

Pengaruh Kontaminan terhadap Sudut Kontak Hidropobik dan Karakteristik Arus Bocor pada Sampel Isolator Resin Epoksi Silane

Abdul Syakur, Karnoto dan Ratih Wahyu Wijayanti

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof Soedarto Tembalang Semarang 50275

e-mail: gakusei2003@yahoo.com

Abstrak—Isolator polimer menjadi alternatif pengganti isolator keramik karena memiliki sifat dielektrik yang lebih tinggi, kerapatan massanya lebih ringan dan dapat dibuat pada suhu ruangan sehingga secara ekonomis lebih menguntungkan. Sedangkan kelemahannya adalah mudah mengalami degradasi akibat faktor lingkungan seperti radiasi ultraviolet, suhu, kelembaban atau hujan, dan polusi, terutama jika berada di daerah beriklim tropis. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, ditambahkan bahan Silane yang memiliki sifat hidrofobik yang tinggi, bahkan mampu memulihkan sifat hidrofobiknya. Penelitian ini menggunakan bahan polimer resin epoksi yang terbuat dari diglycidyl ether of bisphenol-A (DGEBA), metaphenylene diamine (MPDA), dan silane. Rasio bahan DGEBA+MPDA=60% dan silane=40%. Dimensi bahan uji 120 mm x 50 mm x 5 mm menggunakan metode pengukuran Inclined-Plane Tracking (IPT) sesuai standart IEC 587:1984. Kontaminan yang digunakan NH₄Cl, kontaminan Industri Gresik dan Pantai Parangtritis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel uji yang dialiri kontaminan NH₄Cl secara kontinyu dengan kecepatan aliran 0,3 ml/menit, dengan sudut kontak 86,18° lebih tahan terhadap arus bocor dan kegagalan isolasi, ditunjukkan dengan waktu terjadinya peluahan pada detik ke-17001 dan kegagalan isolasi pada detik ke-17812. Semakin hidrofobik dan semakin tidak konduktif suatu bahan kontaminan, semakin lama arus bocor dan kegagalan isolasi terjadi. Pada peristiwa degradasi permukaan terlihat bahwa sampel yang dialiri kontaminan pantai Parangtritis mengalami kerusakan paling berat dibanding kontaminan lain.

Kata Kunci: Arus bocor, isolator, kontaminan pantai, kontaminan industri.

Abstract— Polymer insulators have become an alternative to change the ceramic insulator because it has a better dielectric properties, mass density is lighter and can be made at room temperature vulcanized so it is economically more advantageous. But, the disadvantage is prone to degradation due to environmental factors such as ultraviolet radiation, temperature, humidity or rain, and pollution, especially if located in the tropical areas. To overcome these disadvantages, silane materials was added to epoxy resin. This study uses an epoxy resin polymer material made of diglycidyl ether of bisphenol-A (DGEBA) and metaphenylene diamine (MPDA) and silane. Ratio of epoxy resin and silane were 60% and 40% respectively. Dimensions of the test material were 120 mm x 50 mm x 5 mm. The Inclined-Plane Tracking (IPT) method according to standard IEC 587:1984 was used. The NH₄Cl and Gresik Industrial and Parangtritis beach contaminants were used in this research to compare it others. The results showed that the test sample with a contact angle 86.18° more resistant to leakage current and insulation failure, it was indicated by the timing of the discharge in 17.001 s and insulation failure in 17.812 s. When a sample tests more hydrophobic then the leakage current and insulation failure longer to occurs. The degradation phenomenon is most severe damage from a beach Parangtritis contaminant than industrial and NH₄Cl contaminants.

Keywords: Leakage Current, Insulators, Coast Contaminant, Industrial Contaminant.

I. PENDAHULUAN

Saat ini bahan isolasi yang telah digunakan secara luas pada sistem tenaga listrik adalah bahan isolasi keramik, porselin dan gelas. Bahan isolator ini mempunyai kelemahan antara lain kerapatan massanya tinggi, suhu pembuatan tinggi, dan permukaan bahannya bersifat menyerap air sehingga lebih mudah terjadi arus bocor pada permukaan yang akhirnya dapat menyebabkan flashover. Salah satu alternatif untuk mengatasi kelemahan porselin

dan gelas adalah digunakan isolator polimer [1]. Kelebihan bahan polimer adalah sifat dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan keramik, porselin dan gelas, kerapatan massanya lebih ringan, dan dapat dibuat pada suhu ruang (*room temperature*) sehingga secara ekonomis lebih menguntungkan [2]. Meskipun memiliki keunggulan, suatu bahan pasti juga memiliki kelemahan. Demikian halnya dengan polimer, kekurangannya adalah mudah mengalami degradasi akibat faktor lingkungan, seperti paparan radiasi sinar ultraviolet, suhu, kelembaban atau hujan, keadaan

udara, dan polusi, terutama jika berada di daerah beriklim tropis [1,2]. Untuk mengatasi kelemahan pada isolator polimer, ditambahkan bahan *Silane* atau *Silicone rubber* yang memiliki sifat hidrofobik yang tinggi, bahkan mampu memulihkan sifat hidrofobiknya sehingga pada kondisi lembab tidak terbentuk lapisan air yang kontinyu sehingga konduktifitas permukaan isolator tetap rendah, dengan demikian arus bocor sangat kecil. Selain itu memiliki sifat dielektrik yang baik, sangat ringan, mudah penanganan dan pemasangannya [3].

Dalam operasinya sebagai isolator pasangan luar (*outdoor insulator*), sering kali jaringan maupun transmisi melalui daerah / kawasan pantai dan industri. Daerah ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja sebuah material isolasi [3]. Adanya kontaminan garam dan bahan kimia di udara dapat menempel pada permukaan material isolasi pasangan luar sehingga dapat terjadi kristalisasi yang menyebabkan bertambahnya kekasaran permukaan material isolasi. Saat terjadi hujan larutan kontaminan dapat membentuk jalur konduktif sehingga menyebabkan arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator tersebut. Adanya arus bocor merupakan peristiwa awal yang dapat mengakibatkan degradasi permukaan isolator yang lama-kelamaan menyebabkan terjadinya flashover atau kegagalan sebuah isolator [4]. Oleh karena dilakukan penelitian mengenai unjuk kerja sampel isolator berbahan polimer resin epoksi silane ketika dikenai kontaminan yang berbeda-beda.

Makalah ini melaporkan hasil penelitian pengaruh kontaminan yang berbeda-beda terhadap unjuk kerja isolator. Kontaminan yang digunakan adalah NH_4Cl , kontaminan pantai parangtritis dan kontaminan industri semen gresik. Sedangkan parameter unjuk kerja isolator yang diamati adalah sudut kontak hidrofobik dan arus bocor. Berdasarkan data sudut kontak dan arus bocor yang diperoleh digunakan untuk analisa unjuk kerja isolator pada saat dikenai kontaminan yang berbeda-beda.

II. METODOLOGI

A. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan adalah resin epoksi dengan *DGEBA* (*Diglycidyl Ether of Bisphenol A*) sebagai bahan dasar, *MPDA* (*Metaphenylenediamine*) sebagai bahan pengeras dengan perbandingan DGEBA: MPDA= 30%:30%, dan silane= 40%.

Kontaminan berupa NH_4Cl (*ammonium chloride*), kontaminan Industri Gresik, dan kontaminan Pantai Parangtritis[7]. Kontaminan Industri Gresik dan kontaminan Pantai Parangtritis mengandung senyawa KCl, NaCl, CaCl_2 , dan $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, dengan konduktivitas kontaminan Industri Gresik = 3190 μS , dan konduktivitas kontaminan Pantai Parangtritis = 5700 μS .

B. Peralatan Penelitian

- Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: Seperangkat alat pencetak bahan uji (kaca, kertas mika, pengaduk, tempat mencampur bahan uji).
- Seperangkat alat untuk mengukur sudut kontak (Kotak lampu dengan lampu 1000W, pipet tetes 50 μl , tempat menaruh kontaminan, kaca)
- Seperangkat alat untuk pengujian arus bocor (Elektroda atas dan elektroda bawah yang terbuat dari aluminium (*stainless steel*), Support, untuk meletakkan sampel yang telah dijepit elektroda, kertas saring, Pompa peristaltik (*peristaltik pump*))

- Transformator AC
- Osiloskop
- Kamera
- Seperangkat komputer

C. Pengukuran

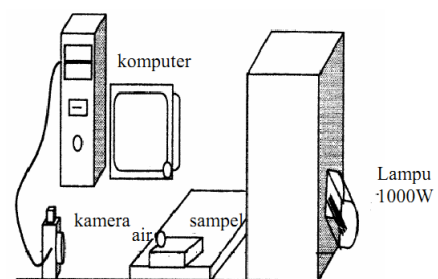
1) Pengukuran Sudut Kontak

Pengujian sudut kontak ini menggunakan kamera digital untuk memotret bahan uji. Pengujian sudut kontak ini dimaksudkan untuk menentukan sifat permukaan bahan uji, bersifat hidrofobik atau hidrofilik. Sudut hidrofobik mencerminkan sifat kedap air dari permukaan bahan, semakin besar sudut hidrofobik, maka semakin baik sifat bahan untuk dapat menahan air tidak masuk ke dalam bahan isolator [3].

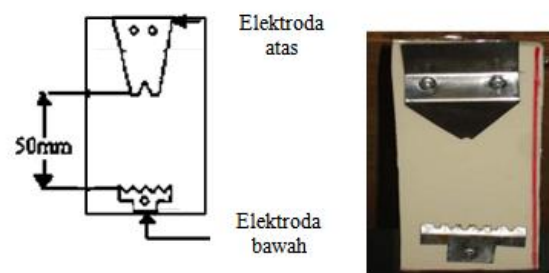
2) Pengukuran Arus Bocor

Pengukuran arus bocor pada sampel bahan resin epoksi silane dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Memasang elektroda atas dan elektroda bawah pada bahan uji dan diberi jarak antar elektroda 50 mm, seperti Gambar 2. Pada bagian elektroda atas diberi kertas saring 8 layer. Bagian permukaan bahan uji yang rata diletakkan menghadap bawah dengan sudut 45° terhadap sumbu horizontal.
- Mengatur kecepatan aliran kontaminan 0.3 ml/menit menggunakan pompa peristaltik dan mengalirkannya ke bahan uji melalui kertas saring yang telah dijepitkan di antara bahan uji dan elektroda tegangan tinggi.
- Elektroda atas dihubungkan dengan pembangkit tegangan tinggi AC 3,5 kV dan elektroda bawah dihubungkan dengan peralatan ukur.
- Mengukur arus bocor menggunakan osiloskop. Untuk pengukuran arus bocor ini digunakan rangkaian pembagi tegangan seperti Gambar 3. Hasil ukur arus bocor dihitung dengan persamaan berikut :



Gambar 1. Rangkaian pengujian sudut kontak



Gambar 2. Penempatan elektroda pada bahan uji.

$$I_{LC} = 0,0272853 V_{CF} \quad (2)$$

dengan : I_{LC} = arus bocor (mA)

V_{CF} = tegangan terbaca di osiloskop (mV).

Rangkaian pengujian arus bocor dengan metode IPT[5,6] dan posisi elektroda, kertas saring dan sampel pada saat pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. 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 Image Pro Plus untuk mendapatkan sudut kontak pada sisi kanan dan sisi kiri sampel uji yang diukur. Contoh perhitungan sudut kontak hidrofobik.

Berdasarkan Gambar 6 tersebut dapat diukur dan dihitung sudut kontak rata-rata sebagai berikut :

Sudut kontak kiri = $81,96^\circ$
 Sudut kontak kanan = $80,44^\circ$
 Maka sudut kontak dapat ditentukan sebagai berikut,

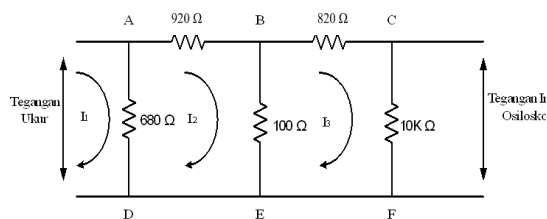
$$\text{Sudut Kontak} = \frac{\text{sudut kontak kiri} + \text{sudut kontak kanan}}{2} = \frac{81,96^\circ + 80,44^\circ}{2} = 81,2^\circ$$

Hasil pengukuran dan perhitungan sudut kontak hidrofobik bahan uji resin epoksi silane terhadap variasi kontaminan dapat dilihat pada Tabel 1.

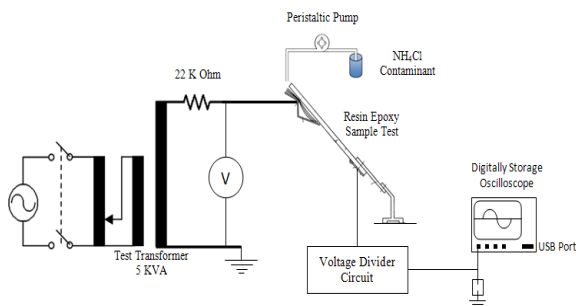
Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa nilai sudut kontak berkisar antara 79° sampai dengan 87° . Ini dapat dikategorikan bersifat *partially wetted* (basah sebagian). Juga dapat diketahui bahwa sampel uji resin epoksi *silane* yang ditetesi kontaminan NH_4Cl memiliki rata-rata sudut hidrofobik paling besar dibanding dengan sampel lain, yaitu sebesar $86,18^\circ$.

B. Pengujian Arus Bocor

Hasil pengujian arus bocor ini ditunjukkan oleh gambar



Gambar 3. Rangkaian pembagi tegangan



Gambar 4. Rangkaian sistem pengukuran arus bocor.



Gambar 5. Posisi elektroda, kertas saring dan sampel

TABEL I
HASIL PENGUJIAN SUDUT KONTAK

Kontaminan	sudut kontak		rata-rata	θ
	kiri (derajat)	kanan (derajat)		
NH_4Cl	87,34	82,72	85,03	86,18
	87,40	87,27	87,34	
Gresik	83,90	80,68	82,29	81,54
	82,48	79,08	80,78	
Parangtritis	81,96	80,44	81,20	81,07
	80,91	80,96	80,94	

TABEL II
WAKTU ARUS BOCOR PERTAMA DAN ARUS SAAT BREAKDOWNS

Kontaminan	t awal		I awal		t breakdown	
NH_4Cl	18131	17001	0,273	0,389	18724	17812
	15871		0,505		16899	
Gresik	8137	6087	0,709	0,798	19297	12318
	4037		0,887		5339	
Parangtritis	5017	7732	0,368	0,737	5808	11480
	10447		1,105		17152	

Kontaminan	I breakdown		I _{LC}	
NH_4Cl	2,51	2,33	0,95	0,77
	2,16		0,59	
Gresik	0,35	0,47	0,26	0,33
	0,59		0,41	
Parangtritis	1,26	1,78	0,62	0,42
	2,31		0,23	

gelombang tegangan pada osiloskop. Nilai gelombang tegangan ini merupakan tegangan masukan osiloskop dari rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan diperlukan untuk mengatasi *input* tegangan besar masuk ke dalam osiloskop. Hasil pengukuran arus bocor ditunjukkan pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa bahan uji yang dialiri kontaminan NH_4Cl , arus bocor pertama rata-rata terjadi pada detik ke-17001, lebih lama daripada bila sampel dialiri kontaminan Industri Gresik dan kontaminan pantai Parangtritis. Hal ini menunjukkan bahwa sampel RES 40% yang dialiri kontaminan NH_4Cl lebih tahan terhadap arus bocor dibandingkan sampel yang lain. Namun, nilai arus bocor pertama I_{awal} memiliki nilai rata-rata lebih kecil daripada bila sampel tersebut dialiri kontaminan industri Gresik dan pantai Parangtritis, yaitu sebesar 0,389 mA.

Pada variabel waktu terjadinya *breakdown* (kegagalan isolasi), terlihat bahwa sampel yang dialiri kontaminan NH_4Cl lebih mampu bertahan dari kegagalan isolasi

dengan arus kegagalan rata-rata mencapai 2,33 mA.

Arus bocor rata-rata (I_{LC}) didapatkan dari rata-rata arus yang terjadi sejak arus bocor awal hingga arus yang terjadi saat *breakdown* dibagi dengan waktu antara waktu terjadinya arus bocor awal hingga waktu *breakdown*. Dari data terlihat bahwa sampel uji yang dialiri kontaminan NH_4Cl memiliki nilai I_{LC} paling besar.

Dari pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa semakin besar arus yang mengalir pada permukaan bahan uji, maka semakin cepat terjadi arus bocor pada permukaan. Semakin cepat arus bocor terjadi, maka makin cepat pula terjadi kegagalan isolasi.

C. Hubungan Sudut Kontak dengan Waktu Awal Terjadinya Arus Bocor dan Arus Bocor Rata-rata

Berdasarkan Tabel 3 dapat dibuat grafik seperti pada gambar 7.

Dari Gambar 7 terlihat bahwa sampel uji yang dialiri NH_4Cl memiliki sudut kontak yang paling besar dibanding sampel lain, yaitu sebesar $86,18^\circ$. Sehingga dapat dikatakan sampel tersebut lebih hidrofobik daripada sampel yang lain.

Selain itu juga dapat diamati bahwa pada bahan uji yang dialiri kontaminan NH_4Cl dengan nilai sudut kontak paling besar dibanding sampel lain, mampu bertahan hingga detik ke-17001, sampai akhirnya terjadi arus bocor.

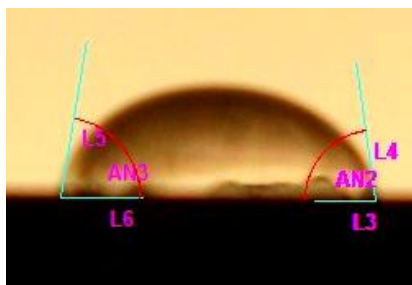
Jadi, semakin hidrofobik permukaan suatu bahan uji, maka semakin lama waktu terjadinya arus bocor. Hal ini disebabkan, semakin hidrofobik permukaan suatu bahan uji, maka semakin sulit polutan menempel pada permukaan bahan tersebut. Hubungan sudut kontak (θ) terhadap arus bocor rata-rata (I_{LC}) diberikan pada Gambar 8.

Dari Gambar 8 dapat diamati bahwa pada sampel uji yang dialiri kontaminan NH_4Cl dengan sudut kontak terbesar, memiliki arus bocor rata-rata yang paling besar dibandingkan sampel yang lain, yaitu 0,767 mA.

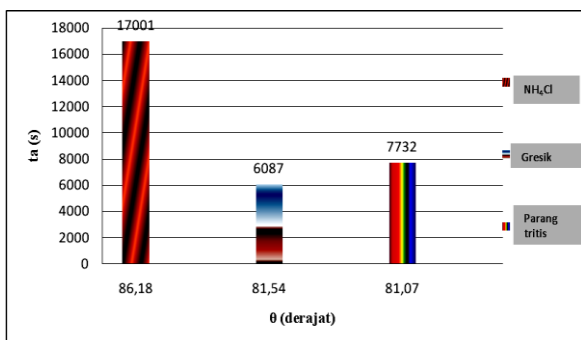
Jadi semakin besar sudut kontak permukaan suatu bahan uji, maka arus bocor rata-ratanya semakin besar. Hal ini disebabkan semakin hidrofobik suatu bahan uji, maka semakin lama arus bocor pertama terjadi. Semakin lama arus bocor pertama terjadi mengakibatkan arus bocor rata-ratanya menjadi lebih besar nilainya.

D. Degradasi Permukaan

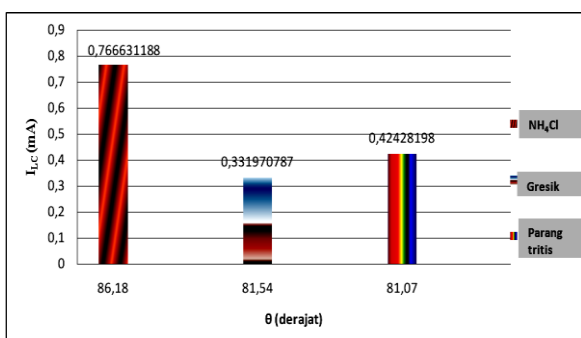
Degradasi / penuaan didefinisikan sebagai kerusakan yang sudah tidak dapat diperbaiki. Pada penelitian yang telah dilakukan, terjadi pelepasan muatan di permukaan. Pelepasan muatan ini diikuti dengan terjadinya percikan api yang memicu terjadinya karbonisasi sehingga membentuk jalur konduksi yaitu jejak karbon dari elektroda pentanahan ke elektroda tegangan tinggi. Selain itu, terjadi pula kerusakan atau erosi pada permukaan membentuk pola



Gambar 6. Pengukuran Sudut kontak resin epoksi dengan kontaminan Pantai Parangtritis



Gambar 7. Grafik sudut kontak (θ) terhadap waktu arus bocor pertama (t_a)



Gambar 8. Grafik sudut kontak (θ) arus bocor rata-rata (I_{LC})

TABEL III
HASIL PENGUJIAN WAKTU DAN ARUS BOCOR PERTAMA

Kontaminan	sudut kontak (derajat)	t awal (detik ke-n)	I_{LC} (mA)
NH_4Cl	86,18	17001	0,766631188
Industri Gresik	81,54	6087	0,331970787
Pantai Parangtritis	81,07	7732	0,42428198

Gambar 9. Kondisi permukaan dialiri kontaminan NH_4Cl 

Gambar 10. Kondisi permukaan dialiri kontaminan Gresik



Gambar 11. Kondisi permukaan dialiri kontaminan Parangtritis

filamen yang menghasilkan pepohonan listrik.

Berdasarkan Gambar 9, 10 dan 11 dapat dilihat bahwa pada bahan uji yang dialiri kontaminan pantai Parangtritis terjadi degradasi permukaan yang paling buruk daripada sampel yang lain. Dapat disimpulkan bahwa tegangan tinggi yang diberikan dan kontaminan yang dialirkan pada permukaan bahan uji menyebabkan terbentuknya jejak karbon permanen yang berawal dari sisi tegangan

elektroda pentanahan menuju ke elektroda tegangan tinggi. Hal ini disebabkan karena arah aliran elektron secara aktual adalah dari elektroda negatif ke elektroda positif

IV. KESIMPULAN

Sampel uji yang dialiri kontaminan NH_4Cl memiliki sudut kontak paling besar, yaitu $86,18^\circ$ lebih besar daripada sampel lain. NH_4Cl merupakan garam yang terdiri dari basa lemah dan asam kuat. Unsur hidrogen pada senyawa NH_4Cl , bila bereaksi dengan resin epoksi *silane* yang juga mengandung unsur hidrogen, akan membuat permukaan sampel uji terlapisi. Akibatnya polutan akan sulit menempel pada permukaan sampel uji. Semakin sulit polutan menempel pada permukaan, maka semakin besar sudut kontak yang terbentuk.

Dengan nilai sudut kontak paling besar, sampel ini mampu bertahan hingga detik ke-17001, dengan arus sebesar 0,389 mA dan waktu kegagalan isolasi hingga detik ke-17812 dengan arus kegagalan rata-rata mencapai 2,33 mA. Jadi, semakin lama arus bocor awal terjadi, maka semakin lama pula terjadi kegagalan isolasi

Selain itu, nilai arus bocor rata-rata (I_{LC}) pada sampel ini paling besar dibandingkan sampel yang lain, yaitu 0,767 mA. Sehingga semakin besar sudut kontak permukaan suatu bahan uji, maka semakin sulit terjadi kebocoran arus dan arus bocor rata-ratanya semakin besar. Hal ini disebabkan karena bahan uji bersifat hidrofobik.

Dari pengujian juga terlihat bahwa sampel yang dialiri kontaminan pantai Parangtritis membutuhkan waktu penjejakan hingga 3749 s. Nilai tersebut lebih rendah daripada sampel yang dialiri kontaminan industri Gresik, tetapi lebih tinggi dibanding sampel yang dialiri kontaminan NH_4Cl . Hasil pada pengujian pada waktu penjejakan ini tidak sesuai dengan kesimpulan sebelumnya. Degradasi permukaan yang paling buruk terjadi pada sampel yang dialiri kontaminan pantai Parangtritis

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gorur, R.S., E.A. Cherney and J.T. Burnham, Outdoor Insulators. Ravi, Inc., Arizona 85044 USA, 1999.
- [2] M. Amin, M. Akbar, M. Salman, Composite insulators and their Aging : An Overview, Science in China Seri E Technology Science, December 2007, Vol.50, No. 6 p. 697-713.
- [3] Hamzah Berahim, Methodology to assess the performance of silane epoxy resin insulating polymer as high voltage insulator materials in the tropical areas. Dissertation doctorate degree at Department of Electrical Engineering, Gadjah Mada University, 2005, Indonesia
- [4] Tumiran, Abdul Syakur, Hamzah Berahim, Rochmadi, *Effect of Contamination on the Formation of Electrical Tracking on Resin Epoxy Materials*, 15th ACED Asia Conference on Electrical Discharge, Xian, China, 2010.
- [5] Syakur, Abdul., Rochmadi, Tumiran, Hamzah Berahim, *Study on Electrical Tracking of Epoxy Resin Insulating Material Using Inclined-Plane Tracking Method*, CITEE 2010, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2010.
- [6] 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).
- [7] PT PLN (Persero), *SPLN 10-3B Tingkat Intensitas Polusi Sehubungan dengan Pedoman Pemilihan Isolator*, Jakarta, 1993.