakin tinggi pula nilai arus puncak dan arus lucutan awal. Terlihat bahwa kontaminan NH_4Cl memiliki nilai arus puncak dan arus lucutan awal yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontaminan air hujan.

Hasil penelitian yang sama juga ditunjukkan oleh Mustamin (2010), ditunjukkan pada gambar 19. Semakin tinggi nilai konduktivitas yang digunakan akan semakin tinggi pula arus bocornya.



Gambar 19. Grafik arus bocor terhadap konduktivitas [13]

Semakin tinggi nilai konduktivitas kontaminan yang digunakan maka semakin tinggi pula arus bocornya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi konduktivitas kontaminan maka kemampuan hantar listrik juga akan semakin besar, ketika terdapat air kontaminan yang mengalir pada permukaan dan menghubungkan antara elektroda atas dan bawah maka air menjadi jembatan untuk listrik mengalir. Semakin tinggi arus bocor maka akan terjadi pemanasan pada permukaan, terjadi penguapan air sehingga meninggalkan bekas aliran kontaminan mengering yang dapat menyebabkan terjadinya busur api.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran terhadap sampel uji bahan resin epoksi dengan campuran silicone rubber dan fly ash menggunakan kontaminan NH_4Cl dan air hujan dengan penuaan dipercepat didalam lab. Hasil penelitian menunjukkan dengan semakin lama penyinaran ultraviolet maka permukaan isolator akan mengalami

kerusakan yang semakin parah ditunjukkan dengan nilai sudut kontak permukaan isolator yang semakin berkurang. Penyinaran ultraviolet juga menyebabkan kualitas permukaan isolator semakin buruk, dimana dengan penyinaran yang semakin lama maka besar rata-rata arus bocor lucutan awal dan arus puncak pada permukaan isolator akan semakin tinggi. Semakin tingginya arus pada permukaan isolator akan menyebabkan semakin tinggi suhu pada permukaan isolator saat dilakukan pengukuran sehingga semakin mudah terjadinya penjejakan. Dengan kontaminan yang berbeda digunakan kontaminan NH_4Cl dan air hujan menunjukkan semakin tinggi konduktivitas kontaminan yang digunakan maka semakin tinggi rata-rata arus bocor lucutan awal dan arus puncak. Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan bahwa komposisi pengisi fly ash yang digunakan paling optimal pada RTV23 dibandingkan dengan RTV22 dan RTV24.

Pada pembuatan sampel uji perlu dicari cara untuk meminimalisir adanya gelembung udara pada isolator dan agar sampel yang diuji homogen. Penuaan dipercepat pengaruh suhu dan kelembaban sebaiknya juga distabilkan agar lebih mensimulasikan kondisi penuaan alami. Pengukuran dengan kontaminan alami seperti air hujan sebaiknya diturunkan nilai pH nya agar kandungan logam pada kontaminan tidak berkurang hingga 6 bulan.

Referensi

- [1]. Tobing, Bonggas L. Peralatan Tegangan Tinggi. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama. 2003.
- [2]. A. Arismunandar. Teknik Tegangan Tinggi, 4th ed. Jakarta: Pradnya Paramita. 1978.
- [3]. A. Syakur, H. Berahim. Experimental Investigation on Electrical Tracking of Epoxy Resin Compound with Silicone Rubber. *High Voltage Engineering*. 2011; 37(11): 2780-2785.
- [4]. E.A. Cherney, R.S. Gorur. RTV Silicone Rubber Coatings for Outdoor Insulators. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 1999; 6(5).
- [5]. Tumiran, A. Jaya. Accelerated Aging Effect on Epoxy-polysiloxane-Rice Husk Ash Polymeric Insulator Material. *TELKOMNIKA*. 2012; 10(4): 299-611.
- [6]. S. Manjang, R.P. Putera. Electrical and Mechanical Properties of Fly Ash Filled Silicone Rubber for High Voltage Insulator. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2015; 10(7).
- [7]. BS 5604:1986, IEC 587:1984. *Methods for Evaluating Resistance to Tracking and Erosion of Electrical Insulating Materials Used Under Severe Ambient Conditions*. British Standards Institution (BSI); 1999.
- [8]. H. Berahim. Metodologi Untuk Mengkaji Kinerja Isolasi Polimer Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tegangan Tinggi di Daerah Tropis. Disertasi Univ. Gadjah Mada. Yogyakarta; 2005.
- [9]. Hermawan, A. Syakur. *The surface leakage currents analysis of epoxy resin-silane with silica sand filler insulators in the artificial ageing conditions*. 22nd Power Engineering Conference (AUPEC). Bali. 2012.

- [10]. R. Portillo, V.M.S. del Moral. Measuring and Analysis of the Acid Rain Effect on EPDM Insulators. *International Journal of Innovative Research in Science*. 2012; 1(1).
- [11]. F. Guastavino, A.S. Thelakkadan. *Electrical Tracking in Cycloaliphatic Epoxy Based Nanostructured Composites*. IEEE Conference Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. Virginia. 2009.
- [12]. Tumiran, A. Jaya. Accelerated Aging Effect on Epoxy-polysiloxane-Rice Husk Ash Polymeric Insulator Material. *TELKOMNIKA*. 2012; 10(4): 655-666.
- [13]. Mustamin, S. Manjang. Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi di Bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan yang Dipercepat. *Media Elektrik*. 2010; 5(2).