

ANALISIS ARUS BOCOR PADA BAHAN ISOLATOR RESIN EPOKSI CAMPURAN *SILICONE RUBBER* DAN SILIKA ABU SEKAM PADI DENGAN VARIASI TEGANGAN MENGGUNAKAN METODE PENGUKURAN *INCLINED-PLANE TRACKING*

Dzulfikar Ali^{*)}, Abdul Syakur, and Hermawan

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

^{*)E-mail : dzulfikar.ali.94@gmail.com}

Abstrak

Di era globalisasi dan zaman yang semakin berkembang, penggunaan material isolator didalam jaringan transmisi atau distribusi sangat dibutuhkan. Isolator tegangan tinggi seperti porselen, keramik dan kaca sudah sering digunakan. Oleh karena itu penggunaan pengganti material isolator polimer sedang dikembangkan. Salah satu isolator pengganti polimer yang digunakan adalah resin epoksi. Resin epoksi adalah golongan polimer thermoset dimana campuran dua komponen yang akhirnya berbentuk seperti kaca pada temperatur ruang yang mempunyai sifat isolasi listrik yang layak dan juga mempunyai kekedapan air yang tinggi. Resin epoksi memiliki kekuatan dielektrik yang sangat baik dibandingkan porselen, keramik dan kaca. Penggunaan pasir silika dari abu sekam padi dikarenakan komposisi kimia abu sekam padi yang memiliki kandungan silika yang sangat besar hingga 90%. Metode yang digunakan adalah *Inclined-Plane Tracking* dengan standar IEC 587:1984. Dari penelitian tugas akhir ini diperoleh waktu penjejakan bahan isolator semakin lama mencapai batas, nilai sudut kontak yang dihasilkan juga semakin besar antara $71^\circ - 79^\circ$, dan arus bocor rata – rata yang dihasilkan semakin kecil hingga 2 mA. Penggunaan bahan pengisi ini dapat dijadikan isolator, karena arus efektif maksimum kurang dari 50 mA. Komposisi 40% merupakan komposisi yang terbaik.

Kata Kunci : Isolator, Tegangan tinggi, Abu sekam padi, Resin Epoksi Silicone rubber, Arus bocor, Sudut kontak

Abstract

In the era of globalization and the growing age, the use of insulating materials in transmission or distribution line are needed. Polymer high voltage such as porcelain, ceramic and glass is often used. Therefore the use of surrogate polymer insulator material being developed. One replacement insulator polymer used is an epoxy resin. The epoxy resin is a thermoset polymer group in which a mixture of two components that ultimately shaped glass at room temperature which has a decent electrical insulating properties and also has a high watertightness. Epoxy resin has excellent dielectric strength than porcelain, ceramic and glass. Filler material silica sand from rice husk ash due to the chemical composition of rice husk ash which has a very large silica content of up to 90%. The method used is *Inclined-plane Tracking* with standard IEC 587: 1984. From this research obtained time tracking the longer the insulator material reaches the limit, the resulting contact angle values are also getting bigger between $71^\circ - 79^\circ$, and the average current flow getting smaller up to 2 mA. This filler material can be used as an insulator because maximum effective current flow under 50 mA. The composition 40% is the best.

Keywords : Isolator, High voltage, Rice husk ash, Epoxy Resin Silicone rubber, Leakage current, Contact angle

1. Pendahuluan

Pada beberapa tahun terakhir ini kebutuhan masyarakat Indonesia akan energi listrik semakin meningkat sejalan dengan perkembangan teknologi dan pertumbuhan ekonomi. Energi listrik merupakan kebutuhan yang vital bagi kegiatan sehari-hari, hampir semua peralatan membutuhkan energi listrik, dari pengguna rumah tangga

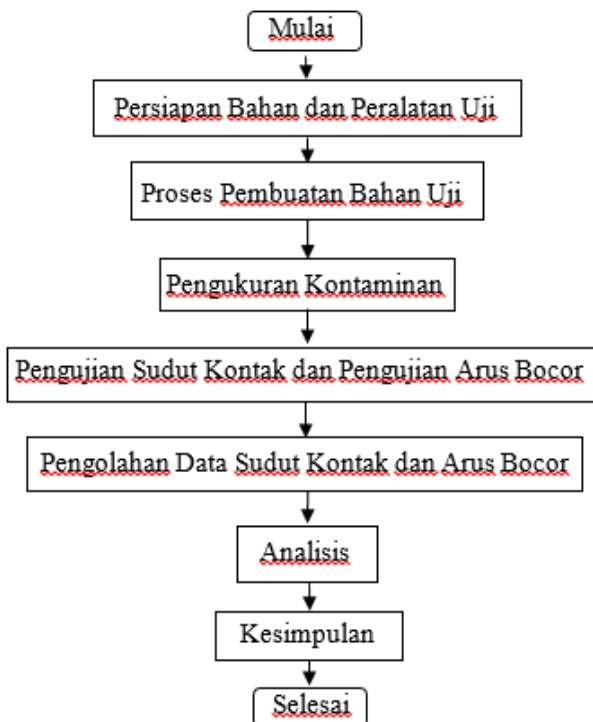
hingga skala industri. Oleh karena itu diperlukan sistem transmisi yang baik untuk dapat menyalurkan energi listrik sampai ke beban. Proses penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit sampai ke beban melewati saluran yang sangat panjang sehingga hasil pengiriman daya listrik tidak akan efisien, karena timbulnya berbagai masalah dalam proses penyaluran tersebut, salah satu masalah tersebut yang tidak dapat di tinggalkan adalah masalah yang timbul

pada penggunaan isolator. Isolator dalam pemakaiannya mengalami penuaan yang diakibatkan oleh pengaruh lingkungan sekitar, seperti adanya perubahan suhu, iklim, radiasi sinar matahari dan lain sebagainya. [1] Isolator penghantar tegangan tinggi mutlak diperlukan, terutama untuk memisahkan bagian yang bertegangan (penghantar) dengan bagian lain, mencakup pengetahuan tentang desain, keamanan dan keandalan dari isolator, serta pengetahuan tentang sifat fisik maupun susunan kimia dari bahan isolator yang akan sangat menentukan sifat dielektrik dari bahan isolator. Dengan perencanaan, analisis dan pengembangan bahan isolator akan memperbaiki keandalan sistem tenaga listrik secara keseluruhan beserta dengan nilai ekonomisnya. [2] Pemilihan jenis isolator yang akan dipergunakan dalam suatu jaringan transmisi maupun distribusi perlu mempertimbangkan karakteristik mekanis maupun elektriknya. Secara mekanis isolator harus kuat menahan beban yang dibebankan pada isolator tersebut, sedangkan secara elektrik harus mampu memisahkan dua bagian yang bertegangan sehingga tidak terjadi kebocoran arus dan hubung singkat atau dalam skala yang lebih tinggi tidak terjadi flashover (lewat denyar). [3]

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

Pada tugas akhir ini terdapat beberapa metode yang di terapkan sebagai dasar metodologi penelitian tugas akhir. Tahapan penelitian dapat di lihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

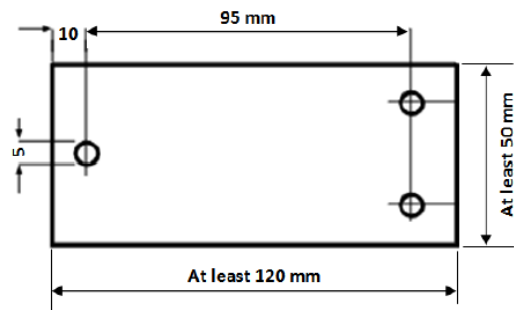
2.2. Pembuatan Sampel Uji

Pembuatan sampel uji terdiri dari bahan DGEBA (*Diglycidyl Ether of Bisphenol-A*) dan MPDA (*Metaphenylenediamine*), *silicon rubber* (silane) dan silika dari abu sekam padi. Komposisi bahan pengisi dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Komposisi bahan penyusun uji sampel

Bahan Pengisi (%)	Komposisi Sampel			
	DGEBA (%)	MPDA (%)	Silicone Rubber (%)	Silika (%)
20	40	40	10	10
30	35	35	15	15
40	30	30	20	20

Contoh sampel yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sampel uji isolator

2.3. Pengukuran Kontaminan

Bahan kontaminan yang digunakan larutan NH_4Cl , Pembuatan kontaminan terdiri dari cairan aquades dan serbuk NH_4Cl . Kontaminan yang digunakan bernilai konduktifitas sebesar $2500 \mu\text{s/cm}$.

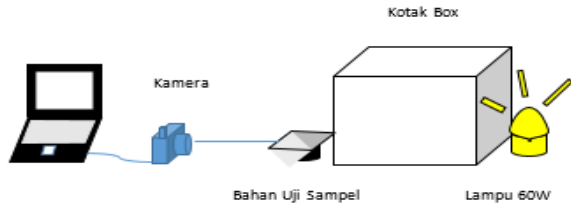


Gambar 3. Pengukuran kontaminan

2.4. Pengukuran Sudut Kontak

Pengukuran sudut kontak ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat permukaan bahan uji. Sifat yang dimaksud adalah sifat hidrofobik. Jika sudut yang didapat

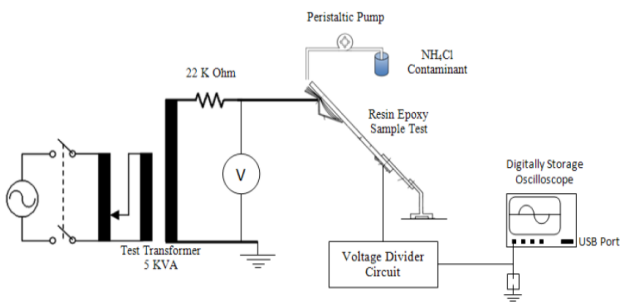
semakin besar, artinya besar kemungkinan bahan tersebut memiliki sifat hidrofobik. Semakin hidrofobik suatu permukaan bahan, maka semakin banyak pula kekuatan bahan untuk menahan air agar tidak masuk ke dalam bahan. Rangkaian pengukuran sudut kontak dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian pengukuran sudut kontak

2.5. Pengukuran Arus Bocor

Untuk mendapatkan data – data arus bocor pada masing – masing sampel, maka dilakukan pengukuran dengan menggunakan metode pengukuran sesuai standar IEC 587:1984[4] yang ditunjukkan pada Gambar 5.



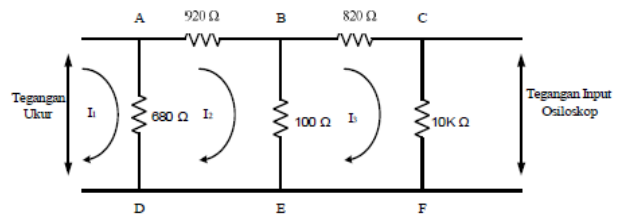
Gambar 5. Rangkaian pengukuran arus bocor [5]

Tabel 2. Nilai resistansi resistor seri

Tegangan Uji (kV)	Tegangan yang dianjurkan untuk metode 1 (kV)	Kecepatan aliran kontaminan (ml/min)	Resistansi resistor seri (kΩ)
1.0 - 1.75	-	0.075	1
2.0 - 2.75	2.5	0.15	10
3.0 - 3.75	3.5	0.30	22
4.0 - 4.75	4.5	0.60	33
5.0 - 6.0	-	0.90	33

Menerapkan tegangan AC 3,25 kV, 3,50 kV dan 3,75 kV yang didapatkan dari pembangkit tegangan tinggi melalui elektroda atas sedangkan elektroda bawah dihubungkan dengan peralatan ukur. Karena tegangan yang diterapkan 3,0 - 3,75 kV maka resistansi resistor yang digunakan 22 kΩ.

Mengukur arus bocor menggunakan osiloskop. Untuk mengatasi tegangan besar masuk kedalam osiloskop, maka digunakan rangkain pembagi tegangan seperti pada Gambar 7.



Gambar 6. Rangkaian pembagi tegangan

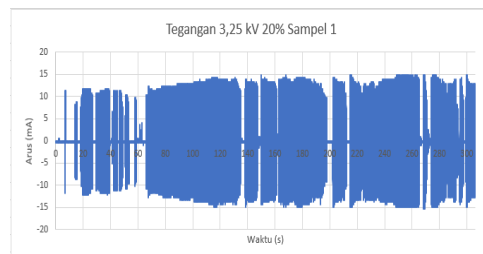
Berdasarkan rangkain pada Gambar 6. maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya arus I_1 dengan nilai tegangan input osiloskop, V_{CF} melalui persamaan berikut:

$$I_1 = 0,025679 V_{CF} \quad (2.1)$$

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

2.6. Pengolahan Data Pengukuran

Data tegangan berupa csv diubah menjadi data arus bocor isolator dengan Persamaan 2.1 Kemudian dilakukan plotting data arus bocor hasil perhitungan sehingga diperoleh bentuk gelombang arus bocor. Berikut contoh hasil plotting gelombang arus bocor pada tegangan 3,25 kV komposisi 20% sampel 1 terlihat pada Gambar 7.

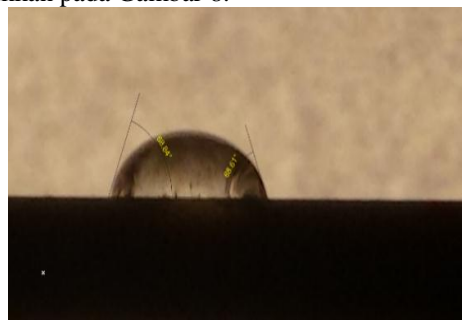


Gambar 7. Hasil plotting gelombang arus bocor

3. Hasil dan Analisa

3.1. Hasil Pengukuran Sudut Kontak

Hasil sudut kontak isolator resin epoksi *silicone rubber* silika abu sekam padi dengan tetesan polutan NH_4Cl ditunjukkan pada Gambar 8.

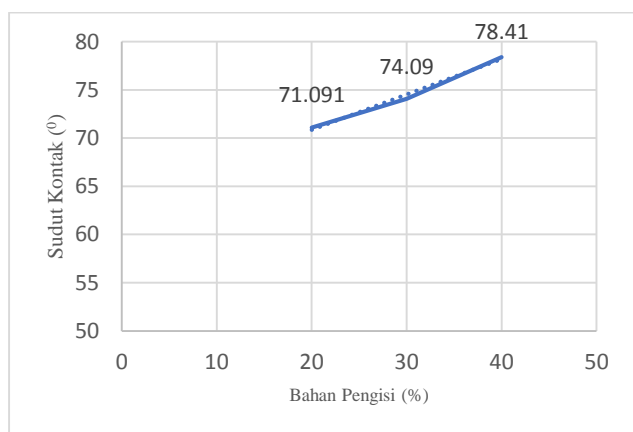


Gambar 8. Pengukuran sudut kontak

Tabel 3. Nilai sudut kontak permukaan isolator polimer resin epoksi *silicone rubber* abu sekam padi dengan polutan NH_4Cl

Komposisi Bahan Pengisi	Sudut Kontak (°)			Derajat (°)
	Kiri	Kanan	Rata - rata	
20%	68,44	68,61	68,525	71,091
	76,26	76,47	76,365	
	69,26	67,51	68,385	
	75,69	77,57	76,63	
30%	76,90	76,06	76,48	74,09
	70,06	68,28	69,17	
	87,12	84,29	77,7	
	80,55	78,62	79,585	
40%	77,66	78,24	77,95	78,41

Dari Tabel 3 dapat dibuat grafik hubungan antara sudut kontak terhadap variasi bahan pengisi



Gambar 9. Grafik hubungan sudut kontak dengan sampel pengisi

Dari Gambar 9 menunjukkan bahwa semakin banyak persentase sampel pengisi, maka sudut kontak yang diperoleh akan semakin besar. Karakteristik resin epoksi memiliki sifat hidrofilik atau menyerap air, yang dapat menyebabkan meningkatnya arus bocor pada permukaan isolator. Sedangkan bahan pengisi *silicone rubber* pada permukaan isolator memiliki sifat hidrofobik sehingga meminimalkan arus bocor pada permukaan isolator. Sifat hidrofobik berbanding lurus dengan nilai sudut kontak suatu bahan uji, Semakin besar nilai sudut kontak maka semakin baik sifat hidrofobik pada bahan uji isolator.

3.2. Hasil Pengujian Arus Bocor

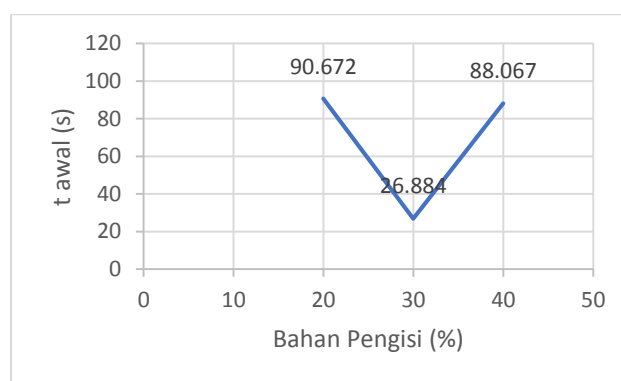
3.2.1. Pengujian Arus Bocor dengan Tegangan 3,25kV

Pengujian arus bocor dengan komposisi bahan uji 20%, 30% dan 40%. Pengukuran dilakukan perbandingan antara t_{awal} , arus bocor rata – rata, dan waktu tracking

Tabel 4. Hasil pengukuran arus bocor dengan tegangan 3,25 kV

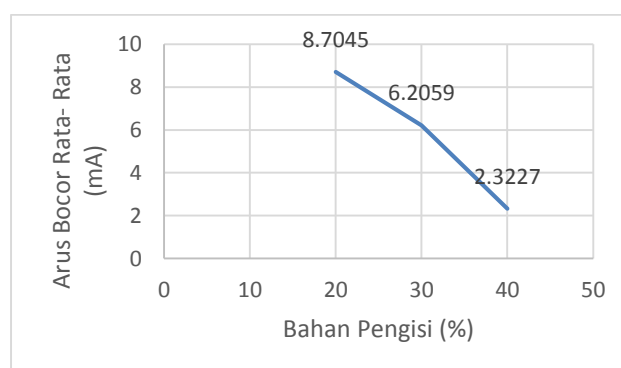
Komposisi Bahan Pengisi	t_{awal} (sekon)	I_{LC} (mA)	$t_{tracking}$ (sekon)
20%	6.954	7.06636	612
	190.498	5.8829	2237
	74.5638	11.5261	2068
Rata - rata	90.672	8.7045	1639
30%	3.273	6.5547	1796
	2.8145	4.4339	2384
	74.5638	7.629	2114
Rata - rata	26.884	6.2059	2098
40%	70.707	2.1684	1660
	81.3116	2.5679	2543
	142.183	2.2448	2404
Rata - rata	88.067	2.3227	2202

Dari Tabel 4 dapat dibuat grafik hubungan antara arus bocor terhadap variasi tegangan



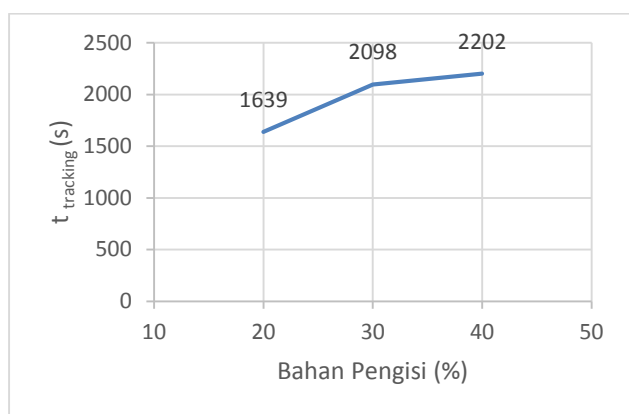
Gambar 10. Grafik hubungan t_{awal} dengan bahan pengisi

Dari Gambar 1. dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi bahan pengisi maka semakin lama lucutan muatannya terjadi, ditandai dengan grafik yang cenderung naik. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan bahan uji semakin hidrofobik seiring dengan bertambahnya persentase bahan pengisi



Gambar 11. Grafik hubungan arus bocor rata - rata dengan bahan pengisi

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi bahan pengisi maka semakin kecil arus bocor rata – rata yang terjadi, ditandai dengan grafik yang cenderung kecil. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan bahan uji semakin hidrofobik seiring dengan bertambahnya persentase bahan pengisi, semakin banyak nilai hidrofobiknya mempengaruhi nilai resistivitas dari bahan uji, Karena nilai resistivitas dari bahan penguji ini mempengaruhi arus yang mengalir di permukaan, arus akan mengalir pada nilai resistansi yang lebih kecil, sehingga arus bocor yang mengalir di permukaan semakin kecil berhubung dengan penambahan bahan pengisi.



Gambar 12. Grafik hubungan t_{tracking} dengan bahan pengisi

Dari Gambar 12 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi bahan pengisi maka semakin lama waktu penjejakan yang terjadi, ditandai dengan grafik yang cenderung naik, waktu penjejakan terjadi saat penjejakan sudah melewati atau melebihi batas 25 mm dari batas elektroda bawah. Berdasarkan dari Tabel 4. nilai arus bocor yang ditunjukkan semakin kecil sehingga menyebabkan proses terjadinya penjejakan lebih lama untuk mencapai batas. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan bahan uji semakin hidrofobik seiring dengan bertambahnya persentase bahan pengisi.

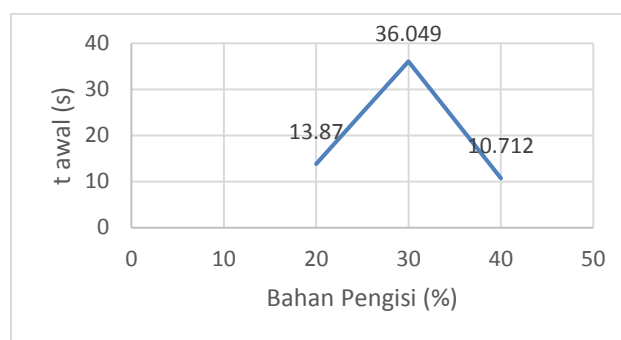
3.2.2. Pengujian Arus Bocor dengan Tegangan 3,5kV

Pengujian arus bocor dengan komposisi bahan uji 20%, 30% dan 40%. Pengukuran dilakukan perbandingan antara t awal, arus bocor rata – rata, dan waktu tracking

Tabel 5. Hasil pengukuran arus bocor dengan tegangan 3,50 kV

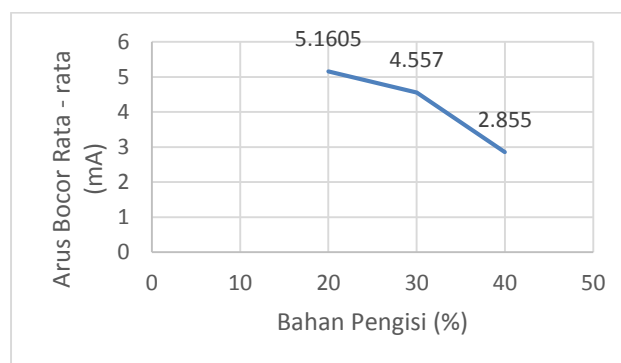
Komposisi Bahan Pengisi	t _{awal} (sekon)	I _{LC} (mA)	t _{tracking} (sekon)
	0.652	4.2437	804
20%	14.027	4.814	442
	26.933	6.424	437
Rata - rata	13.870	5.1605	561
30%	74.257	5.579	792
	30.826	3.930	707
	3.0659	4.163	819
Rata - rata	36.049	4.557	772.667
40%	11.776	3.598	1172
	10.534	2.509	1401
	9.8261	2.441	1614
Rata - rata	10.712	2.850	1395.667

Dari Tabel 5. dapat dibuat garik hubungan antara arus bocor terhadap variasi bahan pengisi



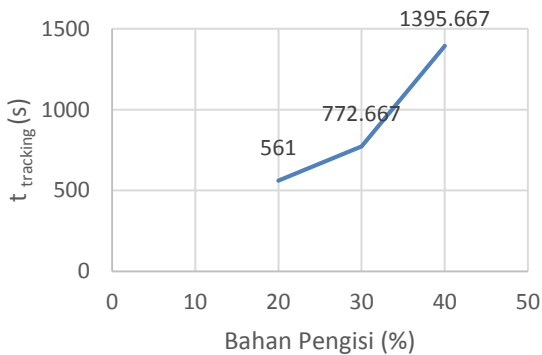
Gambar 13. Grafik hubungan t_{awal} dengan bahan pengisi

Dari Gambar 13 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi bahan pengisi maka semakin lama lucutan muatannya terjadi, ditandai dengan grafik yang cenderung naik. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan bahan uji semakin hidrofobik seiring dengan bertambahnya persentase bahan pengisi.



Gambar 14. Grafik hubungan arus bocor rata - rata dengan bahan pengisi

Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi bahan pengisi maka semakin kecil arus bocor rata – rata yang terjadi, ditandai dengan grafik yang cenderung kecil. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan bahan uji semakin hidrofobik seiring dengan bertambahnya persentase bahan pengisi, semakin banyak nilai hidrofobiknya mempengaruhi nilai resistivitas dari bahan uji, karena nilai resistivitas dari bahan pengujian ini mempengaruhi arus yang mengalir di permukaan, arus akan mengalir pada nilai resistansi yang lebih kecil, sehingga arus bocor yang mengalir di permukaan semakin kecil berhubung dengan penambahan bahan pengisi.



Gambar 15. Grafik hubungan t_{tracking} dengan bahan pengisi

Dari Gambar 15 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi bahan pengisi maka semakin lama waktu penjejakan yang terjadi, ditandai dengan grafik yang cenderung naik, waktu penjejakan terjadi saat penjejakan sudah melewati atau melebihi batas 25 mm dari batas elektroda bawah. Berdasarkan dari Tabel 5. nilai arus bocor yang ditunjukkan semakin kecil sehingga menyebabkan proses terjadinya penjejakan lebih lama untuk mencapai batas. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan bahan uji semakin hidrofobik seiring dengan bertambahnya persentase bahan pengisi.

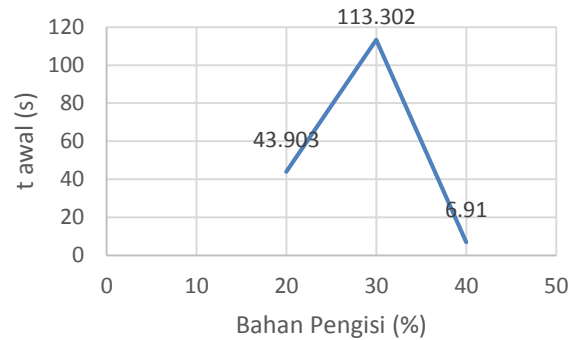
3.2.3. Pengujian Arus Bocor dengan Tegangan 3,75kV

Pengujian arus bocor dengan komposisi bahan uji 20%, 30% dan 40%. Pengukuran dilakukan perbandingan antara t awal, arus bocor rata – rata, dan waktu tracking

Tabel 6. Hasil pengukuran arus bocor dengan tegangan 3,75kV

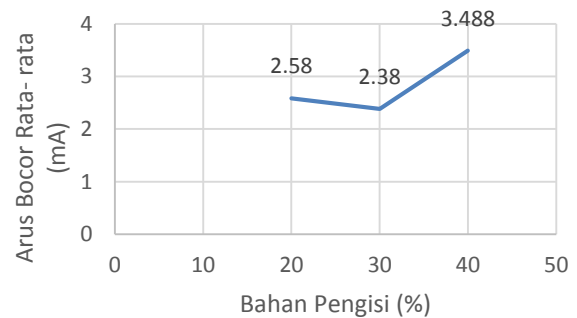
Komposisi Bahan Pengisi	t _{awal} (sekon)	I _{LC} (mA)	t _{tracking} (sekon)
	52.684	1.118	340
20%	58.331	2.600	377
	20.694	4.025	452
Rata - rata	43.903	2.581	389.667
	5.5637	3.169	342
30%	31.63	2.395	520
	302.712	1.582	680
Rata - rata	113.302	2.382	514
	12.59	3.430	1070
40%	4.0156	4.127	459
	4.127	2.906	812
Rata - rata	6.9108	3.488	780.33

Dari Tabel 6. dapat dibuat grafik hubungan antara arus bocor terhadap variasi bahan pengisi



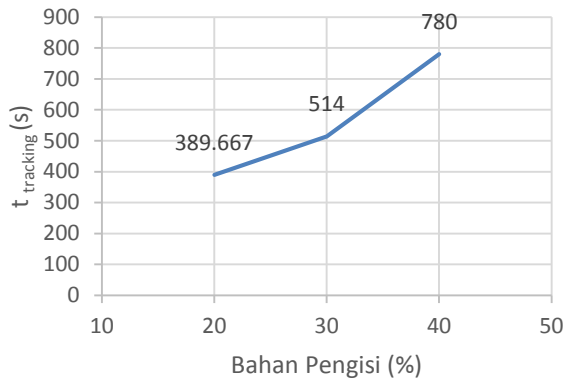
Gambar 16. Grafik hubungan t awal dengan bahan pengisi

Dari Gambar 16 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi bahan pengisi maka semakin lama lucutan muatannya terjadi, ditandai dengan grafik yang cenderung naik. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan bahan uji semakin hidrofobik seiring dengan bertambahnya persentase bahan pengisi.



Gambar 17. Grafik hubungan arus bocor rata - rata dengan bahan pengisi

Dari Gambar 17. dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi bahan pengisi maka semakin kecil arus bocor rata – rata yang terjadi, ditandai dengan grafik yang cenderung kecil. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan bahan uji semakin hidrofobik seiring dengan bertambahnya persentase bahan pengisi, semakin banyak nilai hidrofobiknya mempengaruhi nilai resistivitas dari bahan uji, Karena nilai resistivitas dari bahan pengujian ini mempengaruhi arus yang mengalir di permukaan, arus akan mengalir pada nilai resistansi yang lebih kecil, sehingga arus bocor yang mengalir di permukaan semakin kecil berhubung dengan penambahan bahan pengisi.

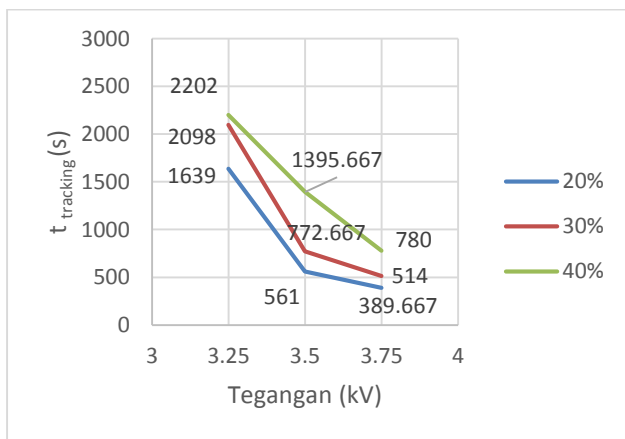


Gambar 18. Grafik hubungan $t_{tracking}$ dengan bahan pengisi

Dari Gambar 18 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi bahan pengisi maka semakin lama waktu penjeakan yang terjadi, ditandai dengan grafik yang cenderung naik, waktu penjeakan terjadi saat penjeakan sudah melewati atau melebihi batas 25 mm dari batas elektroda bawah. Berdasarkan dari Tabel 6. nilai arus bocor yang ditunjukkan semakin kecil sehingga menyebabkan proses terjadinya penjeakan lebih lama untuk mencapai batas. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan bahan uji semakin hidrofobik seiring dengan bertambahnya persentase bahan pengisi.

3.3. Analisis Perbandingan Pengukuran dengan Tegangan 3,25 kV, 3,50 kV, dan 3,75 kV

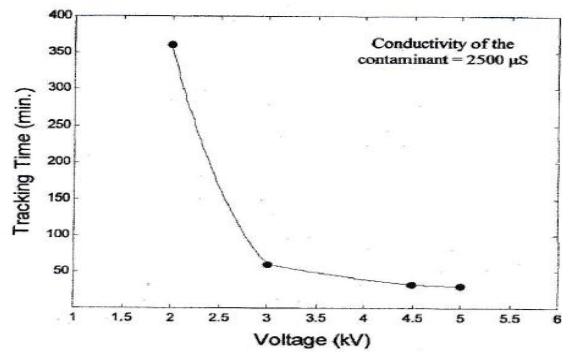
Hubungan antara tegangan terhadap waktu penjeakan adalah semakin banyak tegangan maka semakin lama pula waktu *tracking* ($t_{tracking}$)



Gambar 19. Pengaruh kenaikan tegangan pada $t_{tracking}$ dengan bahan pengisi

pada komposisi yang sama semakin banyak tegangan yang diterapkan maka semakin cepat waktunya. Saat sampel pengisi 20%, pada tegangan 3,25 kV didapatkan waktu akhirnya 1639 detik, pada tegangan 3,50 kV didapatkan waktu akhirnya 561 detik, dan pada tegangan 3,75 kV

didapatkan waktu akhirnya 389 detik. Hal ini membuktikan kenaikan tegangan yang diterapkan dapat berpengaruh waktu terjadinya kegagalan isolasi. Dari Gambar 20 membuktikan bahwa perbandingan antara kenaikan tegangan dengan waktu tracking atau waktu penjeakan berbanding terbalik, bahwa semakin banyak kenaikan tegangan maka semakin cepat waktu akhirnya.

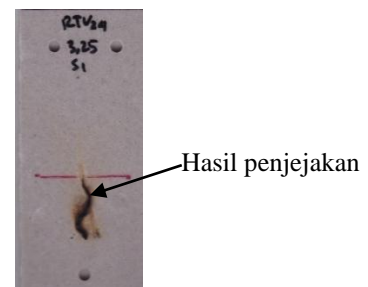


Gambar 20. Variasi dalam waktu penjeakan bahan HDPE memiliki besaran tegangan yang berbeda. [6]

Berdasarkan Gambar 19 dan 20 dapat disimpulkan bahwa

3.4. Penjeakan

Penjeakan permukaan merupakan fenomena khas sampel polimer yang mengandung atom karbon dalam struktur molekulnya, terjadi di permukaan karena peluahan listrik yang dihasilkan dari kontaminasi permukaan. Setelah penjeakan terjadi, sifat isolasi listrik permukaan hilang dan tidak pernah dapat diperbaiki lagi.



Gambar 21. Hasil setelah penjeakan

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan semakin banyak bahan pengisi maka semakin bagus pula sudut kontakannya, sudut kontak mempengaruhi tingkat hidropobik dari suatu bahan, nilai sudut kontakannya antara 71 – 79 °. Karakteristik waktu lucutan awal muatan dipengaruhi oleh nilai resistansi dari permukaan bahan uji, seharusnya seiring besarnya nilai hidrofobiknya maka waktu lucutan awal muatannya semakin lama karena tingkat hidrofobik suatu bahan dapat meningkatnya nilai resistansi, Namun pada

saat pengujian salah satu dari masing – masing komposisi disetiap pengujian waktu lucutan awal muatannya terjadi lebih cepat. Nilai arus bocor rata – rata yang dihasilkan semakin kecil seiring dengan penambahan bahan pengisi, Pada pengujian 3,25 kV dengan komposisi 20%, 30% dan 40% berturut – turut dihasilkan nilai arus bocor sebagai berikut: 8,7045 mA, 6,2059 mA, dan 2,3227 mA. Pada pengujian 3,50 kV dengan komposisi 20%, 30% dan 40% berturut – turut dihasilkan nilai arus bocor sebagai berikut: 5,1605 mA, 4,557 mA, dan 2,850 mA. Pada pengujian 3,75 kV dengan komposisi 20%, 30% dan 40% berturut – turut dihasilkan nilai arus bocor sebagai berikut: 2,581 mA, 2,381 mA, dan 3,488 mA. Penggunaan bahan pengisi *silicone rubber* dan abu sekam padi dapat digunakan sebagai isolator karena arus maksimal tertinggi yang dihasilkan adalah 26,4074 mA pada saat pengujian 3,50 kV pada komposisi 30%, sedangkan batas minimum standar isolator yang digunakan adalah 50 mA saat kondisi basah.

Referensi

- [1]. Tobing, Bonggas, L, 2003, “*Peralatan Tegangan Tinggi*”, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- [2]. Suharno, Jefri Piradipta, “*Degradasi Permukaan Bahan Resin Epoksi Silane Silika Akibat Paparan UV Dan Arus Bocor*”, Skripsi, Universitas Diponegoro, Semarang, 2010.
- [3]. Arismunandar, A., *Teknik Tegangan Tinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta, 2001
- [4]. IEC 587, 1984, “*Methods of Evaluating Resistance to Tracking And Erosion of Electrical Insulating Materials Used Under Severe Ambient Conditions*”, British Standards Institution, British standard (BS).
- [5]. Abdul Syakur, Hamzah Berahim, Tumiran Rochmadi, “*Hydrophobic Contact Angle And Surface Degradation Of Resin Epoxy Resin Compound With Silicon Rubber And Silica*”, University Gadjah Mada, Yogyakarta, 2012
- [6]. R Sarathi, S Chandrasekar, V Sabari Giri, C Venkateshaiah, R Velmurugan, 2004, “*Analysis Of Surface Degradation Of High Density Polyethylene (HDPE) Insulator Material Due To Tracking*”, Indian Institute of Technology Madras, India.