

ANALISIS UNJUK KERJA ISOLATOR POLIMER 20 kV RESIN EPOKSI BAHAN PENGISI SiO₂ (*SILICONE DIOXIDE*) DENGAN SIRIP SERAGAM PADA KONDISI KONDUKTIVITAS YANG BERVARIASI

Faris Cahya Priambada^{*)}, Abdul Syakur dan Hermawan

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

^{*)}E-mail: fariscahya1998@gmail.com

Abstrak

Meningkatnya pertumbuhan penduduk dan industri harus disertai dengan suplai energi listrik yang memadai dan sistem distribusi energi listrik yang handal. Salah satu komponen penting untuk menunjang kehandalan sistem adalah isolator. Isolator berfungsi untuk mengisolir suatu konduktor bertegangan dengan kerangka penyangga yang dikembumikan sehingga tidak ada arus listrik mengalir dari konduktor tersebut ke tanah. Berbagai jenis bahan untuk isolator telah dikembangkan. Salah satunya adalah isolator dengan bahan resin epoksi. Isolator dengan bahan resin epoksi memiliki kelebihan dibandingkan dengan isolator porselen dan gelas, salah satunya memiliki bobot yang lebih ringan dibandingkan bahan porselen dan gelas. Namun isolator jenis ini masih tergolong baru, sehingga untuk meningkatkan performa dari isolator ini, salah satu caranya adalah dengan menambahkan bahan pengisi. Pada penelitian ini, dipaparkan pengaruh variasi tegangan pada kondisi kering dan basah serta penambahan SiO₂ (Silikon Dioksida). Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan tegangan dan konduktivitas mempengaruhi nilai arus bocor dan tahanan isolasi. Pada variasi konduktivitas, nilai arus bocor dan tahanan isolasi meningkat seiring dengan kenaikan nilai konduktivitas.

Kata kunci: isolator, resin epoksi, SiO₂, tahanan isolasi, arus bocor dan sudut kontak

Abstract

Increasing population and industrial growth must be accompanied by an adequate supply of electrical energy and a reliable electrical energy distribution system. One important component to support system reliability is an insulator. The insulator serves to insulate a live conductor with a buffer frame that is buried so that no electric current flows from the conductor to the ground. Various types of materials for insulators have been developed. One of them is an insulator with an epoxy resin material. Epoxy resin insulators have advantages compared to porcelain and glass insulators, one of which is that they are lighter in weight than porcelain and glass. However, this type of insulator is still relatively new, so to improve the performance of this insulator, one way is to add filler material. In this study, the effect of stress variations in dry and wet conditions and the addition of SiO₂ (Silicon Dioxide) is described. The test results show that changes in voltage and conductivity affect the value of leakage current and insulation resistance. In the variation of conductivity, the value of leakage current and insulation resistance increases along with the increase in the value of the conductivity.

Keywords: insulator, epoxy resin, SiO₂, insulation resistance, leakage current and contact angle

1. Pendahuluan

Seiring meningkatnya pertumbuhan penduduk dan industri di Indonesia harus disertai dengan peningkatan sarana dan prasarana suplai energi listrik yang memadai. Energi listrik yang disediakan oleh produsen diharapkan dapat memenuhi tingkat kebutuhan energi listrik yang akan semakin meningkat di masa mendatang dan tetap kontinyu dalam kondisi apapun serta meminimalisir gangguan yang terjadi. Untuk menunjang kehandalan

sistem distribusi energi listrik ini diperlukan kinerja isolator yang mumpuni.

Isolator berfungsi untuk mengisolir suatu konduktor bertegangan dengan kerangka penyangga yang dikembumikan sehingga tidak ada arus listrik mengalir dari konduktor tersebut ke tanah[1]. Bahan isolator yang umum digunakan adalah bahan porselen dan kaca. Saat ini, isolator dengan bahan polimer mulai banyak digunakan. Isolator polimer mulai dikembangkan pada tahun 1963 dan ditingkatkan hingga saat ini. Isolator

polimer dikenal juga dengan sebutan isolator non-keramik atau isolator komposit[2]. Isolator polimer memiliki kelebihan dibandingkan dengan isolator porselen dan gelas, yaitu lebih ringan, sifat rugi dielektrik yang lebih kecil, resistivitas volume yang lebih tinggi, proses produksi relatif lebih cepat, dan biaya produksi yang lebih murah[3].

Penggunaan isolator polimer untuk pasangan luar akan mengalami pengaruh simultan dari terpaan iklim dan cuaca yang terjadi. Indonesia yang terletak pada garis katulistiwa merupakan wilayah beriklim tropis dimana rata-rata lama penyinaran matahari sekitar 12 jam dan memiliki kelembaban udara yang tinggi. Kontaminasi pada permukaan isolator menjadi masalah besar terhadap kinerja isolator pasangan luar. Pada daerah pantai dan industri terdapat kontaminan garam, debu, dan bahan kimia yang dapat menempel pada permukaan isolator sehingga menyebabkan kristalisasi yang berakibat bertambahnya kekasaran permukaan material isolasi. Pada kondisi lingkungan dengan polusi dan kelembaban tinggi, lapisan polutan yang menempel pada permukaan terjadi pembasahan menyebabkan arus bocor mengalir sehingga terjadi pemanasan polutan pada lapisan. Lapisan polutan yang menempel pada permukaan isolator dapat membentuk pita kering (*dry band*) akibat dialiri arus bocor yang terus menerus. Kondisi ini pada tegangan tertentu dapat menyebabkan pelepasan muatan melintasi pita kering. Busur pelepasan muatan dapat memanjang sehingga terjadi flashover yang melalui seluruh permukaan isolator[4]. Abdul Syakur [5] melakukan penelitian mengenai analisis arus bocor pada isolator resin epoksi silane dengan pengisi pasir silika pada kondisi iklim tropis.

Hasil pengujian arus bocor didapatkan semakin tinggi nilai tegangan uji dan kelembaban udara maka nilai arus bocor semakin besar. Untuk parameter suhu udara, semakin tinggi suhu udara maka nilai arus bocor semakin kecil Untuk mengevaluasi ketahanan jangka panjang dari rancangan isolator resin epoksi pasangan luar, diperlukan penelitian mengenai parameter listrik dari isolator, yaitu arus bocor. Faktor utama yang mempengaruhi performa material isolasi polimer adalah sifat menolak air atau hidrofobik.

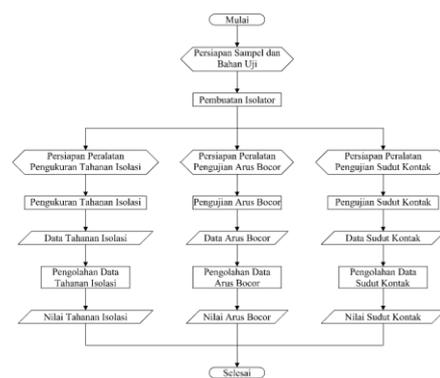
Pada tugas akhir ini dilakukan pembuatan dan analisis isolator resin epoksi dengan bahan pengisi SiO₂ (Silikon dioksida). Material uji yang digunakan dalam tugas akhir adalah resin epoksi yang dibentuk dari *bisphenol A - epichlorohydrin* (DGEBA) dan *polyaminoamide* yang dicampur dengan silane dan SiO₂. Untuk komposisi sampel uji yaitu 35% DGEBA, 35% *Polyaminoamide*, 15% Silane dan 7,5% SiO₂. Dengan tipe sirip isolator yaitu tipe sirip seragam dengan jumlah sirip lima buah. Pengujian yang dilakukan adalah arus bocor, tahanan isolasi dan sudut kontak dengan pengaruh variasi tegangan uji dalam kondisi kering dan basah.

Adapun tujuan utama dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengukuran untuk memperoleh karakteristik arus bocor bahan isolator polimer resin epoksi pengisi Silikon dioksida (SiO₂) pada variasi tegangan dalam kondisi basah dan kering.
2. Melakukan pengukuran untuk memperoleh karakteristik tahanan isolasi bahan isolator polimer resin epoksi pengisi Silikon dioksida (SiO₂) pada kondisi basah dan kering.
3. Melakukan pengukuran untuk memperoleh karakteristik sudut kontak bahan isolator polimer resin epoksi pengisi Silikon dioksida (SiO₂).

2. Metode

Berikut disajikan diagram alir penelitian yang digunakan dalam penelitian ini



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1. Pembuatan Isolator

2.1.1. Alat dan Bahan

- | | | |
|---|---------------|-------------------|
| 1. Resin Epoksi A | 7. Silicone | 13. Selotip |
| 2. Hardener B | Rubber RTV-52 | 14. Gelas plastik |
| 3. Silikon dioksida (SiO ₂) | 8. Catalyst | 15. Plastisin |
| 4. Silane | ml dan 250 ml | 17. Gunting |
| 5. Pipa PVC | 10. Batang | 18. Amplas |
| 6. Fitting Stainless steel | pengaduk | 19. Penggaris |
| | 11. Alumunium | 20. Spidol |
| | 12. Kaca | 21. Timbangan |

2.1.2. Langkah Pembuatan

1. Pembuatan cetakan
 - a. Membuat model sela dan sirip isolator
 - b. Menghaluskan model sela dan sirip isolator dengan amplas

- c. Menyiapkan cetakan kaca dan melapisinya dengan selotip
- d. Menyiapkan *Silicone Rubber* RTV-52 dan *Catalyst* dan mencampurkan kedua bahan tersebut sesuai kebutuhan.
- e. Menuangkan campuran ke dalam cetakan kaca dan mendinginkan selama 1x24 jam
- f. Melepaskan *silicone rubber* yang sudah mengeras dari cetakan dan lepaskan model sela dan sirip isolator dari *silicone rubber*



Gambar 2. Cetakan sirip besar isolator

2. Pembuatan alat

Bahan dasar material isolator yang digunakan adalah polimer resin epoksi dengan *Diglycidyl Ether of Bisphenol A* (DGEBA) dan *Polyaminoamide* sebagai bahan pengeras serta silane dengan pengisi pasir silika dan SiO_2 (silikon dioksida) dengan komposisi RTV23 (DGEBA 35 %, *Polyaminoamide* 35%, Silane 15% dan SiO_2 7,5%)[13][14].

- a. Menyiapkan cetakan sirip besar isolator yang telah dibuat dan melapisi permukaan cetakan menggunakan mika
- b. Menyiapkan 49 gram resin epoksi, 49 gram *hardener*, 21 gram silane dan 10,5 gram silikon dioksida
- c. Mencampurkan resin epoksi, silane dan silikon dioksida pada gelas plastik
- d. Menambahkan *hardener*
- e. Menuangkan campuran ke dalam cetakan dan mendinginkan selama 2 x 24 jam



Gambar 3. Proses pengeringan isolator

- f. Membuka cetakan



Gambar 4. Proses pembukaan cetakan

- g. Membubut alat sesuai dengan desain

3. Penyatuan alat

- a. Menyiapkan 2 inti, 5 sirip, sela 2 cm sebanyak 4 buah, sela 6 cm sebanyak 2 buah dan 2 pasang *fitting stainless steel*
- b. Menyiapkan perekat yang dibuat dari campuran resin epoksi dan *hardener*
- c. Merekatkan sirip pada inti menggunakan perekat yang telah dibuat
- d. Mengulagi langkah 2 untuk sirip dan sambungan
- e. Mendinginkan selama 1 x 24 jam agar perekat tersebut mengering



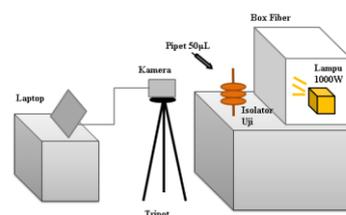
Gambar 5. Isolator Uji

2.2. Peralatan Pengujian

2.2.1. Peralatan Pengujian Sudut Kontak

Peralatan dan bahan pengujian sudut kontak yang dipergunakan :

1. Kamera foto digital
2. Seperangkat komputer dan software coreldraw X7
3. Alas uji
4. Seperangkat lampu pijar 1000 watt dan box fiber
5. Pipet tetes 50 μL
6. Gelas ukur
7. Air Akuades DM

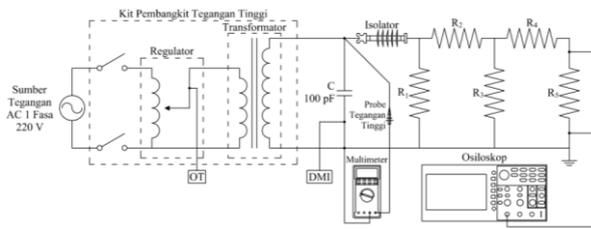


Gambar 6. Rangkaian pengukuran sudut kontak

2.2.2. Peralatan Pengujian Arus Bocor

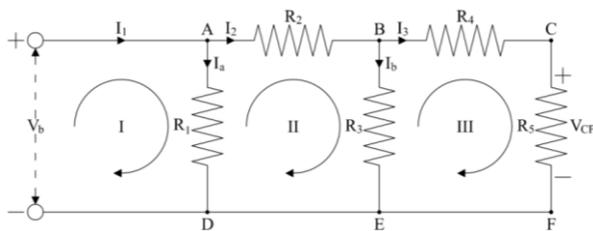
Untuk memperoleh data karakteristik arus bocor dari masing-masing sampel, maka dilakukan pengujian arus

bocor dengan rangkaian pengujian sesuai yang ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian pengujian arus bocor

Pengamatan arus bocor ini memerlukan osiloskop sebagai alat bantu. Input tegangan yang masuk ke dalam osiloskop harus sesuai dengan karakteristik kemampuan osiloskop tersebut. Piranti pengamanan dan perlindungan bagi osiloskop diperlukan untuk membatasi tegangan besar yang masuk ke dalam osiloskop dengan cara memasang rangkaian pembagi tegangan.



Gambar 8. Rangkaian pembagi tegangan

Untuk mendapatkan nilai arus bocor digunakan perhitungan :

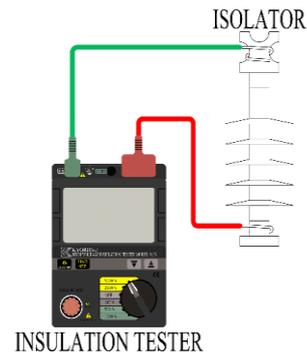
$$I_1 = 0,0257V_{CF} \quad (1)$$

Dimana V_{CF} merupakan tegangan yang terbaca pada osiloskop

2.2.3. Peralatan Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian tahanan isolasi dilakukan pengujian sebagai berikut :

1. Menyiapkan isolator yang akan diuji dan membersihkan isolator tersebut dari debu yang menempel dengan kertas tisu atau kain lap yang bersih.
2. Jika kondisi telah sesuai, memasang isolator tersebut pada meja pengujian dan menyiapkan peralatan pengujian yang lain seperti pada Gambar 3.26.
3. Menerapkan tegangan uji sebesar 5 kV selama 1 menit sebanyak 5 kali.
4. Merendam isolator pada larutan akuades selama 1 menit dan mengulangi langkah 2 – 3.
5. Mengulangi langkah 2 – 4 dengan larutan garam NaCl dan air hujan.

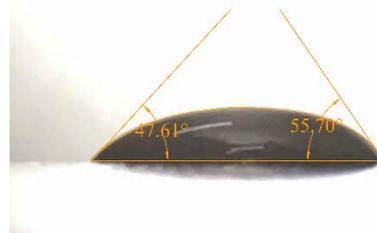


Gambar 9. Rangkaian pengujian tahanan isolasi

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Sudut Kontak

Karakteristik fisik suatu isolator yang perlu diperhatikan adalah hidrofobisitas. Hidrofobisitas adalah kemampuan permukaan isolator untuk cenderung menolak air. Untuk menyatakan suatu isolator bersifat hidrofobik atau tidak hidrofobik (hidrofilik), maka dilakukan pengukuran sudut kontak. Sudut kontak merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan bahan uji dengan air yang diteteskan ke permukaan bahan uji. Data didapat dengan mencari rata-rata nilai sudut kontak sirip atas, sirip tengah, dan sirip bawah isolator[7-11].



Gambar 10. Gambar Sudut Kontak Pada Permukaan Sirip Pertama dari Isolator SiO₂.

Sudut kontak kiri = 55,70°

Sudut kontak kanan = 47,61°

Untuk menentukan sudut kontak dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{sudut kontak} = \frac{\theta_a + \theta_r}{2}$$

$$\text{sudut kontak} = \frac{55,70^\circ + 47,61^\circ}{2} = 51,66^\circ$$

Tabel 1. Hasil Pengukuran Sudut Kontak Isolator Resin Epoksi SiO2.

Sirip ke –	Advancing Angle	Receding Angle	Sudut Kontak
1	55,70°	47,61°	51,66°
2	70,51°	58,04°	64,28°
3	82,09°	52,66°	67,38°
4	74,93°	53,86°	64,40°
5	83,40°	79,85°	81,63°

Dari data tabel 1 dapat diketahui bahwa sudut kontak pada permukaan masing – masing sirip dari isolator SiO2 memenuhi kriteria . Berdasarkan tentang pengaruh sifat permukaan bahan terhadap sudut kontak, dapat diketahui bahwa permukaan sirip dari isolator SiO2 memiliki sifat hidrofilik.

3.2. Pengujian Konduktivitas Larutan

Besarnya konduktivitas di setiap larutan yang digunakan pada kondisi basah diperlukan untuk mengetahui pengaruh konduktivitas terhadap arus bocor dan tahanan isolasi dari isolatorresin epoksi dengan bahan pengisi SiO2 (Silikon Dioksida).

Tabel 2. Data Perbandingan Konduktivitas Larutan Air Akuades dan Garam NaCl.

Larutan	Konduktivitas (µS)
Air Akuades	2,7 µS
Garam NaCl	87,3 µS

Berdasarkan data pada tabel 2, dapat diketahui bahwa larutan yang memiliki konduktivitas terbesar adalah air Nacl yaitu sebesar 87,3 µS dan larutan yang memiliki konduktivitas terkecil adalah air akuades yaitu sebesar 2,7µS.

3.3. Pengujian Arus Bocor

Pengujian arus bocor ini dilakukan dengan mengukur tegangan yang melewati resistor R5 pada rangkaian pembagi tegangan menggunakan osiloskop di setiap variasi tegangan 11 kV – 13 kV dan menghitung nilai arus bocor dengan persamaan (3.1).

Tabel 3. Data Perbandingan Arus Bocor Pada Pengujian Bahan Isolasi SiO2 Kondisi kering dan Kondisi Basah.

Kondisi Kering		Kondisi Basah dengan Konduktivitas Akuades		Kondisi Basah dengan Konduktivitas NaCl	
Tegangan Input (kV)	Arus Bocor (µA)	Tegangan Input (kV)	Arus Bocor (µA)	Tegangan Input (kV)	Arus Bocor (µA)
11,54	433,80	11,15	461,96	11,20	486,19
12,71	476,44	12,35	516,20	12,01	524,38
13,41	501,70	13,19	547,10	13,12	569,12



Gambar 11. Grafik Perbandingan Arus Bocor Pada Pengujian Bahan Isolasi SiO2 Kondisi Kering dan Kondisi Basah.

Dari grafik pada gambar 11, dapat diketahui bahwa arus bocor terendah terjadi pada saat isolator dalam kondisi kering, sedangkan arus bocor tertinggi terjadi pada saat isolator dalam kondisi basah dengan konduktivitas air Nacl (87,3 µS)[12][15].

Arus bocor pada saat isolator dalam kondisi basah dengan konduktivitas akuades (2,7 µS) lebih rendah dibandingkan arus bocor pada saat isolator dalam kondisi basah dengan konduktivitas garam NaCl (87,3 µS). Hal ini menunjukkan bahwa arus bocor berbanding lurus dengan besarnya konduktivitas larutan saat isolator pada kondisi basah[6-7].

3.3. Pengujian Tahanan Isolasi

Tabel 4. Data Perbandingan Tahanan Isolasi Isolator SiO2 Pada Kondisi Kering dan Kondisi Basah.

Kondisi	Tahanan Isolasi (GΩ)
Kondisi Kering	2,57
Kondisi Basah dengan Konduktivitas Akuades	1,15
Kondisi Basah dengan Konduktivitas Garam NaCl	1,37



Gambar 12. Grafik Perbandingan Perbandingan Tahanan Isolasi Isolator SiO2 pada Kondisi Kering dan Kondisi Basah

Dari gambar grafik 12, dapat diketahui bahwa nilai tahanan isolasi terendah terjadi pada saat isolator dalam kondisi basah dengan konduktivitas Air Nacl ($87,3 \mu\text{S}$), sedangkan nilai tahanan isolasi tertinggi terjadi pada saat isolator dalam kondisi basah dengan konduktivitas kering.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa Pada pengujian konduktivitas dari air akuades, Nacl dan air hujan, air hujan memiliki nilai konduktivitas yang paling besar yaitu $103,5 \mu\text{S}$. Nilai arus bocor bahan isolator polimer resin epoksi SiO₂ (Silikon dioksida) mengalami peningkatan untuk setiap kenaikan variasi tegangan pengujian yang diterapkan pada isolator.

Pada perbandingan pengujian arus bocor pada isolator kondisi basah dan kering dapat diketahui bahwa arus bocor terendah terjadi pada saat isolator dalam kondisi kering, sedangkan arus bocor tertinggi terjadi pada saat isolator dalam kondisi basah dengan konduktivitas air hujan ($103,5 \mu\text{S}$).

Pada pengukuran tahanan isolasi nilai tahanan isolasi dengan tegangan input 5 kV didapat nilai tahanan isolasi terendah pada kondisi basah konduktivitas air hujan ($103,5 \mu\text{S}$) dengan nilai tahanan isolasi sebesar $1,15 \text{ G}\Omega$. Hal ini menunjukkan bahwa tahanan isolasi berbanding terbalik dengan besarnya konduktivitas larutan saat isolator pada kondisi basah.

Referensi

[1]. B. L. Tobing, Peralatan Tegangan Tinggi, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2003.
 [2]. L. A. Dissado and J. C. Fothergill, Electrical Degradation and Breakdown in Polymers, London: Peter Peregrinus Ltd, 1992.
 [3]. R. S. Steven, "Pengaruh Polutan Terhadap Tahanan Permukaan Isolator Epoxy Resin," Skripsi, Universitas Indonesia, Depok, 2008.

[4]. C. H. Haryono and S. Kristiningsih, "Pengaruh Suhu Terhadap Kinerja Material Isolasi Epoksi Resin Dalam Kondisi Bersih," in *Seminar Nasional & Workshop Tegangan Tinggi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*, 2002.
 [5]. A. Syakur, H. Berahim and T. Rochmadi, "Leakage Current Monitoring for Silane Epoxy Resin Insulator under Tropical Climate Conditions," in *IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, Bali, 2012.
 [6]. M. and S. Manjang, "Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi Di Bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan yang Dipercepat," *MEDIA ELEKTRIK*, vol. 5, no. 2, Desember 2010.
 [7]. M. M. Ali, A. Nugroho and A. Syakur, "Pembuatan dan Analisis Pengaruh Kondisi Permukaan Terhadap Unjuk Kerja Isolator Polimer 20 kV Tipe Sirip Tak Seragam dengan Variasi Tegangan Uji," *TRANSIENT*, vol. 6, no. 3, pp. 396 - 403, September 2017.
 [8]. A. Arismunandar, Teknik Tegangan Tinggi, Jakarta: Pradnya Paramita, 2001.
 [9]. A. Syakur, Teori dan Hasil Eksperimen Partial Discharge Pada Bahan isolasi, Semarang: BP Undip, 2009.
 [10]. SPLN10-3B, Tingkat Intensitas Polusi Sehubungan Dengan Pedoman Pemilihan Isolator, Perusahaan Listrik Negara, 1993.
 [11]. S. Purwantara, "Studi Temperatur Udara Terkini di Wilayah di Jawa Tengah dan DIY," *Geomedia*, vol. 13, no. 1, pp. 41 - 52, Mei 2013.
 [12]. T. L. Bonggas, Dasar-dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Jakarta: Penerbit Erlangga, 2012.
 [13]. H. Berahim, "Metodologi untuk Mengkaji Kinerja Isolasi Polimer Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tegangan Tinggi di Daerah Tropis," Disertasi, Fakultas Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2005.
 [14]. A. Nurimam, "Pengaruh Poliamino Amid Terhadap Kekuatan Tarik dan Stabilitas Termal Polimer Blend Epoksi/Poliamino Amid," Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2012.
 [15]. R. Rahmawati S., "Struktur Padatan Silikon Dioksida," Jurusan Pengajaran Kimia Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2009.