

Pengujian Karakteristik Limbah Pasir PLTP Dieng Sebagai Bahan Pengisi Isolator Resin Epoksi Silane

Abdul Syakur¹, Tumiran², Hamzah Berahim², Rochmadi³

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada

²Dosen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

³Dosen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jln. Grafika 2 Yogyakarta, *Email: gakusei2003@yahoo.com

Abstract—Epoxy resin has been developed as an insulator material on the distribution and transmission line. In its development, the basic composition of DGEBA epoxy resin with MPDA as hardener is hydrophilic. Silane is added to improve the surface properties of materials to be more hydrophobic. To reduce the volume of epoxy resin as base material, silica sand from PLTP Dieng is added as filler. This paper presents the results of research on the effect of adding the composition of silica materials from PLTP Dieng upon silane epoxy resin sample to the value of the dielectric loss factor, contact angle and leakage current. Samples were prepared with a sample size 120mm x 50mm x 5mm. Material is composed of DGEBA, MPDA, silanes and silica with a various composition. Sample codes were 10%, 20%, 30%, 40% and 50%. Contact angle and leakage current were carried out according with IEC 587:1984 standards. Measurement of the dielectric loss factor ($\tan \delta$) was carried out at the Laboratory of High Voltage Engineering, PT. PLN (Persero) Electricity R & D, Duren Tiga Jakarta, using a measuring instrument series M4100 Insulation Analyzer Instrument. The electrodes used in these measurements have diameter of 2.5 cm and 5 cm. The results showed that the composition of silica materials PLTP Dieng upon silane epoxy resin samples affect the value of dielectric loss factor. Based on the results of the measurement, it is concluded that the higher composition of silica materials, the higher value of dielectric loss factor are. Based on these results, it is suggested that the use of silica as a filler must consider the effect on the value of dielectric loss factor. When the dielectric loss factor is high, then the losses in the dielectric material is also high.

Keywords: contact angle, leakage current, silica, resin epoxy, dielectric loss factor.

I. PENDAHULUAN

Salah satu peralatan penting dalam system tenaga listrik adalah isolator yang berfungsi untuk mengisolasi konduktor dengan konduktor, juga konduktor terhadap bodi menara agar dalam hal gradien medan tinggi, tidak terjadi lompatan listrik atau lewat denyar (*flashover*) atau percikan (*sparkover*). Sebagian besar isolator digunakan di luar ruangan sehingga sangat rentan terhadap pengaruh lingkungan. Berdasarkan hasil penelitian Berahim[1], kondisi cuaca berpengaruh terhadap tegangan lewat denyar atau medan listrik. Kondisi cuaca tersebut meliputi kelembaban, panas matahari, hujan, pengembunan, pengotoran karena debu pabrik maupun karena

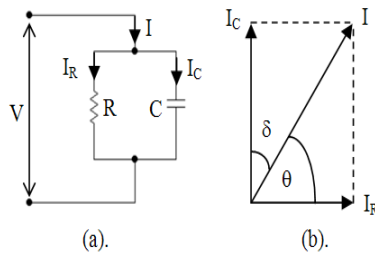
penggaraman di sekitar pantai. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian terhadap bahan isolasi yang akan digunakan sebagai bahan isolator. Bahan isolasi yang digunakan adalah resin epoksi diglycidyl ether bisphenol-A (DGEBA) dengan pematang methaphynilene diamine (MPDA). Untuk memperbaiki permukaan bahan ditambahkan silane dan sebagai bahan pengisi ditambahkan pasir Silika. Pengamatan terhadap unjuk kerja isolator dengan melakukan pengukuran sudut kontak hidropobik, arus bocor dan rugi dielektrik.

Makalah ini menyajikan hasil pengujian karakteristik listrik bahan isolasi resin epoksi silane yang telah diisi bahan silika limbah PLTP Dieng. Parameter yang diuji adalah arus bocor dan konstanta rugi-rugi dielektrik atau $\tan \delta$. Analisa pengaruh komposisi bahan terhadap nilai konstanta rugi dielektrik dilakukan berdasarkan data-data hasil pengukuran.

II. LANDASAN TEORI

A. Konstanta Rugi Dielektrik ($\tan \delta$)

Salah satu karakteristik penting dalam bahan isolasi adalah konstanta rugi dielektrik $\tan \delta$. Untuk mengetahui nilai konstanta rugi dielektrik, dilakukan pengukuran $\tan \delta$. Pengukuran $\tan \delta$ ini termasuk jenis pengujian tidak merusak[2,3]. Nilai konstanta rugi dielektrik ini terjadi jika terdapat perubahan arah medan elektrik yang berulang-ulang. Secara umum rugi-rugi dielektrik diduga kuat disebabkan oleh adanya electron bebas dalam isolasi. Keberadaan elektron bebas inilah yang menyebabkan adanya arus konduksi. Apabila arus konduksi makin besar, maka sudut rugi-rugi dielektrik makin besar. Bahan isolasi yang baik adalah yang memiliki $\tan \delta$ kecil, karena magnitude dari vektor arus bocor (I_r) lebih kecil daripada vektor arus kapasitif (I_c), sehingga sudut rugi-rugi δ sangat kecil. Untuk menentukan respon bahan dielektrik terhadap tegangan AC, maka bahan dielektrik dimodelkan dengan suatu rangkaian RC parallel. Nilai R menunjukkan bagian rugi-rugi dari bahan dielektrik yang berasal dari konduktivitas elektronik dan ionic, orientasi dipole, polarisasi muatan; sedangkan nilai C adalah kapasitansi yang muncul dari bahan dielektrik itu sendiri. Rangkaian ekuivalen parallel dan diagram fasor bahan dielektrik ditunjukkan pada gambar 1a dan 1b.



Gambar 1 (a).Rangkaian ekuivalen (b). Diagram fasor.

Berdasarkan vektor pada gambar 1b. maka $\tan \delta$ dapat ditentukan nilainya sebagai berikut :

$$\tan \delta = 1 / j\omega.R.C \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1) tersebut, nilai $\tan \delta$ dipengaruhi oleh nilai R, C dan frekuensi dari tegangan yang diterapkan.

B. Rugi-rugi Dielektrik (P_d)

Rugi-rugi dielektrik (P_d) menimbulkan panas yang dapat menaikkan temperatur dielektrik dan pada akhirnya dapat mempercepat penuaan dielektrik.

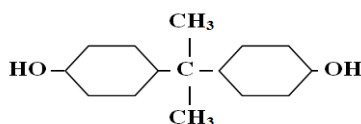
$$P_d = \{ \omega.C.V / \cos \delta \}.V. \sin \delta = V^2. \omega. C. \tan \delta \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan 2, diketahui rugi-rugi dielektrik (P_d) tergantung pada frekuensi tegangan sumber; sehingga rugi-rugi dielektrik tidak terjadi jika dielektrik dihubungkan ke sumber tegangan searah. Rugi-rugi dielektrik sebanding dengan faktor rugi dielektrik ($\tan \delta$) dan nilai kapasitansi bahan (C), sehingga jika $\tan \delta$ bernilai makin besar, maka rugi-rugi dielektrik makin besar[4], demikian juga jika kapasitansi bahan makin besar, rugi-rugi dielektrik makin besar.

C. DGEBA

Resin epoksi merupakan polimer termoset terdiri dari dua zat yang dicampur dan bentuknya seperti kaca pada suhu kamar, yang memiliki kekuatan elektris isolasi serta tahan terhadap air. Epoksi adalah grup-grup polimer yang akhirnya mengandung tiga ring epoksida seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Epoksi memiliki banyak jenis, antara lain : *bisphenol A*, *cycloaliphatic resin*, *novalac resin*, *phenolic resin* dan sebagainya. *Bisphenol A* merupakan polimer resin epoksi yang pertama kali digunakan dalam isolasi *outdoor*. DGEBA dijual secara komersial dalam bentuk cairan yang

Gambar 2. Struktur *bisphenol A*

bening, dapat dirubah menjadi produk termoset bila direaksikan dengan suatu agen pematangan, dengan vulkanisasi suhu ruangan (*room temperature vulcanized = RTV*) antara 5°C sampai 80°C. DGEBA yang dijual dalam bentuk padat dapat diproses pada suhu yang lebih tinggi (*room temperature vulcanized = HTV*) antara 100°C - 300°C.

D. MPDA

Bahan dasar isolasi resin epoksi, yakni DGEBA diperoleh dari reaksi *epichlorohydrin* dan *bisphenol-A* tidak dapat membentuk ikatan silang, sehingga harus direaksikan dengan suatu agen pematangan atau yang disebut bahan pengeras (*hardener*), melalui proses vulkanisasi suhu ruang maupun vulkanisasi suhu tinggi.

Secara fungsi, pematangan pada resin epoksi dibedakan menjadi tiga grup utama, yaitu :

1. Grup *Hidroksil* (R – OH)
2. Grup *Amine*
3. Grup *Acid Anhydride*

Reaksi pematangan terjadi melalui gugus epoksi dari bahan dasar dan gugus reaktif dari bahan pengeras. Reaksi antara bahan dasar resin epoksi dengan agen pematangan kelompok asam anhidrida merupakan reaksi yang lebih kompleks dibandingkan dengan agen pematangan kelompok amina.

MPDA merupakan bahan berwarna kuning terang yang mempunyai berat molekul 108, dengan struktur kimianya dapat dilihat pada gambar 3:

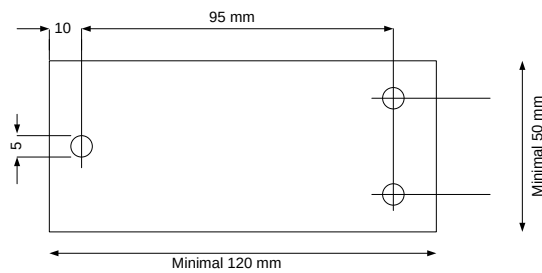
E. Silika PLTP Dieng

Lumpur silika hasil pengendapan dari fluida limbah PLTP Dieng perlu diupayakan untuk dapat dimanfaatkan. Kandungan silika yang tinggi dapat digunakan untuk bahan pembuatan gelas. Akan tetapi pemanfaatan lumpur silika untuk bahan gelas perlu mempertimbangkan unsur pengotor terutama yang berpotensi mencemari lingkungan, seperti kandungan Hg, As, dan Sb.

Pengolahan untuk memanfaatkan lumpur silika melewati proses pemanasan dapat menyebabkan menguapnya merkuri, yang dapat mencemari udara dan lingkungan sekitarnya. Untuk penanganannya uap merkuri yang dihasilkan harus ditangkap untuk dikondensasikan kembali. Pemanfaatan lumpur silika mempunyai dua keuntungan yang didapatkan, yaitu dari nilai ekonomi silika dan logam berharga yang dihasilkan, serta kandungan unsur logam yang berpotensi menyebabkan degradasi lingkungan dapat ikut dipisahkan pada saat proses pengolahan sehingga tidak terbuang di alam. Karena itu meskipun nilai ekonomi yang dihasilkan dari pemanfaatan lumpur relatif kecil, akan tetapi sekaligus dapat menghilangkan risiko terhadap degradasi lingkungan [9].



Gambar 3.Struktur kimia MPDA



Gambar 4. Ukuran sampel uji bahan resin epoksi

Penelitian bahan galian pada lapangan panas bumi di Dieng yang dilakukan Kelompok Program Penelitian Konservasi, Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, pada bulan April 2008, di antaranya dengan melakukan analisis kandungan logam pada lumpur silika hasil endapan fluida berasal dari PLTP, didapatkan kadar yang signifikan beberapa unsur logam. Analisis terhadap tujuh sampel, diperoleh kadar rata-rata: Au 0,477 ppm, perak 3,14 ppm, Hg 1,982 ppm, As 69,14 ppm, Sb 46,14 ppm, Cu 46,71 ppm, Pb 115,43 dan Zn 199 ppm.

Produksi endapan lumpur silika pada kolam pengendapan di PLTP Dieng dalam sebulan sekitar 165 ton, dengan kadar logam seperti tersebut di atas, maka pada limbah PLTP tersebut setiap bulan dihasilkan kandungan: 78,7 gram emas; 0,518 kg perak; 7,613 antimon; 0,327 kg merkuri; 11,4 kg arsen dan timbal 19,045 kg.

III. METODE PENELITIAN

A. Bahan Uji

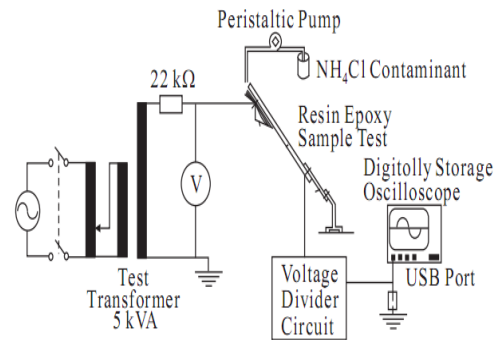
Bahan uji yang digunakan adalah resin epoksi silane dengan bahan pengisi limbah pasir silika PLTP Dieng dengan kode komposisi 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% ditunjukkan pada Tabel 1.

Sampel uji memiliki dimensi panjang minimal 120 mm dan lebar minimal 50 mm dengan ketebalan 5 mm, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.

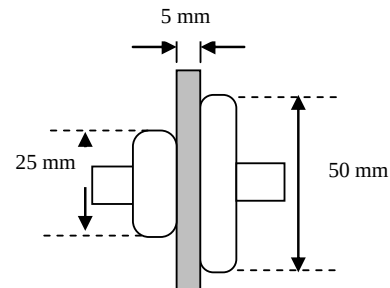
B. Pengujian Arus Bocor

Pengujian dan pengukuran arus bocor pada permukaan bahan resin epoksi silane menggunakan metode pengukuran *Inclined Plane Tracking* (IPT) sesuai dengan standar IEC 587:1984. Rangkaian pengujian dan pengukuran seperti ditunjukkan pada gambar rangkaian pada Gambar 5.

Tegangan tinggi AC 3.5 kV diterapkan pada elektroda atas, kontaminan NH_4Cl dialirkan ke permukaan sampel bahan dengan menggunakan pompa peristaltic dengan laju



Gambar 5. Rangkaian uji arus bocor



Gambar 6. Elektroda uji dan posisi sampel

aliran 0.3 ml/menit. Arus bocor yang mengalir pada permukaan sampel dideteksi dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan dan dihubungkan ke osiloskop untuk keperluan pengukuran. Pengujian dan pengukuran arus bocor ini dilakukan pada setiap sampel untuk mendapatkan nilai arus bocor permukaan.

C. Pengujian $\tan \delta$

Pengujian $\tan \delta$ ini dilaksanakan di Laboratorium Tegangan Tinggi, PT. PLN (Persero) Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan, Duren Tiga Jakarta. Pengujian $\tan \delta$ dilakukan untuk mengukur besarnya konstanta rugi dielektrik yang terdapat dalam suatu bahan dielektrik. Pengujian $\tan \delta$ yang dilakukan terdiri dari dua jenis pengujian, yaitu pengujian $\tan \delta$ fungsi suhu dan fungsi tegangan. Namun dalam penelitian ini yang dilakukan hanya fungsi tegangan.

D. Elektroda Uji dan Posisi Sampel

Elektroda uji yang digunakan terbuat dari *stainless steel* dengan bentuk dan ukuran seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

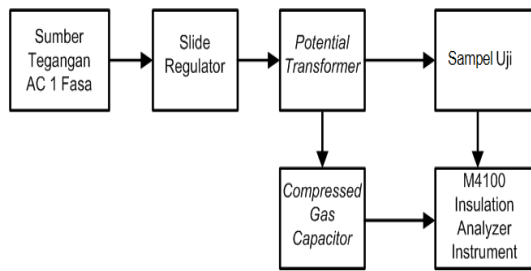
Sumber tegangan tinggi AC 50 Hz diterapkan pada elektroda berukuran diameter 25 mm. Elektroda diameter 50 mm dihubungkan ke alat ukur M4100 *Insulation Analyzer Instrument*. Pengujian $\tan \delta$ pada satu sampel bahan dengan menerapkan tegangan bertingkat mulai dari 500 Volt hingga 3500 Volt.

Diagram blok rangkaian pengujian $\tan \delta$ fungsi tegangan ditunjukkan pada Gambar 7. Seperangkat alat ukur $\tan \delta$ M4100 *Insulation Analyzer Instrument* ditunjukkan pada Gambar 8.

Pada gambar 8 tersebut dapat dilihat seperangkat M4100 *Insulation Analyzer Instrument* yang berfungsi untuk mengukur $\tan \delta$. Data-data lain seperti nilai tegangan

TABEL I
KOMPOSISI BAHAN SAMPEL UJI

Kode	DGEBA %	MPDA %	Silane %	Pasir Silika %
10%	45	45	5	5
20%	40	40	10	10
30%	35	35	15	15
40%	30	30	20	20
50%	25	25	25	25

Gambar 7. Diagram blok pengujian $\tan \delta$

terapan, arus bocor, dan nilai kapasitansi dapat terlihat pada layar komputer M4100 tersebut.

IV. HASIL DAN ANALISIS

Data-data hasil pengukuran yang telah dilakukan meliputi komposisi bahan silika PLTP Dieng di Laboratorium Kimia Analitik UGM Yogyakarta, data hasil pengukuran arus bocor permukaan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi UGM dan data hasil pengukuran $\tan \delta$ di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi PT. PLN (Persero) Litbang Ketenagalistrikan Jakarta.

A. Komposisi Pasir Silika

Data hasil pengukuran komposisi pasir silika yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia Fakultas MIPA UGM, untuk menentukan *major element* dalam sampel pasir dari PLTP Dieng. Diperoleh data-data ukur sebagai tertera pada Tabel II.

Berdasarkan Tabel II tersebut diketahui bahwa komposisi unsur pasir silika PLTP Dieng paling banyak adalah SiO_2 sebesar 77,7748%. Unsur SiO_2 ini yang akan memiliki pengaruh signifikan terhadap perubahan nilai konstanta dielektrik bahan, disamping pengaruh dari bahan-bahan lain seperti silane dan DGEBA dan MPDA. Untuk selanjutnya limbah pasir PLTP Dieng disebut sebagai limbah pasir silika dengan pertimbangan karena



Gambar 8. M4100 Insulation Analyzer Instrument

TABEL II
KOMPOSISI UNSUR PASIR SILIKA PLTP DIENG

Parameter	Hasil Pengukuran (%)			Rata-rata (%)
	I	II	III	
Al_2O_3	0,0746	0,0694	0,0746	0,0729
CaO	0,0536	0,0523	0,0523	0,0527
CaCO_3	0,0956	0,0933	0,0933	0,0941
Fe_2O_3	0,1743	0,1743	0,1743	0,1743
MgO	0,0106	0,0107	0,0108	0,0107
MgCO_3	0,0222	0,0224	0,0227	0,0224
K_2O	0,4878	0,4878	0,4878	0,4878
Na_2O	1,2209	1,2346	1,2346	1,2300
SiO_2	76,6286	77,7748	78,9209	77,7748
TiO_2	0,6408	0,6166	0,6651	0,6408

komposisi SiO_2 yang paling banyak diantara unsure yang lain.

B. Arus Bocor Permukaan

Pengujian arus bocor dilakukan dengan menempatkan sampel bahan dengan sudut kemiringan 45° sesuai rangkaian uji pada gambar 8. Pada penelitian ini, kontaminan NH_4Cl dengan kecepatan 0.3 ml/menit mengalir di permukaan bahan uji melalui kertas saring 8 layer yang dijepitkan di antara bahan uji dan elektroda tegangan tinggi menuju ke elektroda pentanahan. Elektroda tegangan tinggi diterapkan tegangan AC 3.5 kV.

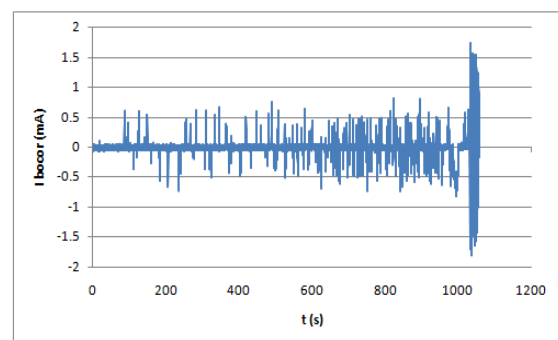
Hasil pengujian arus bocor ini ditunjukkan oleh gambar gelombang tegangan pada osiloskop. Nilai gelombang tegangan ini merupakan tegangan masukan osiloskop dari rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan diperlukan untuk mengatasi *input* tegangan besar masuk ke dalam osiloskop. Besarnya nilai arus bocor dapat dihitung menggunakan persamaan 3.

$$I_1 = 0.0240735 V_{CF} \quad (3)$$

dengan I_1 = arus bocor (mA)

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

Hasil pengujian arus bocor resin epoksi dengan variasi



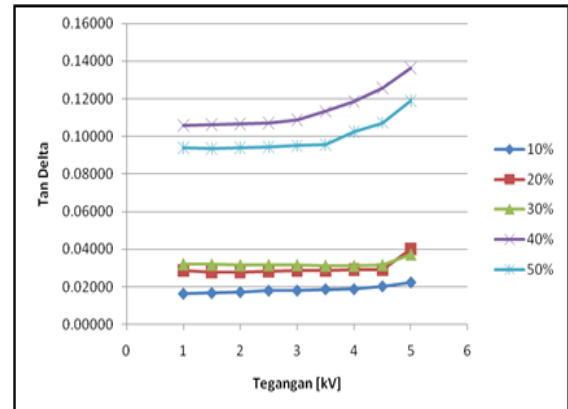
Gambar 9. Hasil pengujian arus bocor kode 10% sampel 1

TABEL III
KONSTANTA RUGI DIELEKTRIK

Kode sampel	V [kV]	Tan Delta			
		I	II	III	Rata-rata
10%	1	0.01658	0.01640	0.01638	0.01645
	1.5	0.01768	0.01573	0.01696	0.01679
	2	0.01816	0.01663	0.01711	0.01730
	2.5	0.01825	0.01728	0.01855	0.01803
	3	0.01843	0.01694	0.01891	0.01809
	3.5	0.01870	0.01787	0.01970	0.01876
	4	0.01905	0.01756	0.01980	0.01880
	4.5	0.01933	0.02112	0.02054	0.02033
	5	0.02163	0.02425	0.02124	0.02237
20%	1	0.03061	0.02896	0.02705	0.02887
	1.5	0.02971	0.02781	0.02659	0.02804
	2	0.02989	0.02757	0.0263	0.02792
	2.5	0.03088	0.02841	0.02633	0.02854
	3	0.03079	0.02822	0.02711	0.02871
	3.5	0.03126	0.02822	0.02717	0.02888
	4	0.03157	0.02841	0.02789	0.02929
	4.5	0.03104	0.02846	0.02798	0.02916
	5	0.04158	0.03496	0.0442	0.04025
30%	1	0.03312	0.03141	0.03228	0.03227
	1.5	0.03337	0.03079	0.03199	0.03205
	2	0.03292	0.03041	0.03182	0.03172
	2.5	0.03301	0.03062	0.0319	0.03184
	3	0.03329	0.03054	0.03151	0.03178
	3.5	0.033	0.03019	0.03133	0.03151
	4	0.03221	0.03006	0.03173	0.03133
	4.5	0.03245	0.0304	0.03248	0.03178
	5	0.0343	0.0347	0.04302	0.03734
40%	1	0.10965	0.09217	0.11588	0.10590
	1.5	0.11043	0.09276	0.11639	0.10653
	2	0.11025	0.09248	0.11747	0.10673
	2.5	0.11049	0.09296	0.11848	0.10731
	3	0.11088	0.09561	0.12057	0.10902
	3.5	0.11385	0.0998	0.12638	0.11334
	4	0.1169	0.10633	0.13277	0.11867
	4.5	0.12099	0.11568	0.14068	0.12578
	5	0.12955	0.12634	0.15277	0.13622
50%	1	0.08931	0.08792	0.10456	0.09393
	1.5	0.08953	0.08737	0.10375	0.09355
	2	0.08978	0.08751	0.10518	0.09416
	2.5	0.08965	0.0882	0.10592	0.09459
	3	0.08981	0.08843	0.10724	0.09516
	3.5	0.09022	0.08984	0.10741	0.09582
	4	0.09491	0.09731	0.11487	0.10236
	4.5	0.09947	0.10509	0.11737	0.10731
	5	0.10824	0.11578	0.13305	0.11902

persentase *filler* akan dijelaskan sebagai berikut :

Berdasarkan Gambar 9, dapat dilihat bahwa terjadi peluahan listrik (*flashover*) yang pertama terjadi pada detik ke-86,7 sebesar 0,409 mA. Peluahan listrik ini ditandai dengan adanya perubahan magnitude arus bocor secara mendadak. Peluahan listrik ini terjadi hingga berkali-kali, kemudian terjadi kegagalan isolasi yang ditandai dengan gelombang sinusoidal arus bocor pada detik ke-546,6. Gelombang sinusoidal ini menunjukkan bahwa telah terjadi jalur konduksi utuh dari elektroda tegangan tinggi ke elektroda pentanahan. Gelombang sinusoidal ini bukan merupakan sinusoidal murni melainkan gelombang



Gambar 10. Grafik hubungan antara Tegangan dengan Tan Delta

sinusoidal terdistorsi. Hal ini disebabkan karena adanya proses pembakaran bahan isolasi.

C. Konstanta Rugi Dielektrik ($\tan \delta$)

Hasil pengukuran pada sampel bahan resin epoksi silane dengan komposisi silika bervariasi dari 10% hingga 50% diperoleh hasil pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada tabel 3. Pengukuran dilakukan 3 kali pada sampel yang sama dengan variasi tegangan 1 kV hingga 5 kV.

Untuk memudahkan dalam menganalisis hasil pengukuran, data hasil ukur pada Tabel III dibuat kedalam bentuk grafik hubungan antara tegangan yang diterapkan terhadap variasi sampel uji. Berdasarkan gambar 10, dapat diketahui bahwa nilai $\tan \delta$ paling tinggi untuk komposisi pasir silika sebesar 40% selanjutnya 50% dengan nilai $\tan \delta$ sekitar 0.9 hingga 0.1. Sedangkan untuk nilai $\tan \delta$ paling kecil yaitu pada komposisi silika paling sedikit yaitu 10%.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa nilai $\tan \delta$ suatu bahan isolasi dipengaruhi oleh tegangan terapan. Semakin besar tegangan terapan, maka konstanta rugi dielektrik semakin tinggi untuk semua sampel uji. Naiknya $\tan \delta$ dengan semakin tingginya tegangan terapan disebabkan karena kantong udara (void) yang memungkinkan terjadinya pelepasan korona. Juga dapat diketahui bahwa semakin banyak komposisi bahan silika pada sampel resin epoksi silane menunjukkan nilai $\tan \delta$ cenderung semakin tinggi. Komposisi bahan silika ini memiliki pengaruh kecil pada komposisi 10% hingga 30%, dan memiliki pengaruh yang signifikan pada komposisi 40% dan 50%. Bahkan komposisi bahan silika 40% memiliki nilai $\tan \delta$ paling tinggi sekitar 0.1 pada tegangan 1 kV dan 0.14 pada tegangan 5 kV. Komposisi sampel bahan uji ditunjukkan pada tabel berikut : Berdasarkan pada persamaan (1), besarnya nilai $\tan \delta$ dipengaruhi oleh kapasitansi dan resistensi bahan. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi DGEBA 30%, MPDA 30%, Silane 20% dan Pasir Silika 20% patut diduga memiliki nilai kapasitansi dan resistansi yang lebih besar dibandingkan dengan komposisi yang lain. Jika arus bocor permukaan yang melewati bahan sampel uji yang memiliki nilai kapasitansi dan resistansi besar, maka rugi-rugi dielektrik akibat arus kapasitif (I_c) dan arus resistif (I_R) juga semakin besar. Penambahan pasir silika tidak berpengaruh secara signifikan terhadap arus bocor permukaan, karena unjuk kerja ini dipengaruhi secara signifikan oleh penambahan silane pada bahan resin epoksi.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis pada sampel uji bahan resin epoksi silane dengan variasi pasir silika PLTP Dieng disimpulkan bahwa :

1. Limbah pasir PLTP Dieng memiliki kandungan SiO_2 paling tinggi adalah yaitu 77,77 %, oleh karena itu layak disebut limbah pasir silika.
2. Tegangan terapan berpengaruh terhadap nilai $\tan \delta$ semakin tinggi tegangan terapan, semakin besar nilai $\tan \delta$.
3. Komposisi bahan pasir silika berpengaruh terhadap nilai $\tan \delta$. Semakin banyak komposisi pasir silika, maka nilai $\tan \delta$ semakin besar.
4. Komposisi bahan pasir silika tidak berpengaruh secara signifikan terhadap arus bocor permukaan bahan resin epoksi silane, karena yang lebih berpengaruh adalah kandungan silane (silicon rubber).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hamzah Berahim, 2005, "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, Indonesia.
- [2] Arismunandar, A., Teknik Tegangan Tinggi, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1994.
- [3] Naidu, Kamaraju, High Voltage Engineering, 2nd edition, Tata Mc. Graw-Hill, Publishing Company Limited, New Delhi, 2000.
- [4] Tobing, Bonggas L., Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [5] Abdul Syakur, Rochmadi, Tumiran, Hamzah Berahim, 2010 "An Investigation on Surface Tracking on epoxy resin material" Proceedings of 15th Asian Conference on Electrical Discharge, Nopember, 7-10, 2010 Xian Jiaotong University, China.
- [6] Suwarno, Material Elektroteknik, Penerbit Megatama, Bandung, 2006.
- [7] S.O. Kasap, Principles of Electrical Engineering Materials and Devices, Irwin Mc.Graw Hill, 1997.
- [8] Abdul Syakur, et.al, 2011, "Pengukuran $\tan \delta$ dan permitivitas relatif (ϵ_r) Pada Bahan Resin Epoksi dengan Karet Silikon sebagai Bahan Pengisi" Annual Engineering Seminar, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta, 16 Feruari 2011.
- [9] Sabtanto Joko S, "Limbah Panas Bumi mengandung Emas", <http://rovicky.wordpress.com/2009/12/30/limbah-panas-bumi-mengandung-emas/>, Posted on 30 Desember 2009, diakses 9 Mei 2011.