

## Research Article

**Unjuk Kerja Isolator 20 kV Bahan Resin Epoksi Silane Silika Kondisi Basah dan Kering**

Abdul Syakur, Yuningtyastuti, M. Ervan Dwi Setiaji, Agung Aprianto

*Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang  
Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang***Abstract**

Salah satu peralatan listrik yang penting dalam sistem tenaga listrik adalah isolator yang berfungsi sebagai penyangga kawat saluran udara, sekaligus secara elektrik sebagai penyekat (isolasi) antara konduktor bertegangan dengan menara (tower) transmisi. Isolator dengan bahan keramik, porselen dan kaca sudah digunakan secara luas. Saat ini sedang dikembangkan isolator dengan bahan polimer antara lain silicon rubber dan resin epoksi. Faktor lingkungan seperti kelembaban, temperature, hujan, dan kontaminan memiliki pengaruh signifikan terhadap unjuk kerja isolator. Terutama pada saat kondisi basah, permukaan isolator akan mudah mengalirkan sehingga terjadi pemanasan pada bagian permukaan dan akibatnya dapat menyebabkan flashover. Makalah ini melaporkan hasil penelitian mengenai unjuk kerja isolator 20 kV yang terbuat dari bahan resin epoksi silane silika. Pengujian dilakukan di laboratorium dalam kondisi basah dan kondisi kering. Parameter unjuk kerja isolator yang diamati adalah sudut kontak, arus bocor, dan tegangan flashover. Parameter hasil pengukuran digunakan untuk membandingkan dan menganalisa sudut kontak, arus bocor, tegangan flashover yang terjadi pada permukaan isolator kondisi basah dan kondisi kering. Hasil pengujian dan analisa menunjukkan bahwa nilai tegangan flashover kondisi basah lebih kecil daripada saat kondisi kering dan arus bocor pada kondisi basah lebih besar daripada saat kondisi kering. Tegangan flashover isolator kondisi basah adalah 60,688 kV; dan pada tegangan terapan 18,64 kV diperoleh nilai arus bocor 103,207  $\mu$ A. Sementara tegangan flashover pada kondisi kering diperoleh 111,320 kV dan nilai arus bocor 42,701  $\mu$ A. Sudut kontak permukaan isolator diperoleh nilai  $66,118^{\circ}$  -  $74,717^{\circ}$  yang dapat dikategorikan bersifat *partially wetted* (basah sebagian).

*Kata kunci-Tegangan flashover, sudut kontak, resin epoksi, isolator 20 kV, arus bocor*

**I. PENDAHULUAN**

Isolator merupakan salah satu komponen sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengisolasi konduktor jaringan bertegangan dengan tiang penyangga atau menara (tower)<sup>[1,2]</sup>. Bahan yang sering digunakan untuk isolator tegangan tinggi terbuat dari bahan keramik dan gelas. Kelebihan bahan isolasi keramik dan gelas adalah kapasitas panas yang baik dan konduktivitas panas yang rendah, tahan korosi, keras dan kuat<sup>[3,4]</sup>. Namun, bahan isolasi keramik dan gelas memiliki kelemahan dari segi mekanis yaitu berat dan permukaannya yang bersifat menyerap air (*hygroscopic*) sehingga lebih mudah terjadi arus bocor pada permukaan yang akhirnya dapat menyebabkan lewat denyar (*flashover*)<sup>[4]</sup>.

Salah satu alternative adalah menggunakan bahan isolasi polimer sebagai isolator tegangan tinggi. Dibanding dengan bahan keramik atau bahan gelas, bahan isolasi polimer memiliki keuntungan antara lain : sifat dielektris, resistivitas volume dan sifat termal lebih baik, konstruksi relatif lebih ringan (rapat massa rendah), kedap air (*hidrophobik*), ketahanan kimia yang baik, ketahanan yang tinggi terhadap asam, serta proses pembuatan tidak memerlukan suhu yang tinggi dan relatif lebih cepat. Sedangkan kekurangannya antara lain : bahan isolator polimer kurang tahan terhadap perubahan cuaca sehingga akan menyebabkan kekuatan mekanis menurun dan kerusakan fisik isolator<sup>[4]</sup>.

Keadaan lingkungan seperti kelembaban, curah hujan yang menyebabkan permukaan isolator basah, hal ini menjadikan isolator semakin dilapisi dengan kotoran dan bahan kimia dalam jangka panjang. Ketika isolator basah, arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator akan menjadi sangat tinggi yang selanjutnya mengakibatkan *flashover* pada permukaan isolator. Sementara pada saat kondisi kering lapisan polusi ini tidak memiliki efek yang terlalu merugikan pada isolator<sup>[5]</sup>.

Untuk itu penulis melakukan pengujian tegangan *flashover* dan arus bocor pada isolator yang terbuat dari bahan polimer resin epoksi silane bahan pengisi silika kondisi basah dan kering yang diharapkan dapat mengetahui kinerja isolator dalam keadaan tersebut.

**I. TINJAUAN PUSTAKA****A. Isolator**

Isolator mempunyai sifat atau kemampuan untuk dapat memisahkan secara elektrik dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan sehingga arus listrik tidak mengalir dari konduktor jaringan ke tanah<sup>[3]</sup>. Dengan demikian konstruksi harus sangat diperhatikan dan bahan isolasi haruslah mempunyai kekuatan dielektrik yang baik sehingga sifat hantarannya dapat dikurangi<sup>[1]</sup>.

**1) Konstruksi dan jenis isolator**

Bagian utama dari suatu isolator terdiri dari bahan dielektrik, jepitan logam dan tonggak logam. Umumnya dielektrik isolator terbuat dari bahan porselen, gelas, polimer

dan karet-silikon (*silicon rubber*), sedangkan jepitan terbuat dari besi tuangan atau baja<sup>[1]</sup>.

Dilihat dari lokasi pemasangan, isolator terdiri dari isolator pasang dalam (*indoor*) dan isolator pasang luar (*oudoor*)<sup>[2]</sup>. Isolator pasang luar dibuat bersirip untuk memperpanjang lintasan arus bocor dan mencegah terjadinya jembatan air yang terbentuk jika isolator dibasahi oleh air hujan. Dilihat dari konstruksinya isolator terdiri dari isolator pendukung dan isolator gantung/*suspension*. Isolator pendukung terdiri dari tiga jenis, yaitu : isolator pin, isolator post, dan isolator pin – post. Dilihat dari bentuknya, isolator gantung terdiri dari dua jenis yaitu isolator piring dan isolator silinder<sup>[1]</sup>.

**B. Karakteristik isolator**

**1) Karakteristik elektrik isolator**

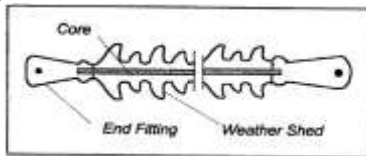
Karakteristik elektrik dari isolator yang dimaksud adalah kemampuan menahan *flashover* dan arus bocor. Isolator yang terpasang pada jaringan udara (terutama jaringan *oudoor*) sangat mudah dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan udara sekitar. Perubahan-perubahan tersebut dapat mempengaruhi kinerja dari isolator, yaitu kemampuan isolator menahan tegangan. Apabila di permukaan isolator terbentuk lapisan polutan akan mempengaruhi kinerja dari isolator tersebut. Kinerja isolator juga akan berbeda apabila permukaan isolator dalam kondisi basah dan dalam kondisi kering<sup>[1]</sup>.

**2) Karakteristik mekanis isolator**

Karakteristik mekanis suatu isolator ditandai dengan kekuatan mekanisnya, yaitu beban mekanis terendah yang mengakibatkan isolator tersebut rusak. Kekuatan mekanis ini ditentukan dengan membebani isolator dengan beban yang bertambah secara bertahap hingga isolator terlihat rusak. Kekuatan mekanis suatu isolator dinyatakan dalam tiga keadaan beban, yaitu kekuatan mekanis tarik, kekuatan mekanis tekan dan kekuatan mekanis tekuk<sup>[1]</sup>.

**C. Desain isolator polimer**

Pada gambar 2.1 memperlihatkan susunan dasar isolator polimer, yang terdiri dari inti (*core*) dan pembungkus (*shed*) yang kedua ujungnya dihubungkan dengan *fitting* yang terbuat dari logam.



Gambar 2.1 Desain isolator polimer<sup>[2]</sup>

*Fitting* pada sebuah isolator polimer dirancang untuk mampu menahan beban yang berasal dari isolator. Sebuah *fitting* terbuat dari bahan logam tuang atau tempaan antara lain aluminium, tembaga, baja. *Fitting* pada isolator polimer berguna sebagai pemegang dari inti, dimana pada desainnya inti diletakkan pada posisi terjepit di dalam *fitting*<sup>[5]</sup>.

Inti (*core*) pada isolator polimer berguna untuk memperkuat atau menambah kekuatan mekanik dari isolator polimer. Inti (*core*) terbuat dari bahan *fiberglass*, resin epoksi yang kemudian dibungkus *shed*<sup>[5]</sup>.

**D. Resin epoksi sebagai salah satu bahan polimer**

Cairan resin epoksi merupakan cairan yang memiliki sifat kekentalan yang rendah sehingga mudah bercampur (masuk tahap termoset) didalam pembuatannya. Cairan resin

yang lain diantaranya : *phenolic, polyester, acrylics* dibuat dalam proses yang sama, tetapi resin epoksi mempunyai kombinasi antara lain : Sifat kekentalan rendah, mudah dibentuk, penyusutan rendah, kerekatan tinggi, sifat mekanis tinggi, isolasi listrik yang tinggi, ketahanan kimia baik<sup>[6,7]</sup>.

**E. Bahan pengisi isolator**

Penggunaan bahan pengisi pada suatu produk tuangan mengandung dua tujuan secara teknis dan secara ekonomis. Secara teknis, penggunaan bahan pengisi dimaksudkan sebagai upaya memodifikasi kinerja polimer tersebut seperti untuk meningkatkan sifat mekanis dan untuk menurunkan sifat absorpsi air. Bahan pengisi yang digunakan adalah *silicone rubber* dan pasir silika. Bahan campuran ini digunakan untuk memperbaiki karakteristik dari isolator polimer tersebut. Dan perbandingan komposisi dari bahan pengisi antara karet silikon dan pasir silika adalah 1:1<sup>[4]</sup>.

**F. Mekanisme 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 dan sela jarum<sup>[6]</sup>.

**G. Flashover pada isolator**

*Flashover* yang terjadi pada permukaan isolator padat disebabkan oleh tegangan yang harus ditahan oleh permukaan isolator melebihi kemampuannya. Kemampuan permukaan isolator menahan tegangan ditentukan oleh besarnya resistans permukaan bahan dan jenis bahan, juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti : adanya kontaminasi pada permukaan isolator, kelembaban udara, suhu udara dan tekanan udara<sup>[1]</sup>. Berhubung tegangan *flashover* dipengaruhi oleh kondisi udara sekitar, maka data pengujian harus dikoreksi dengan kondisi udara standar, yang mengacu pada standar IEC 60 – 1 (1989) dengan persamaan berikut :

$$V_b = d \times V_s \tag{2.1}$$

$$d = \frac{b_B}{1013} \times \frac{273 + 20}{273 + t_B} \tag{2.2}$$

dengan :

V<sub>s</sub> : tegangan lompatan dalam keadaan standar

V<sub>b</sub> : tegangan lompatan yang diukur pada keadaan sebenarnya

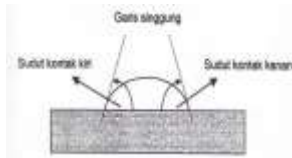
d : kepadatan udara relatif

t<sub>B</sub>: suhu sekeliling pada saat pengujian (°C)

b<sub>B</sub>: tekanan udara pada saat pengujian (mbar)

**H. Sudut kontak**

Sudut kontak merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan bahan uji dengan air destilasi yang ditetaskan ke permukaan bahan uji. Pengukuran sudut kontak pada suatu bahan isolasi dilakukan untuk mengetahui sifat permukaan bahan, hidrofobik atau hidrofilik. Sifat *hidrofobik* merupakan suatu karakteristik bahan isolasi, bahan masih mampu bersifat menolak air yang jatuh di permukaannya. Sifat *hidrofobik* berguna untuk isolasi pasangan luar karena dalam keadaan basah atau lembab tidak akan terbentuk lapisan air yang kontinu pada permukaan isolator, sehingga permukaan isolator tetap memiliki konduktivitas yang rendah, akibatnya arus bocor sangat kecil<sup>[4]</sup>.



Gambar 2.2 Perhitungan sudut kontak

$$\text{sudut kontak} = 0.5 * (\text{sudut kanan} + \text{sudut kiri}) \quad (2.3)$$

## II. METODOLOGI

### A. Bahan Isolator

Bahan isolator yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

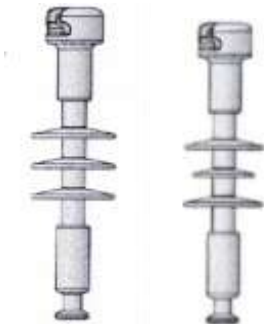
- Bahan dasar polimer resin epoksi jenis *DGEBA (Diglycidyl Ether of Bisphenol – A)*, bahan pematang atau pengeras *MPDA (Metaphenylene-diamine)*.
- Bahan pengisi yaitu *Silicone rubber* atau *Silane* atau biasa disebut lem kaca, dipasaran dikenal dengan *Sealant*.
- Bahan pengisi pasir silika

Dengan urutan pencampuran bahan dimulai dari Epoxy resin dilanjutkan Pasir silika kemudian Lem kaca (sealant) yang terakhir adalah Epoxy hardener.

### B. Isolator uji

Dalam pengujian ini, isolator yang digunakan adalah isolator dengan variasi tiga sirip, yaitu variasi sirip besar besar (BBB) dan sirip besar kecil besar (BKB). Berikut adalah bentuk isolator yang diuji.

Variasi isolator BKB dan BBB yang diuji masing – masing dibedakan menjadi BKB asli ( belum dilapisi ) dan BKB sesudah dilapisi resin epoksi silane, demikian juga dengan variasi BBB dibedakan menjadi BBB asli ( belum dilapisi ) dan BBB sesudah dilapisi resin epoksi silane.



Gambar 3.2 Sketsa isolator 3 sirip BBB, BKB

### C. Peralatan pengujian

1. Peralatan pengujian tegangan tinggi  
Perlatan pengujian tegangan tinggi terdiri dari trafo uji dan panel pengendali.
2. Chamber pengujian  
Merupakan tempat pengujian isolator.
3. Thermometer, barometer, dan hygrometer  
Digunakan untuk mengetahui kondisi lingkungan saat pengujian.
4. Seperangkat alat pembersihan  
Menggunakan *sprayer*, kompresor dan alat pembantu penyemprotan.
5. Pembagi Tegangan Yang berfungsi membagi tegangan agar tegangannya masuk sesuai dengan kemampuan osiloskop.
6. Sela jarum  
untuk melindungi pembagi tegangan dan osiloskop apabila terjadi *flashover*.

### 7. Osiloskop

untuk melihat gelombang tegangan yang menunjukkan adanya arus bocor melalui sampel uji.

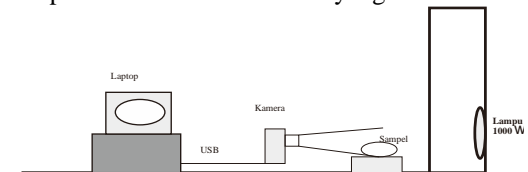
### 8. Peralatan pengukuran sudut kontak

Kotak sumber cahaya, pipet, aquades, dan gelas.

### D. Pengujian sudut kontak

Langkah pengujian sudut kontak yaitu sebagai berikut:

1. Meletakkan isolator dan menghidupkan kamera, keduanya diposisikan sedemikian rupa sehingga pada layar kamera, permukaan isolator tampak seperti garis lurus.
2. Meneteskan air sebanyak 50 µl. Air yang diteteskan ini berupa aquades.
3. Menghidupkan sumber cahaya agar ketika diambil foto, titik air pada permukaan sampel tampak jelas.
4. Memfoto dengan kamera digital, sehingga hasilnya dapat langsung dimasukkan ke dalam komputer untuk mendapatkan besar sudut kontak yang terukur.

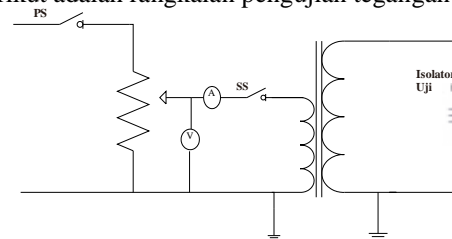


Gambar 3.3 Rangkaian pengujian sudut kontak

### E. Pengujian tegangan flashover

Pengujian tegangan lewat denyar dilakukan dengan memberikan tegangan yang secara terus-menerus dinaikkan sampai pada akhirnya terjadi *flashover*.

Berikut adalah rangkaian pengujian tegangan *flashover* :

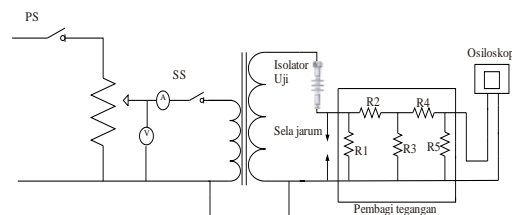


Gambar 3.4 Rangkaian pengujian tegangan *flashover*

### F. Pengujian arus bocor

Pada pengujian arus bocor ini bertujuan untuk mengetahui besarnya arus bocor yang terjadi pada isolator saat diberi tegangan yang bervariasi. Variasi tegangan yang diterapkan dalam pengujian adalah 4.66 kV, 9.32 kV, 13.98 kV, 18.64 kV, 23.3 kV, 27.96 kV.

Rangkaian pengujian arus bocor diperlihatkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.5 Rangkaian Pengujian Arus Bocor

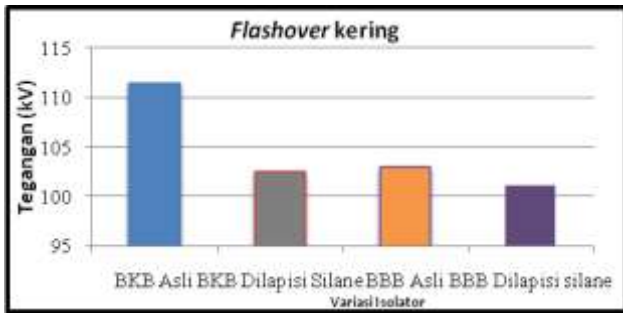
## IV. HASIL DAN ANALISA

### A. Hasil pengujian dan pembahasan tegangan flashover

#### 1) Tegangan *flashover* kondisi kering

Kondisi kering disini adalah kondisi dimana pengujian dilakukan pada kondisi kelembaban yang normal (58% - 67%), kondisi ini menggambarkan kondisi normal ketika

isolator gantung dipasang di lapangan dan keadaan cuaca dalam keadaan cerah.

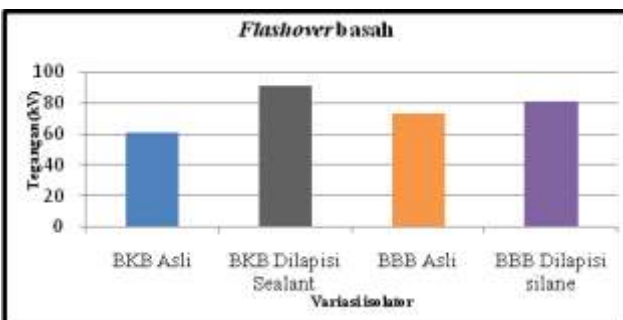


Gambar 4.1 Grafik tegangan flashover pada kondisi kering.

Dari grafik 4.1 terlihat bahwa isolator dengan variasi sirip BKB kecenderungan memiliki nilai flashover lebih tinggi dibandingkan dengan isolator variasi sirip BBB. Hal ini salah satunya disebabkan karena isolator dengan variasi sirip BKB jarak flashovernya lebih panjang daripada variasi BBB. Semakin panjang jarak yang dilewati oleh loncatan api akan semakin besar tegangan flashovernya.

2) Tegangan flashover kondisi basah

Pada pengujian ini yang dimaksud basah adalah kondisi dimana permukaan isolator basah (berembun), bukan kondisi basah karena hujan yang besar. Pengondisian kondisi basah dilakukan dengan menyemprotkan aquades sebanyak 1 liter. Setelah dilakukan penyemprotan segera dilakukan pengujian sebelum permukaan isolator kembali kering.



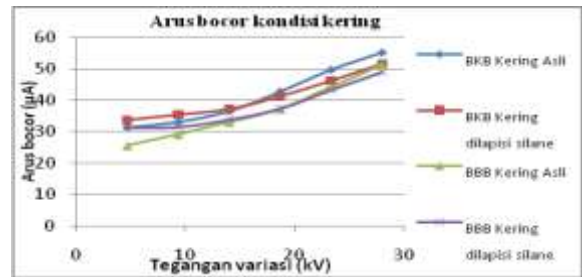
Gambar 4.2 Grafik tegangan flashover pada kondisi basah

Dari grafik 4.2 terlihat bahwa isolator dengan variasi sirip BKB kecenderungan memiliki nilai flashover lebih tinggi dibandingkan dengan isolator variasi sirip BBB. Hal ini salah satunya disebabkan karena isolator dengan variasi sirip BKB jarak flashovernya lebih panjang daripada variasi BBB. Namun, dalam kondisi basah (berembun) kemungkinan nilai flashover variasi BBB lebih besar dari variasi BKB bisa terjadi, hal ini dikarenakan dalam kondisi basah kelembabannya akan tinggi jadi loncatan api saat terjadi flashover bisa melewati jarak rambat isolator. Lintasan jarak rambat yang dilalui variasi BBB lebih panjang dibandingkan dengan variasi BKB.

**B. Hasil pengujian dan pembahasan arus bocor**

1) Arus bocor kondisi kering

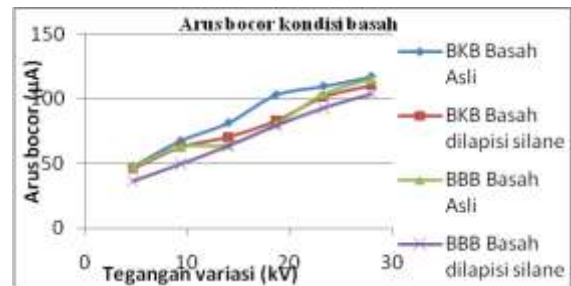
kondisi ini menggambarkan kondisi normal ketika isolator gantung dipasang di lapangan dan keadaan cuaca dalam keadaan cerah. Berikut merupakan data hasil pengujian arus bocor pada kondisi kering:



Gambar 4.3 Grafik nilai arus bocor kondisi kering.

2) Arus bocor kondisi basah

Pengujian arus bocor pada kondisi basah dimaksudkan untuk mengetahui besarnya arus bocor pada kondisi basah (berembun).



Gambar 4.4 Grafik nilai arus bocor kondisi basah.

Dari Gambar 4.3 dan 4.4 terlihat bahwa nilai arus bocor mempunyai kecenderungan meningkat seiring dengan meningkatnya variasi tegangan yang diberikan pada isolator uji. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan yang diberikan maka arus bocor yang terjadi akan semakin besar. Dari grafik diatas juga dapat dilihat arus bocor antara variasi BKB dan BBB, nilai arus bocor variasi BKB lebih besar dibandingkan dengan variasi BBB. Hal ini disebabkan karena jarak lintasan variasi BKB lebih pendek dari variasi BBB, maka nilai arus bocornya lebih besar. Semakin panjang jarak lintas/jarak rayap dan semakin besar luas penampang isolator semakin kecil nilai arus bocornya. Sementara dilihat dari pengaruh pelapisan pada permukaan isolator, untuk arus bocor kondisi kering isolator dengan lapisan resin silane memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan tanpa lapisan (asli). Hal ini menunjukkan bahwa dengan pelapisan resin silane pada isolator meningkatkan resistifitas pada permukaan isolator, sehingga apabila resistifitas meningkat maka akan lebih sulit untuk dialiri arus atau arus bocornya lebih kecil.

**C. Hasil pengukuran dan pembahasan sudut kontak**

Berikut adalah perhitungan dan analisa sudut kontak isolator resin epoksi silane asli dan isolator resin epoksi silane lapisan.



Gambar 4.5 Profil tetesan air sudut kontak

$$\text{Sudut kontak} = (74,359 + 74,521) / 2 = 74,439^{\circ}$$



Dari hasil pengukuran sudut kontak isolator lapisan yang telah dilakukan dapat diketahui nilai yang didapat adalah  $74,439^0$ ,  $74,717^0$ ,  $73,520^0$ , ini menunjukkan bahwa sampel isolator resin epoksi dengan lapisan berada diantara kisaran  $30^0$  -  $89^0$  yang dapat dikategorikan bersifat *partially wetted* (basah sebagian). Sementara dari hasil pengukuran sudut kontak isolator tanpa lapisan yang telah dilakukan dapat diketahui nilai yang didapat adalah  $66,118^0$ ,  $68,617^0$ ,  $68,467^0$ . Hasil pengukuran sudut kontak antara isolator asli dengan isolator yang dilapisi resin epoksi silane menunjukkan bahwa isolator dengan pelapisan memiliki nilai sudut kontak yang lebih besar. Hal ini berarti isolator dengan pelapisan lebih bersifat menolak air.

#### V. PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diperoleh beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Faktor lingkungan berupa kondisi kering dan basah sangat berpengaruh terhadap tegangan *flashover*. Tegangan *flashover* kondisi basah lebih kecil daripada saat kondisi kering dan arus bocor pada kondisi basah lebih besar daripada saat kondisi kering.
2. Tegangan *flashover* isolator kondisi basah adalah 60,688 kV; dan pada tegangan terapan 18,64 kV diperoleh nilai arus bocor 103,207  $\mu$ A.
3. Tegangan *flashover* pada kondisi kering diperoleh 111,320 kV dan nilai arus bocor 42,701  $\mu$ A.
4. Sudut kontak permukaan isolator diperoleh nilai  $66,118^0$  -  $74,717^0$  yang dapat dikategorikan bersifat *partially wetted* (basah sebagian).
5. Pada pengujian kondisi kering, arus bocor yang mengalir lebih kecil dibanding dalam kondisi basah.
6. Nilai tegangan *flashover* isolator variasi BKB lebih besar dibandingkan dengan isolator variasi BBB
7. Nilai arus bocor isolator variasi BKB lebih besar dibandingkan dengan isolator variasi BBB.
8. Semakin tinggi tegangan yang dikenakan pada isolator, semakin besar pula nilai arus bocornya
9. Isolator dengan pelapisan resin epoksi silane pada permukaannya lebih baik dibandingkan dengan isolator asli tanpa pelapisan dilihat dari nilai arus bocor yang lebih kecil. Dari hasil yang diperoleh maka isolator dengan pelapisan bisa digunakan pada sistem distribusi tenaga listrik untuk tegangan 20kV.
10. Hasil pengukuran sudut kontak antara isolator asli dengan isolator yang dilapisi resin epoksi silane menunjukkan bahwa isolator dengan pelapisan resin epoksi silane memiliki nilai sudut kontak yang lebih besar. Hal ini berarti isolator dengan pelapisan lebih bersifat menolak air (*hidrofobik*).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tobing, Bonggas L., *Peralatan Tegangan Tinggi*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [2] Gorur, R.S., Cherney, E.A., Burnham, J.T., *Outdoor Insulators*, Ravi S Gorur Inc, Phoenix, Arizona, USA, 1999.
- [3] Arismunandar, A., *Teknik Tegangan Tinggi*, Pradnya Pramita, Jakarta, 1984.
- [4] Berahim, Hamzah, 2005, "*Metodologi Untuk Mengkaji Kinerja Isolasi Polimer Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tegangan Tinggi di Daerah*

*Tropis*", Disertasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

- [5] Latief, Melda dan Suwarno, *Unjuk Kerja Permukaan Isolator Pasangan Luar Polimer Epoxy Resin 20 kV pada Berbagai Kondisi Lingkungan*, Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan, 2005.
- [6] Prasajo, Winarko Ari, Abdul Syakur, dan Yuningtyastuti, *Analisis Partial Discharge pada Material Polimer Resin Epoksi dengan Menggunakan Elektroda Jarum Bidang*, Penelitian, Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [7] Lee, Henry, Kris Neville, 1957, *Epoxy Resins Their Applications And Technology*, McGraw-Hill Book Company, INC, New York Toronto London.