

# PENGARUH SILANE SEBAGAI BAHAN PENGISI MATERIAL ISOLASI POLIMER RESIN EPOKSI DI DAERAH TROPIS

Hamzah Berahim<sup>\*)</sup>

## ABSTRACT

*The specimens of silane epoxy resins insulating materials are based on diglycidyl ether of bisphenol-A, cured with metaphenylene-diamine, with stoichiometric value of unity, and 325-mesh silica filler treatment. Silane epoxy resins are the name of new thermosetting polymeric insulation materials that have been developed, the materials composition was obtained from the experimental research. To investigate the influence of the filler material the amount of six types of variation of the silane in the room temperature was vulcanized, compared with the 6 types of variation of the filler without silane treatment. The study towards improving the performance of the epoxy resins was conducted, by adding silane treatment as filler, and a new performance with regard to hydrophobicity was realized. Experimental method for 12 types of specimens was carried out through the following procedure; the specimens were installed on the Parangtritis natural aging test, a site located  $\pm 30$  kms in the South of Yogyakarta for 60 weeks, and the performance observation were taken every two weeks. This site is subjected to heavy coastal pollution as well as to high sunny levels. The observed performances are stated in terms of, flashover voltage, leakage current on surface, equivalent salt deposit density, and the contact angle of the hydrophobicity. The result of experiment indicated that the silane treatment of the filler can improve overall electrical performance of the rtv silane epoxy resins, compared to the rtv epoxy resins without silane.*

*Keywords: silane epoxy resin, performance, and natural aging*

## PENDAHULUAN

### Latar belakang masalah

Pemanfaatan resin epoksi secara ekstrim dalam pabrik dan industri disebabkan oleh kekuatan mekaniknya yang tinggi, ringan, perekat yang baik antara material dengan metal, dan secara luas sebagai material isolasi untuk peralatan listrik karena watak utama kelistrikkannya. Resin epoksi juga telah dikembangkan sebagai material isolator tegangan tinggi/ekstra tinggi pasangan luar (*outdoor*) pada sistem tenaga listrik. Bahan isolasi polimer resin epoksi ini mempunyai kelebihan dan keuntungan bila dibandingkan dengan material konvensional seperti porselen, keramik, dan gelas (Looms, 1988). Terdapat beberapa kelemahan atau kerugian dalam penggunaan bahan isolasi polimer resin epoksi, sangat sensitif jika digunakan di daerah yang bersuhu tinggi, berkelembaban tinggi, dan adanya radiasi ultraviolet intensitas tinggi, akan menurunkan kinerjanya (Saunders, 1973; Montanari and Simoni, 1993; Callister, 1985; Kim *et al*, 1999)

Kajian terhadap perbaikan kinerja telah dilakukan sehingga diperoleh bahan isolasi polimer resin epoksi silane yang merupakan nama baru bagi isolasi polimer termoset, diusulkan oleh peneliti, diperoleh dari hasil penelitian eksperimen yang telah dilakukan. Komposisi terdiri atas, bahan dasar *dgeba*, bahan pengeras *mpda*, dengan  $ns = 1$ , bahan pengisi pasir silika 325 *mesh* dicampur dengan silane, yang mengakibatkan bahan bersifat hidrofobik, merupakan

temuan baru dalam penelitian ini. Bahan pengisi ini divariasikan 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, dan 60 %, dengan perbandingan antara pasir silika dengan silane sama banyak. Bahan uji atau sampel dengan ukuran panjang x lebar x tebal adalah 70 mm x 70 mm x 5 mm, sehingga ada enam macam bahan isolasi polimer resin epoksi silane dengan kode bahan uji RTV<sub>21</sub>, RTV<sub>22</sub>, RTV<sub>23</sub>, RTV<sub>24</sub>, RTV<sub>25</sub>, dan RTV<sub>26</sub>. Sebagai pembanding adalah bahan isolasi resin epoksi, bahan pengisi hanya pasir silika 325 *mesh*, dengan variasi bahan pengisi, dan ukuran sampel sama dengan untuk bahan isolasi polimer RES, sehingga bahan uji pembanding ini juga ada enam macam, dengan kode bahan uji RTV<sub>11</sub>, RTV<sub>12</sub>, RTV<sub>13</sub>, RTV<sub>14</sub>, RTV<sub>15</sub>, dan RTV<sub>16</sub>. Pembuatan ke-12 sampel tersebut dengan vulkanisasi suhu ruangan.

Berdasarkan hal-hal yang telah diuraikan di atas maka rumusan masalah penelitian ini, bagaimana pengaruh silane sebagai bahan pengisi material isolasi polimer resin epoksi dengan waktu penuaan alamiah di daerah tropis

### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh, 1) variasi dosis bahan pengisi terhadap parameter kinerja, baik untuk bahan isolasi polimer resin epoksi silane dibandingkan dengan tanpa silane, 2) waktu penuaan alamiah terhadap parameter kinerja bahan isolasi resin epoksi silane, dibandingkan dengan tanpa silane, di bawah terpaan iklim tropis.

<sup>\*)</sup> Dr. Ir. Hamzah Berahim, MT, staff pengajar Jurusan Teknik Elektro FT UGM

## Tinjauan Pustaka

Menurut Malik dkk (1998) bahwa generasi pertama bahan isolasi polimer resin epoksi bisfenol-A untuk isolator pasangan luar, pada tahun 1950, setelah lama terpasang di luar, timbul retak pada permukaannya karena tidak tahan terhadap radiasi sinar ultraviolet.

Menurut Cherney (1996) bahwa generasi kedua adalah isolator berbahan isolasi polimer jenis resin epoksi sikloalifatik tuang (est), unjuk kerjanya memuaskan, tetapi pada kondisi udara yang berpolusi, unjuk kerjanya akan menurun

Menurut Karady dkk (1995) bahwa generasi ketiga bahan isolator karet silikon melalui daerah yang berpolutan mengakibatkan kekasaran dan kerapuhan permukaan

Menurut Cherney, dkk (1991), pemeliharaan isolator porselen, keramik dan kaca melalui daerah yang berpolutan permukaannya dilapisi karet silikon. Hal tersebut menurut Suwarno (1999) mengurangi arus bocor permukaan dan rugi daya pada isolator. Kajian tersebut oleh PLN dipergunakan untuk pemeliharaan isolator keramik pada daerah yang berpolutan tinggi, akan tetapi setelah lama menimbulkan masalah, terjadi endapan kerak pada permukaan yang sulit dibersihkan

Berdasarkan penelitian Berahim dkk (2002a), ternyata bahwa bahan isolasi polimer resin epoksi, bahan dasar *dgeba*, bahan pengisi *mpda* dengan  $ns=1$ , bahan pengisi pasir silika 325 *mesh* dengan komposisi divariasi, permukaan sampel dilapisi dengan silane, pada penuaan dipercepat menunjukkan hasil *esdd* dan arus bocor permukaan berkurang sampai 30 %. Selanjutnya berdasarkan penelitian Berahim dkk (2002b) bahwa bahan isolasi polimer resin epoksi dengan bahan dasar *dgeba*, bahan pengeras *mpda* dengan  $ns =1$ , bahan pengisi pasir silika 325 *mesh* yang dicampur dengan silane (karet silikon), muncul sifat baru dari bahan yaitu watak hidrofobik atau menolak air, yang merupakan temuan baru dalam penelitian ini. Komposisi bahan isolasi polimer ini oleh peneliti diberi nama resin epoksi silane.

Menurut Berahim dkk (2003), bahan isolasi resin epoksi silane dan tanpa silane, dengan penuaan alamiah di Parangtritis selama 14 minggu, resin epoksi silane mempunyai kinerja optimal di daerah tropis.

## LANDASAN TEORI

Mekanisme tegangan lewat denyar (*flashover*) atau lompatan api karena gradien medan tinggi, pada bahan isolasi dari isolator pasangan luar melalui tingkatan proses berikut (Fukuda, 1993; Karady, 1995; Mackevich and Shah, 1997; Karady 1999; dan Berahim, 2003),

1. Terbentuknya kontaminasi dari polutan,
2. Difusi dari rantai berat molekul rendah,
3. Pembasahan permukaan,
4. Pemanasan karena resistans,
5. Efek medan listrik pada tetesan butir air,
6. Peluahan bintik,
7. Kehilangan sifat hidrofobik, dan
8. Lewat denyar.

Mekanisme tegangan lewat denyar isolator terkontaminasi, dan pengaruh iklim tropis adalah kompleks, sehingga dikembangkan formula **model matematik** yang dipakai dalam meneliti gejala penuaan (Obenaus and Neumaerker, 1957; Lambeth, 1971; Mizuno *et al*, 1997) sebagai berikut,

$$V_{fo} = N \left[ \frac{1}{(n+1)} \right]_{\kappa} \left[ \frac{-n}{(n+1)} \right]_L \quad (1)$$

dengan:  $V_{fo}$  = tegangan lewat denyar kontaminasi,  $\kappa$  = konduktivitas permukaan karena polutan,  $L$  = panjang kebocoran pada isolator atau panjang busur api waktu terjadi tegangan lewat denyar, medan listrik =  $V_{fo}/L$ ,  $N$  = konstante yang ada hubungannya dengan medan listrik  $E$ ,  $n$  = konstante yang ada hubungannya dengan arus bocor  $I$ , yang hubungannya sebagai berikut,

$$\bar{E} = NI^{-n} \quad (2)$$

Nilai kontanta  $N$  dan  $n$  diperoleh dari eksperimen secara empiris. Nilai medan listrik,  $E = V_{fo} / L$ , sehingga persamaan (2) menjadi,

$$V_{fo}/L = N I^{-n} \text{ atau } [V_{fo}/L]^{1/(n+1)} = N^{1/(n+1)} I^{-n/(n+1)} \text{ atau}$$

$$V_{fo} = N^{1/(n+1)} I^{-n/(n+1)} L,$$

sehingga persamaan (1) akan menjadi,

$$V_{fo} = C_1 N^{1/(n+1)} I^{-n/(n+1)} \kappa^{-n/(n+1)} L$$

$$V_{fo} = C_2 I^{-n/(n+1)} \kappa^{-n/(n+1)} L \quad (3)$$

Persamaan rapat endapan garam ekuivalen menurut NGK Insulator (1995) ada hubungan dengan konduktivitas,  $ESDD = C_3 \kappa$  atau

$$[ESDD]^{-n/(n+1)} = C_3^{-n/(n+1)} \cdot \kappa^{-n/(n+1)}$$

$$[ESDD]^{-n/(n+1)} = C_4 \kappa^{-n/(n+1)} \quad (4)$$

Dari persamaan (3) dan (4) diperoleh,

$$V_{fo} = C_2 / C_4 I^{-n/(n+1)} (ESDD)^{-n/(n+1)} L \quad (5)$$

Ultraviolet mengakibatkan sudut kontak hidrofobik akan berkurang secara perlahan-lahan, akibatnya rapat endapan garam ekuivalen (*esdd*) akan

naik, sehingga arus bocor juga bertambah, akhirnya terjadi tegangan busur ( $V_{fo}$ ). Dapat dikatakan bahwa terjadi lucutan dalam medan listrik sebagai fungsi sudut kontak hidrofobik telah diteliti, dan menghasilkan persamaan berikut (Fukuda, 1993; Karady, 1995; Mackevich and Shah, 1997; Karady, 1999; dan Berahim, 2003)

$$E = \theta_h^c \quad (6)$$

dengan  $c$  = konstante tergantung sifat hidrofobik, untuk  $E = V_{fo}/L$ , sehingga persamaan (6) akan menjadi

$$[V_{fo}/L]^{1/(n+1)} = \theta_h^{c/(n+1)} \quad (7)$$

Dari persamaan (5) dan (7) akan diperoleh persamaan model matematik penuaan bahan isolasi polimer resin epoksi silane,

$$V_{fo} = C [I_{lc} \times ESDD]^{1/(n+1)} [\theta_h]^{c/(n+1)} L \quad (8)$$

## METODOLOGI PENELITIAN

### Bahan

Bahan penelitian adalah isolasi polimer resin epoksi silane dan tanpa silane. Kedua sampel bahan dasarnya *dgeba*, bahan pengeras *mpda* dengan  $n_s = 1$ . Sampel resin epoksi silane dengan bahan pengisi pasir silika 325 mesh dicampur dengan silane dengan dosis yang sama, yang variasinya 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60%, kode RTV<sub>21</sub>, RTV<sub>22</sub>, RTV<sub>23</sub>, RTV<sub>24</sub>, RTV<sub>25</sub>, dan RTV<sub>26</sub>. Sampel resin epoksi tanpa silane dengan bahan pengisi hanya pasir silika 325 mesh, variasi bahan pengisi sama dengan untuk resin epoksi silane dengan kode RTV<sub>11</sub>, RTV<sub>12</sub>, RTV<sub>13</sub>, RTV<sub>14</sub>, RTV<sub>15</sub>, dan RTV<sub>26</sub>. Ke-12 komposisi sampel divulkanisasi pada suhu ruangan, ukuran sampel panjang dan lebar 70 mm dan tebal 5 mm. Bahan ini dipasang pada rak besi dengan kemiringan 45° terhadap equator menurut Davis and Sims (1983), di atas dak rumah yang terbuka di Parangkusumo, persis menghadap ke laut atau pinggir pantai Parangtritis, ± 30 km kearah Selatan dari Yogyakarta. Jumlah sampel ke-12 komposisi bahan yang dipasang untuk penuaan alamiah selama 60 minggu sebanyak 4 variabel kinerja x 12 komposisi x 30 kali pengambilan data = 1440 keping sampel. Setiap minggu sampel ini dibalik dan setiap 2 minggu sebanyak 48 keping sampel diuji di laboratorium.

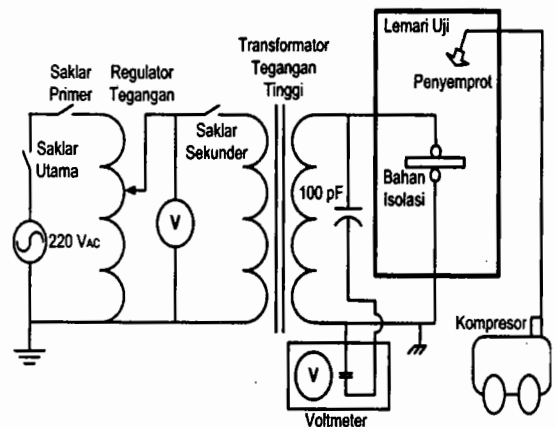
### Alat

Peralatan yang dipergunakan untuk penelitian ini terdiri dari, 1) lemari uji untuk menyimulasi iklim tropis dengan ukuran 1,2 x 1,2 x 1,2 m, 2) pembangkit

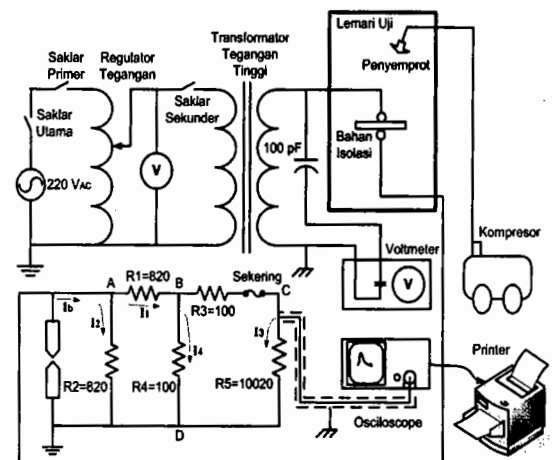
tegangan tinggi arus bolak balik frekuensi rendah lengkap dengan instrumennya, buatan Jepang dan Jerman tersedia di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi (TTT) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UGM untuk pengukuran kinerja tegangan lewat denyar dan arus bocor permukaan, 3) peralatan untuk pengukuran *esdd*, dan 4) peralatan untuk mengukur sudut kontak hidrofobik, juga terdapat di Laboratorium TTT.

### Prosedur penelitian

Tegangan lewat denyar, dan arus bocor permukaan sampel ditentukan berdasarkan prosedur yang diberikan oleh standar IEC 507 (1991) dengan rangkaian listrik dari alat dan bahan seperti gambar 1 dan 2 berikut,



Gambar 1. Rangkaian listrik dari alat dan bahan untuk memperoleh data tegangan lewat denyar arus bolak-balik.



Gambar 2. Rangkaian listrik dari alat dan bahan untuk memperoleh data arus bocor permukaan

Prosedur untuk memperoleh data *esdd*, sesuai dengan formula yang diberikan oleh NGK Insulator

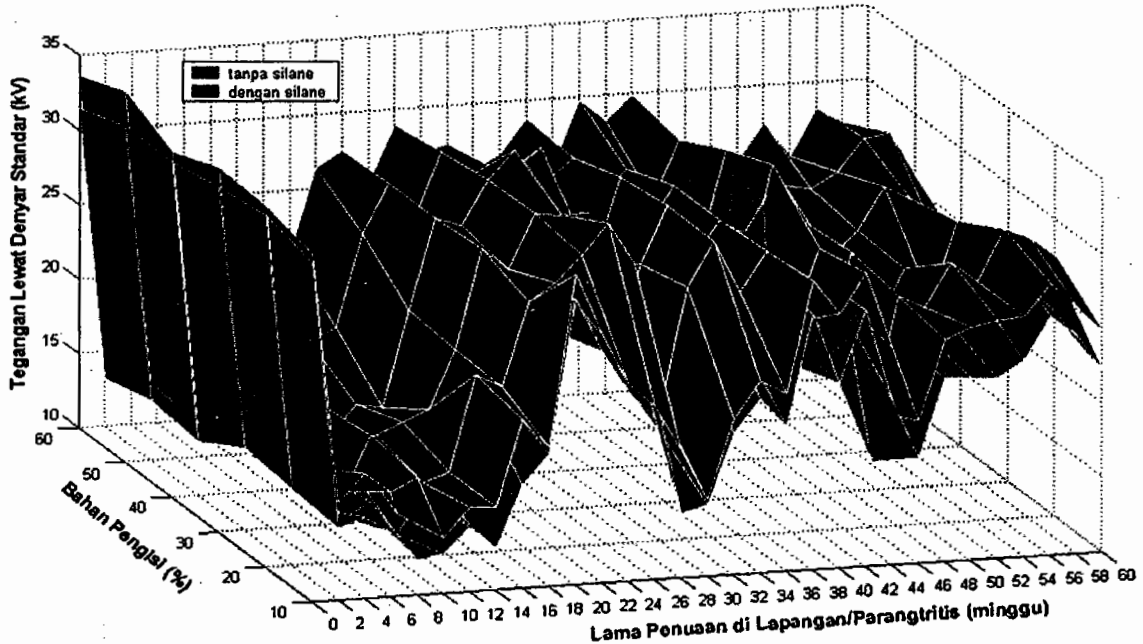
Ltd (1995), serta data sudut kontak hidrofobik menggunakan camera digital dan komputer.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

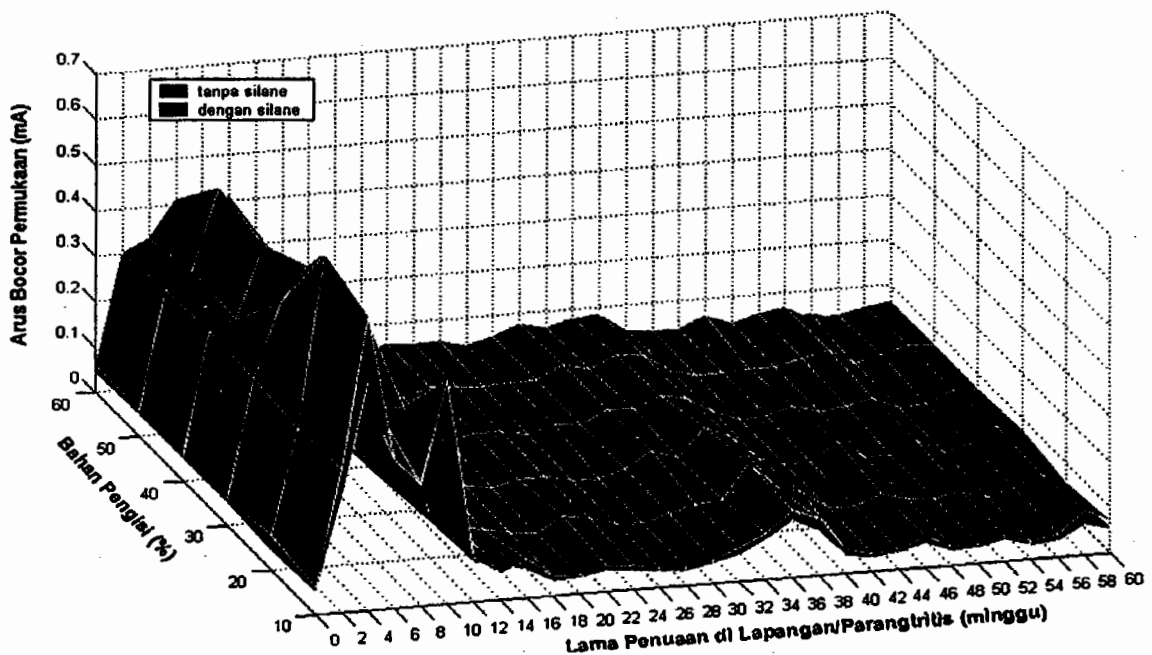
### Cara menganalisis data hasil penelitian

Cara menganalisis kinerja tegangan lewat denyar, arus bocor permukaan, rapat endapan garam ekuivalen (*esdd*) dan sudut kontak hidrofobik untuk penuaan alamiah ini digambarkan dengan kurva tiga dimensi dengan menggunakan program Matlab.

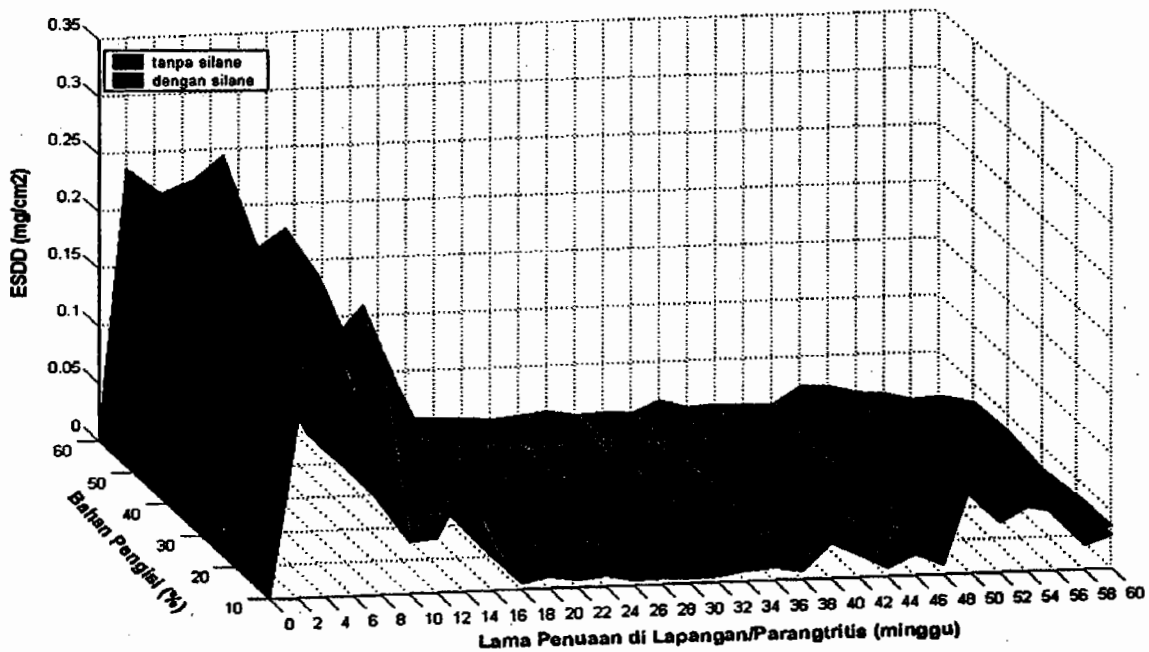
Hasil penelitian penuaan alamiah selama 60 minggu di pantai Selatan atau di Parangtritis, dengan mempergunakan program Matlab ditampilkan dalam kurva tiga dimensi antara kinerja tegangan lewat denyar ( $V_{fo}$ ), arus bocor permukaan ( $I_{lc}$ ), ESDD, dan sudut kontak hidrofobik ( $\theta_h$ ), terhadap komposisi bahan pengisi dan lama penuaan di lapangan, lihat gambar 3, gambar 4, gambar 5, dan gambar 6 berikut,



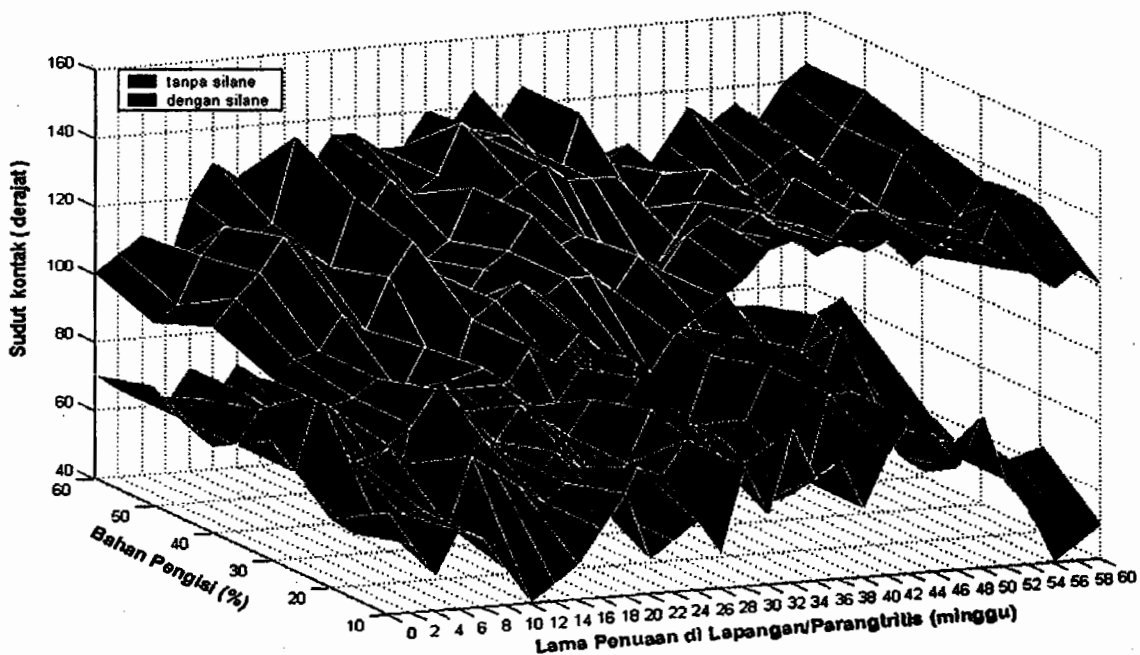
Gambar 3. Kurva tiga dimensi kinerja tegangan lewat denyar terhadap persen bahan pengisi dan lama penuaan di lapangan



Gambar 4. Kurva tiga dimensi kinerja arus bocor permukaan terhadap persen bahan pengisi dan lama penuaan di lapangan



Gambar 5. Kurva tiga dimensi kinerja ESDD terhadap persen bahan pengisi dan lama penuaan di lapangan



Gambar 6. Kurva tiga dimensi kinerja sudu kontak hidrofobik terhadap persen bahan pengisi dan lama penuaan di lapangan

Berdasarkan kurva tiga dimensi dari kinerja terhadap persen bahan pengisi dan lama penuaan alamiah dilapangan selama 60 minggu, karena terpaan iklim tropis di Parangtritis, pantai Selatan berupa suhu udara, kelembaban udara, tekanan udara, kecepatan angin, curah hujan, sinar ultraviolet, dan polutan garam dari laut, yang ditampilkan pada gambar 3, 4, 5, dan 6, ternyata bahan isolasi resin epoksi silane lebih unggul dari pada bahan isolasi resin epoksi tanpa silane.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian eksperimen yang telah dilakukan dapat disimpulkan hal-hal berikut,

1. Bahan material isolasi polimer resin epoksi silane adalah nama baru yang diberikan oleh peneliti, dengan komposisi diperoleh dari penelitian eksperimen

2. Bahan material isolasi polimer resin epoksi silane ini terdiri dari bahan dasar *dgeba*, bahan pengeras *mpda* dengan  $ns = 1$ , dan bahan pengisi pasir silica 325 mesh, dicampur dengan silane dengan dosis yang sama. Pengaruh silane sebagai bahan pengisi akan mengakibatkan bahan ini bersifat hidrofobik atau menolak air, merupakan temuan baru dari penelitian ini.
3. Kurva tiga dimensi dari kinerja yang telah ditampilkan di atas dapat disimpulkan bahwa pengaruh silane sebagai bahan pengisi pada material isolasi polimer resin epoksi akan mengakibatkan bahan ini mempunyai kinerja yang unggul di daerah tropis dibandingkan dengan resin epoksi tanpa silane.

#### Saran

Penelitian eksperimen tentang material isolasi polimer resin epoksi silane ini perlu dilanjutkan untuk memperoleh satu komposisi bahan yang optimum kinerjanya di daerah tropis, dan lama pelayanannya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada saudara Daryadi dan Ismaraman, laboran dari Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi yang telah banyak membantu dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Berahim, H., Sirait, K.T., Soesianto, F., Tumiran., 2002 a, "Electrical Performance of Epoxy Resin Insulation in Tropical Climate", *Proceeding of the 2002 Joint Conference of ACED & K-J Symposium on ED and HVE, Vol. 2, 511 - 514, Soongsil University, Seoul, Korea.*
- Berahim, H., Sirait, K.T., Soesianto, F., Tumiran., 2002 b, "Effect the Filler Treatment on the Electrical Performance of RTV Epoxy Resin Insulation Material in Tropical Climate", *Proceeding of the 2002 Joint Conference of ACED & K-J Symposium on ED and HVE, Vol. 2, 572-575, Soongsil University, Seoul, Korea.*
- Berahim, H., Sirait, K.T., Soesianto, F., Tumiran., 2003, "A. New Performance of RTV Epoxy Resin Insulation Material in Tropical Climate", *Proceeding of The 7 th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Vol. 2, 607 - 610, ISBN 0-7803-7752-7, June 1-6, Meitetsu New Grand Hotel, Nagoya, Japan*
- Callister, W. D. 1985, *Materials Science and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons, Inc., New York

- Cherney, E. A., Hackam, R., and Kim, S. H., 1991, "Porcelain Insulator Maintenance with RTV Silicone Rubber Coatings", *IEEE Trans. on Power Delivery., 6(3), 1177 - 1181*
- Cherney, EA., 1996, "Non - Ceramic Insulators. A Simple Design that Requires Careful Analysis", *IEEE Electrical Insulation Magazine, 12(3), 7-15*
- Fukuda, S. V., 1993, "The influence of the type of contaminant on flashover mechanisms", *8th International Symposium on High Voltage Engineering, 113-116, Yokohama, Japan*
- Karady, G.G., Shah, M., and Brown, R.L., 1995, "Flashover Mechanism of Silicone Rubber Insulators Used for Outdoor Insulation - I", *IEEE Trans. on Pow. Delivery., 10(4), 1965 - 1971.*
- Karady, G.G., 1999, "Flashover Mechanism of Non Ceramic, Insulators", *IEEE Transactions on Dielectrical and Electrical Insulation, 6(5), 718-723.*
- Kim, J., Chaudhury, M. K., and Owen, M. J., 1999, "Hydrophobicity Loss and Recovery of Silicone HV Insulation", *IEEE Transactions on Dielectric and Electrical Insulation, 6(5), 695-702*
- Lambeth. P. J., 1971, "Effect of pollution on high-voltage outdoor insulators", *IEE Review, Vol. 118, pp. 1107-1130*
- Looms, J.S.T., 1988, "*Insulators for High Voltages*", pp 11-12 Peter Peregrinus Ltd., London.
- Mackevich, J., and Shah, M., 1997, "Polymer Outdoor Insulating Materials, Part I: Comparison of Porcelain and Polymer Electrical Insulation", *IEEE Electrical Insulation Magazine, 13(3), 5-12.*
- Malik, N.H., Al-Arainy, A.A., and Qureshi, M.I., 1998, "*Electrical Insulation in Power System*", pp. 164-167, Marcel Dekker Inc., New York
- Mizuno, Y., Kusada, H., and Naito, K., 1997, "Effect of Climatic Conditions on Contamination Flashover Voltage of Insulators", *IEEE Trans. on Dielectrics and Electr. Insul., 4(3), 286 - 289.*
- Montanari, G. C., and Simoni, L., 1993, "Ageing Phenomenology and Modelling", *IEEE Transactions on Electrical Insulation, 28(5), 755-776.*
- NGK Insulators, Ltd., 1995 "*Pollution Map and Analysis of Cotaminant*" PT PLN Persero, Jakarta.
- Obenaus, F., 1958, "*Fremdschicht Uberschlang Und Kreischweglange*", *Deutsche Electrotechnik, Vol. 4, pp. 135-136*
- Saunders, K.J., 1973. *Organic Polymer Chemistry*, John Wiley & Sons, 382-384.
- Suwarno, 1999, "Pengurangan Arus Bocor /Rugi-rugi Daya pada Isolator Keramik dengan Lapisan Senyawa Silikon", *Seminar Nasional & Workshop Teknik Tegangan Tinggi II, Gedung Pascasarjana UGM, 29-30 September, Yogyakarta.*