

PEMBUATAN DAN ANALISIS PENGARUH KONDISI PERMUKAAN TERHADAP UNJUK KERJA ISOLATOR POLIMER 20 KV TIPE SIRIP TAK SERAGAM DENGAN VARIASI TEGANGAN UJI

Muhamad Mukti Ali^{*)}, Agung Nugroho, and Abdul Syakur

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

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

Abstrak

Isolator memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Isolator berfungsi untuk memisahkan secara elektrik dua buah atau lebih penghantar listrik bertegangan yang berdekatan. Isolator berbahan resin epoksi pada beberapa penelitian menunjukkan bahwa isolator jenis ini lebih unggul dibandingkan dengan bahan jenis lain. Namun isolator jenis ini memiliki kekurangan, yaitu rentan terhadap kondisi lingkungan. Kekurangan pada isolator ini dapat diperbaiki dengan penghalusan dan penambahan lapisan atau coating pada permukaan isolator. Pada penelitian ini, dipaparkan pengaruh kondisi permukaan. Parameter yang dianalisis adalah sudut kontak, arus bocor dan Total Harmonic Distortion (THD). Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi fisik isolator mempengaruhi sudut kontak, arus bocor, dan THD. Dengan penghalusan dan pelapisan silicon rubber terbukti telah memperbaiki performa isolator. Sudut kontak dalam kategori hidrofobik dengan nilai rata-rata $91,05^\circ$, arus bocor lebih rendah dengan penurunan sebesar 20,5%, dan THD juga lebih rendah dibandingkan dengan isolator yang tidak dilapisi dengan silicon rubber dengan penurunan sebesar 31,36%. Berdasarkan penelitian diperoleh bahwa dengan melakukan penghalusan dan pelapisan silicon rubber pada permukaan isolator dapat meningkatkan nilai sudut kontak dan menurunkan nilai arus bocor dan THD.

Kata kunci : isolator, resin epoksi, fly ash, kondisi permukaan, , sudut kontak, arus bocor, THD

Abstract

Insulator has a very important role in the power system. Insulator function for electrically separating two or more adjacent voltage electrical conductor. One of them insulator made of epoxy resin. Several studies have shown that this type are superior insulators compared with others materials. This type of insulator has a disadvantages that is susceptible to environmental conditions. An effort to improve the quality of insulator is carried by the smoothing and the addition of coating on the surface of the insulator. In this research, described the influence of surface conditions. The parameters analyzed the contact angle, leakage current and Total Harmonic Distortion (THD). Test results showed the physical condition of the insulator affects the contact angle, the leakage current, and THD. By smoothing and coating of silicon rubber insulators proved to have improved Performance. Hydrophobic contact angle in the category with an average value $91,05^\circ$, leakage current lower with decrease of 20.5% and THD lower than the uncoated insulator with silicon rubber decrease of 31.36%. Based on research showed that by performing smoothing and coating silicon rubber on the surface of the insulator can increase the value of the contact angle and lower leakage current value and THD.

Key words : insulator, epoxy resin, fly ash, surface condition, contact angle, leakage current, THD

1. Pendahuluan

Semakin berkembangnya tingkat pertumbuhan penduduk dan industri di Indonesia seharusnya sejalan dengan semakin baiknya sarana dan prasarana yang mendukung. Salah satu sarana yang mendukung adalah suplai energi listrik. Suplai energi listrik dari pihak produsen dituntut harus memadai dan handal dalam kondisi apapun. Memadai berarti bahwa besarnya kapasitas listrik akan

semakin ditingkatkan seiring dengan tingkat kebutuhan listrik. Handal berarti pelayanan suplai listrik harus kontinyu dalam kondisi apapun dan meminimalisir gangguan yang terjadi. Untuk merealisasikan sarana tersebut perlu adanya prasarana yang menunjang. Salah satunya dengan menjaga kinerja isolator.

Isolator pada awalnya terbuat dari keramik dan gelas. Kemudian pada tahun 1963, isolator polimer dikembangkan dan ditingkatkan sampai saat ini. Isolator

polimer dikenal juga dengan sebutan isolator non-keramik atau isolator komposit [1]. Isolator polimer dewasa ini banyak digunakan dikarenakan kelebihanannya dibandingkan dengan isolator berbahan keramik dan gelas. Kelebihanannya, 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 [2]. Isolator polimer dapat digunakan sebagai isolator pasangan luar.

Letak isolator yang di luar ruangan memungkinkan untuk terkontaminasi oleh polusi. Faktor lingkungan berupa kondisi kering atau basah berpengaruh pada isolator. Salah satunya terhadap sudut kontak permukaan isolator. Selain itu juga terjadi pengaruh terhadap arus bocor. Arus bocor cenderung lebih besar pada kondisi basah daripada kondisi kering [3]. Beberapa faktor tersebut dapat menyebabkan isolator polimer mengalami degradasi dan penuaan permukaan isolator[1]. Salah satu upaya untuk meningkatkan performa dan umur isolator dapat dilakukan dengan *coating* [2][4].

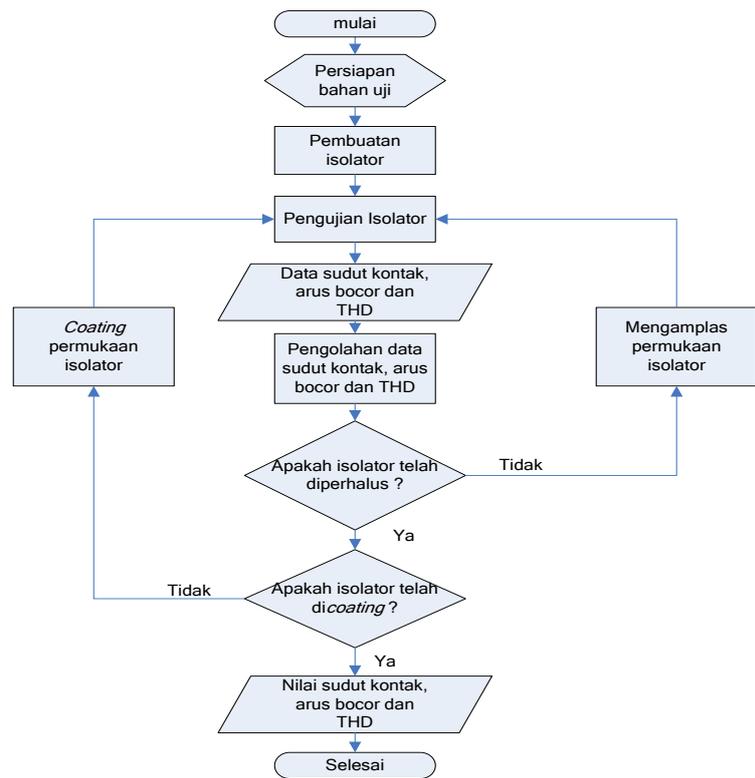
Pada penelitian ini analisa isolator uji resin epoksi menggunakan komposisi *fly ash* sebagai salah satu bahan pengisi. Dengan tipe sirip isolator yaitu tipe sirip besar-kecil-besar (BKB) dengan jumlah sirip tiga buah. Pengujian dilakukan variasi kondisi permukaan yaitu awal, halus dan *coating* dalam keadaan kering dan basah. Sama halnya pada penelitian sebelumnya, parameter utama arus bocor yang digunakan yaitu karakteristik harmonik, yang meliputi bentuk gelombang, spektrum frekuensi, dan tingkat distorsi harmonik (THD).

Tujuan dari penelitian ini antara lain menganalisis pengaruh kondisi permukaan isolator polimer epoksi resin pengisi *fly ash* dengan melakukan pengujian sudut kontak, melakukan pengukuran untuk memperoleh karakteristik arus bocor pada kondisi kering dan basah, dan menganalisis karakteristik harmonik arus bocor yang meliputi bentuk gelombang, magnitude arus bocor, spektrum frekuensi (*FFT*) dan *total harmonic distortion* (THD) pada keadaan awal, setelah dihaluskan menggunakan kertas amplas dan setelah melalui proses *coating* menggunakan *silicon rubber* RTV 683.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahap penelitian. Pada Gambar 1 dapat dilihat langkah-langkah metode penelitian dalam penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

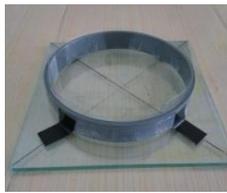
2.2. Pembuatan isolator

2.1.1. Alat dan Bahan

- | | | |
|-------------------|------------------|----------------|
| 1. Resin Epoksi A | 8. Gelas | 15. Gergaji |
| 2. Hardener B | 9. Jangka sorong | 16. Amplas |
| 3. Fly Ash | 10. Kaca | 17. Penggaris |
| 4. Silicon Rubber | 11. Solatip | 18. Spidol |
| 5. Pipa | 12. Plastisin | 19. Aluminium |
| 6. Timbangan | 13. Mika | 20. Lem castol |
| 7. Solet | 14. Gunting | 21. Lem epoxy |

2.1.2. Langkah Pembuatan

1. Pembuatan cetakan
 - a. Memotong pipa ukuran 4inch sepanjang 2,5 cm
 - b. Menghaluskan kedua ujung pipa yang telah dipotong dengan amplas
 - c. Melapisi pipa dan kaca dengan mika
 - d. Merekatkan pipa pada kaca
 - e. Memberikan plastisin pada sambungan antara pipa dan kaca



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 *Metaphenylenediamine* (MPDA) sebagai bahan pengeras serta lem kaca (Silane) dengan pengisi *fly ash* dengan komposisi RTV23 (DGEBA 35 %, MPDA 35%, Silane 15% dan *fly ash* 15%)

- Menyiapkan 70 gram resin epoksi, 70 gram hardener, 30 gram fly ash, 30 gram silicon rubber
- Mencampurkan resin epoksi, fly ash dan silicon rubber pada gelas
- Menambahkan hardener
- Menuangkan campuran ke dalam cetakan yang telah dibuat dan diamlkan selama 2 hari



Gambar 3. Proses pengeringan isolator

- Membuka cetakan



Gambar 4. Proses pembukaan cetakan

- Membubut alat sesuai dengan desain



Gambar 5. Hasil isolator setelah proses bubut

3. Penyatuan alat

- Menyiapkan inti, 2 sirip besar, 1 sirip kecil, 2 sambungan 3 cm, 3 sambungan 4 cm, aluminium
- Merekatkan sirip pada inti menggunakan lem castol
- Mengulagi langkah 2 untuk sirip dan sambungan
- Merekatkan aluminium pada bagian ujung-ujung inti menggunakan lem epoksi.



Gambar 6. Isolator Uji

2.3. Peralatan Penghalusan Isolator

Proses penghalusan isolator dengan menggunakan kertas amplas dengan nomor 500.

2.4. Peralatan Pelapisan atau Coating Isolator

Peralatan dan bahan pelapisan atau coating yang dipergunakan :

- Silicon Rubber* RTV 683
- Katalis
- Solet
- Timbangan Digital
- Cutter
- Jangka Sorong

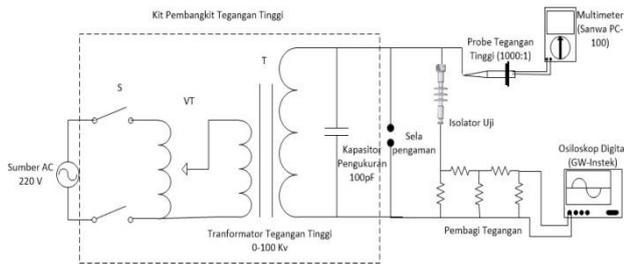
2.5. Peralatan Pengujian Sudut Kontak

Peralatan dan bahan pengujian sudut kontak yang dipergunakan :

- Kamera foto digital
- Seperangkat komputer dan software coreldraw X7
- Alas uji
- Seperangkat lampu pijar 1000 watt dan box fiber
- Pipet tetes 50 μ L
- Gelas ukur
- Air Akuades DM

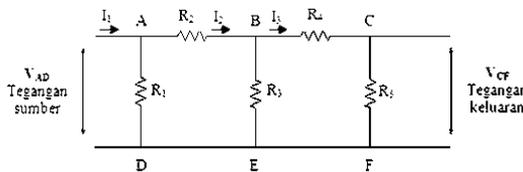
2.6. Peralatan Pengujian Arus Bocor

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

Nilai resistansi pada rangkaian pembagi tegangan adalah $R_1 = 680 \Omega$, $R_2 = 1000 \Omega$, $R_3 = 100 \Omega$, $R_4 = 470K \Omega$, dan $R_5 = 10K \Omega$. Berdasarkan data resistansi pada gambar 8 akan diperoleh perhitungan sebagai berikut:

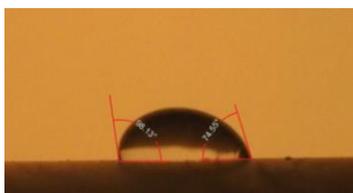
$$I_1 = 1,256717647 V_{CF}$$

I_1 merupakan nilai arus bocor yang mengalir pada isolator uji dan V_{CF} menunjukkan tegangan efektif (V_{rms}) yang terbaca pada osiloskop.

3. Hasil dan Analisa

3.1. Hasil Pengukuran 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.



Gambar 9. Sudut kontak permukaan isolator

$$\begin{aligned} \text{Sudut kontak kiri} &= 98,13^\circ \\ \text{Sudut kontak kanan} &= 74,55^\circ \end{aligned}$$

Untuk menentukan sudut kontak dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Sudut kontak} &= \frac{\text{Sudut kontak kiri} + \text{sudut kontak kanan}}{2} \\ &= \frac{72,40^\circ + 86,07^\circ}{2} \\ &= 79,23^\circ \end{aligned}$$

Tabel 1. Hasil Pengukuran Sudut Kontak Isolator

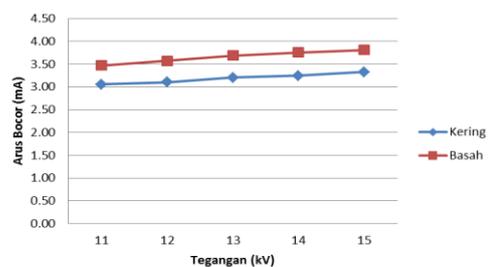
| No | Kondisi Isolator | Sudut Kontak Rerata |
|----|------------------|---------------------|
| 1 | Awal | 71,87 ^o |
| 2 | Halus | 85,40 ^o |
| 3 | Coating | 91,05 ^o |

Berdasarkan data pada tabel 1 menunjukkan bahwa isolator dalam kondisi awal dan halus bersifat partially wetted (basah sebagian). Hal ini disebabkan karena pengaruh adanya fly ash dalam isolator tersebut. Fly ash memiliki unsur penyusun kimia SiO₂ berupa kristal fly ash dan memiliki sifat hidrofilik atau menyerap air, yang dapat menyebabkan meningkatnya arus bocor pada permukaan isolator. Peningkatan nilai sudut kontak dari kondisi awal ke kondisi halus disebabkan pada kondisi halus bentuk permukaan sudah lebih baik. Sedangkan untuk isolator uji kondisi coating bersifat hidrofobik. Hal ini disebabkan oleh pengaruh lapisan silicon rubber pada permukaan isolator. Silicon rubber memiliki sifat hidrofobik sehingga meminimalkan arus bocor pada permukaan isolator. Sifat hidrofobik berbanding lurus dengan nilai sudut kontak suatu bahan, sehingga bila nilai sudut kontak semakin kecil maka sifat hidrofobik suatu bahan akan semakin buruk.

3.2. Hasil Pengukuran Arus Bocor

Pada pengukuran arus bocor dilakukan dengan 5 kali variasi tegangan yaitu 11 kV, 12 kV, 13 kV, 14 kV, dan 15 kV. Grafik perbandingan nilai arus bocor rata-rata terhadap variasi tegangan terapan adalah sebagai berikut :

3.2.1. Kondisi Awal (71,87^o)

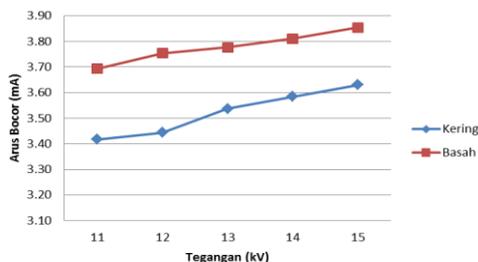


Gambar 10. Grafik perbandingan arus bocor rata-rata isolator terhadap variasi tegangan dalam kondisi awal

Berdasarkan data arus bocor yang ditunjukkan pada gambar 10, terlihat bahwa nilai arus bocor meningkat saat tegangan terapan yang diberikan pada isolator uji juga meningkat. Dapat disimpulkan bahwa hubungan antara tegangan dan arus bocor berbanding lurus, semakin besar tegangan yang diterapkan pada isolator maka arus bocor yang dihasilkan akan semakin besar.

Arus bocor pada kondisi permukaan isolator basah bernilai lebih besar dibandingkan arus bocor pada kondisi permukaan isolator kering. Titik - titik air pada permukaan isolator meningkatkan nilai konduktivitas permukaan isolator. Dengan adanya penambahan nilai konduktivitas permukaan isolator, maka nilai tahanan permukaan isolator pada kondisi basah akan berkurang. Akibatnya, arus bocor permukaan isolator pada kondisi basah bernilai lebih besar dari arus bocor isolator pada kondisi kering.

3.2.2. Kondisi Halus (85,40°)



Gambar 11. Grafik perbandingan arus bocor rata-rata isolator terhadap variasi tegangan dalam kondisi Halus

Berdasarkan data arus bocor yang ditunjukkan pada gambar 11, terlihat bahwa nilai arus bocor meningkat saat tegangan terapan yang diberikan pada isolator uji juga meningkat. Dapat disimpulkan bahwa hubungan antara tegangan dan arus bocor berbanding lurus, semakin besar tegangan yang diterapkan pada isolator maka arus bocor yang dihasilkan akan semakin besar.

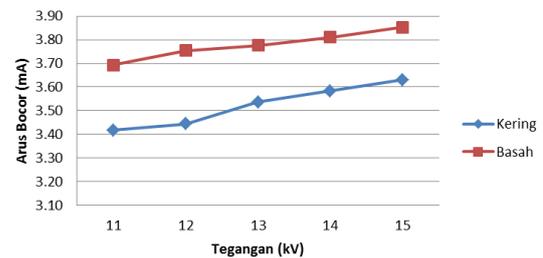
Arus bocor pada kondisi permukaan isolator basah bernilai lebih besar dibandingkan arus bocor pada kondisi permukaan isolator kering. Titik - titik air pada permukaan isolator meningkatkan nilai konduktivitas permukaan isolator. Dengan adanya penambahan nilai konduktivitas permukaan isolator, maka nilai tahanan permukaan isolator pada kondisi basah akan berkurang. Akibatnya, arus bocor permukaan isolator pada kondisi basah bernilai lebih besar dari arus bocor isolator pada kondisi kering.

3.2.3. Kondisi Coating (91,05°)

Berdasarkan data arus bocor yang ditunjukkan pada gambar 12, terlihat bahwa nilai arus bocor meningkat saat tegangan terapan yang diberikan pada isolator uji juga meningkat. Dapat disimpulkan bahwa hubungan antara

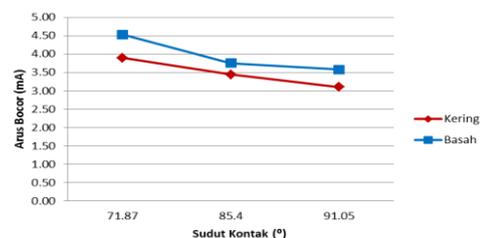
tegangan dan arus bocor berbanding lurus, semakin besar tegangan yang diterapkan pada isolator maka arus bocor yang dihasilkan akan semakin besar.

Arus bocor pada kondisi permukaan isolator basah bernilai lebih besar dibandingkan arus bocor pada kondisi permukaan isolator kering. Titik - titik air pada permukaan isolator meningkatkan nilai konduktivitas permukaan isolator. Dengan adanya penambahan nilai konduktivitas permukaan isolator, maka nilai tahanan permukaan isolator pada kondisi basah akan berkurang. Akibatnya, arus bocor permukaan isolator pada kondisi basah bernilai lebih besar dari arus bocor isolator pada kondisi kering.



Gambar 12. Grafik perbandingan arus bocor rata-rata isolator terhadap variasi tegangan dalam kondisi Coating

3.2.4. Perbandingan Arus Bocor dan Sudut Kontak pada Tegangan 12kV



Gambar 13. Grafik perbandingan arus bocor rata-rata isolator terhadap sudut kontak

Berdasarkan grafik hubungan arus bocor dan sudut kontak yang ditunjukkan pada gambar 13, semakin besar nilai sudut kontak maka nilai arus bocor akan semakin kecil. Nilai arus bocor mengalami penurunan terhadap kondisi permukaan isolator, semakin bagus kondisi permukaan isolator maka arus bocor yang dihasilkan akan semakin kecil. Arus bocor pada kondisi halus lebih kecil dibandingkan dengan pada kondisi awal, dan arus bocor pada kondisi coating lebih kecil dibandingkan dengan pada kondisi non-coating baik dalam kondisi kering maupun dalam pengkondisian basah. Hal ini disebabkan oleh proses penghalusan isolator dengan kertas amplas pada kondisi halus dan juga adanya lapisan silicon rubber pada kondisi coating. Silicon rubber bersifat menolak air sehingga tahan terhadap polutan yang

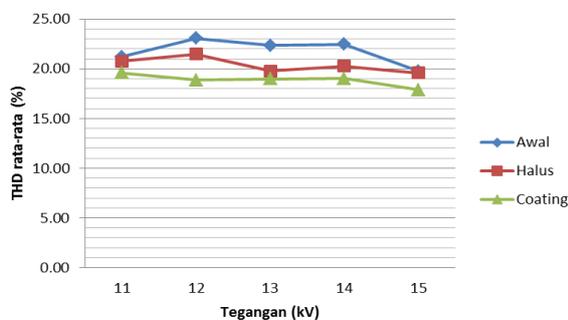
menempel pada permukaan isolator. Keadaan ini menjaga permukaan isolator tetap bersih dan menurunkan konduktivitas listrik permukaan isolator.

3.3. Analisis Nilai THD

Data yang dianalisis pada penelitian ini yaitu bentuk gelombang, spektrum frekuensi, dan distorsi harmonik total (THD) arus bocor permukaan isolator. Dari spektrum frekuensi tersebut, diperoleh nilai THD yang merepresentasikan distorsi harmonik total.

3.3.1. Kondisi Kering

Grafik Perbandingan THD arus bocor terhadap variasi tegangan terapan dan kondisi permukaan adalah sebagai berikut :



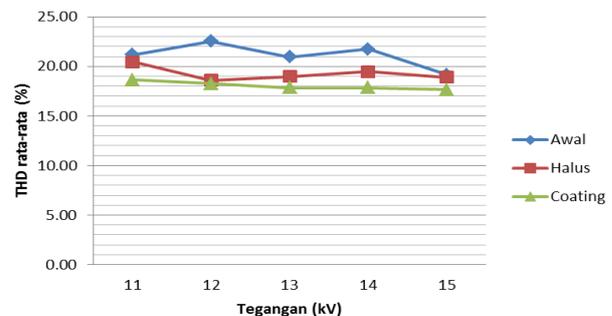
Gambar 14. Perbandingan THD arus bocor permukaan isolator resin epoksi fly ash kondisi kering

Pada gambar 14 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan antara THD dari kondisi awal dan halus hal ini membuktikan bahwa semakin baik kondisi permukaan isolator maka dapat menurunkan nilai THD, kemudian terjadi penurunan nilai THD dari kondisi non coating dan coating saat kondisi kering sebelum dan sesudah dilapisi dengan silicon rubber. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dibuktikan bahwa adanya lapisan silicon rubber pada permukaan isolator dapat menurunkan nilai THD. Silicon rubber bersifat menolak air sehingga tahan terhadap polutan yang menempel pada permukaan isolator. Keadaan ini menjaga permukaan isolator tetap bersih dan menurunkan konduktivitas listrik permukaan isolator.

Kondisi permukaan yang buruk mengakibatkan intensitas terjadinya peluahan pulsa arus pada pita kering atau sparkover semakin meningkat. Nilai THD rata-rata pada isolator dengan kondisi awal, halus dan coating bervariasi. Seharusnya terjadi peningkatan nilai THD seiring dengan meningkatnya tegangan terapan. Hal ini dikarenakan adanya arus bocor sesaat pada permukaan isolator, peluahan parsial yang semakin tinggi dan dikarenakan kondisi permukaan isolator yang tidak identik dan adanya arus bocor sesaat yang terbentuk dari komponen-komponen harmonik arus bocor. Jadi semakin

banyak pita kering dan arus bocor sesaat pada permukaan isolator THD akan semakin meningkat. THD yang semakin meningkat membuktikan bahwa kualitas isolator semakin buruk karena semakin banyak gelombang yang terdistorsi.

3.3.2. Kondisi Basah



Gambar 15. Perbandingan THD arus bocor permukaan isolator resin epoksi fly ash kondisi basah

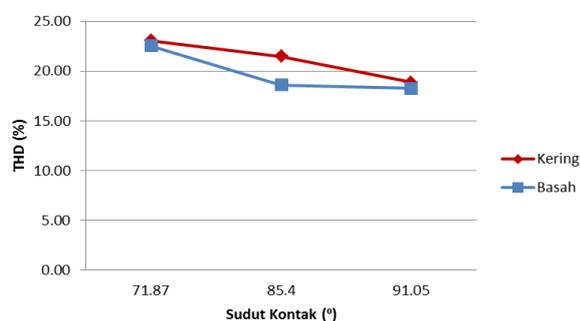
Pada gambar 15 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan antara THD dari kondisi awal dan halus hal ini membuktikan bahwa semakin baik kondisi permukaan isolator maka dapat menurunkan nilai THD, kemudian terjadi penurunan nilai THD dari kondisi non-coating (awal dan halus) dan coating saat kondisi kering sebelum dan sesudah dilapisi dengan silicon rubber. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dibuktikan bahwa adanya lapisan silicon rubber pada permukaan isolator dapat menurunkan nilai THD. Silicon rubber bersifat menolak air sehingga tahan terhadap polutan yang menempel pada permukaan isolator. Keadaan ini menjaga permukaan isolator tetap bersih dan menurunkan konduktivitas listrik permukaan isolator.

Kondisi permukaan yang buruk mengakibatkan intensitas terjadinya peluahan pulsa arus pada pita kering atau sparkover semakin meningkat. Nilai THD rata-rata pada isolator dengan kondisi awal, halus dan coating bervariasi. Seharusnya terjadi peningkatan nilai THD seiring dengan meningkatnya tegangan terapan. Hal ini dikarenakan adanya arus bocor sesaat pada permukaan isolator, peluahan parsial yang semakin tinggi dan dikarenakan kondisi permukaan isolator yang tidak identik dan adanya arus bocor sesaat yang terbentuk dari komponen-komponen harmonik arus bocor. Jadi semakin banyak pita kering dan arus bocor sesaat pada permukaan isolator THD akan semakin meningkat. THD yang semakin meningkat membuktikan bahwa kualitas isolator semakin buruk karena semakin banyak gelombang yang terdistorsi.

3.3.3. Perbandingan THD dan Sudut Kontak pada Tegangan 12kV

Berdasarkan grafik hubungan THD dan sudut kontak yang ditunjukkan pada gambar 16, semakin besar nilai

sudut kontak maka nilai THD akan semakin kecil. Nilai THD mengalami penurunan terhadap kondisi permukaan isolator, semakin bagus kondisi permukaan isolator maka THD yang dihasilkan akan semakin kecil. THD pada kondisi halus lebih kecil dibandingkan dengan pada kondisi awal, dan THD pada kondisi *coating* lebih kecil dibandingkan dengan pada kondisi *non-coating* baik dalam kondisi kering maupun dalam pengkondisian basah. Hal ini disebabkan oleh proses penghalusan isolator dengan kertas amplas pada kondisi halus dan juga adanya lapisan *silicon rubber* pada kondisi *coating*. *Silicon rubber* bersifat *hidrofobik* atau menolak air sehingga tahan terhadap polutan yang menempel pada permukaan isolator.



Gambar 16. Grafik perbandingan THD rata-rata isolator terhadap sudut kontak

Faktor lain yang menyebabkan nilai THD pada *non-coating* lebih besar daripada *coating* adalah pengaruh dari tingkat kelembaban, kondisi permukaan isolator, dan tingkat daya hantar listrik polutan. Pada kondisi kering arus bocor yang dihasilkan mempunyai komponen harmonisa yang lebih banyak dibanding kondisi basah, pada pengkondisian basah bentuk gelombang yang dihasilkan cenderung gelombang sinusoidal. Semakin tinggi tingkat konduktivitas permukaan isolator, bentuk gelombang arus bocor isolator mengarah ke bentuk sinusoidal murni. Pada kondisi basah isolator menjadi konduktif akibat adanya lapisan air akuades DM yang menempel pada permukaan isolator. Dengan semakin tingginya kelembaban isolator, komponen harmonik arus bocor yang terbentuk semakin berkurang. Sehingga THD semakin rendah. Namun, hal itu tidaklah menjamin bahwa unjuk kerja permukaan isolator pada kondisi basah lebih aman dari kondisi kering. Justru pada kelembaban tinggi diperlukan alat proteksi yang lebih akurat, hal ini disebabkan karena dengan tegangan uji yang sama, arus bocor puncak (arus maksimum) lebih besar, sehingga mempercepat terjadinya tegangan lewat denyar (*flashover*).

Pada kondisi basah terlihat bahwa arus bocor meningkat dan THD yang dihasilkan lebih kecil mengindikasikan bahwa isolator dalam keadaan konduktivitas tinggi, panas, dan medan listrik pada permukaan yang cukup tinggi. Magnituda arus bocor yang meningkat menyebabkan isolator mengalami *tracking* dan degradasi permukaan,

karena pada kondisi tersebut akan terjadi peristiwa pita kering (*dryband*) yang dapat mengakibatkan kegagalan isolasi. Oleh karena itu, magnituda arus bocor dan THD dapat digunakan sebagai parameter penentuan kondisi permukaan isolator.

4. Kesimpulan

Nilai sudut kontak pada bahan isolator dipengaruhi oleh kondisi permukaan isolator, yaitu awal, halus dan *coating*. Besar nilai sudut kontak permukaan isolator resin epoksi *fly ash* awal pada berada di antara $66,9^{\circ} - 79,23^{\circ}$; pada kondisi halus berada di antara $81,92^{\circ} - 87,96^{\circ}$. Keduanya termasuk kategori *partially wetted* (basah sebagian). Sedangkan pada isolator resin epoksi *fly ash* yang telah dilapisi dengan *silicon rubber*, sudut kontak berada di antara $90,22^{\circ} - 91,66^{\circ}$. Dimana nilai tersebut merupakan kategori hidrofobik atau tidak basah. *Silicon rubber* terbukti dapat memperbaiki sudut kontak isolator. Semakin tinggi variasi tegangan pengujian yang diterapkan pada isolator meningkatkan nilai arus bocor dan nilai THD. Nilai arus bocor dan THD pada isolator resin epoksi pada kondisi awal lebih besar dibandingkan dengan kondisi halus. Hal ini membuktikan bahwa proses penghalusan menggunakan kertas amplas dapat mengurangi arus bocor dan THD. Nilai arus bocor dan THD pada isolator resin epoksi pada kondisi awal dan halus lebih besar dibandingkan dengan kondisi *coating*. Hal ini membuktikan bahwa proses pelapisan *silicon rubber* pada permukaan isolator dapat menekan arus bocor dan THD. THD yang dihasilkan pada kondisi kering mempunyai nilai yang lebih besar dari kondisi basah. Semakin tinggi tingkat konduktivitas permukaan isolator, bentuk gelombang arus bocor isolator mengarah ke bentuk sinusoidal murni. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konduktivitas akan menurunkan gradien tegangan pada isolator, sehingga semakin kecil terjadinya *partial discharge* yang mana dapat menyebabkan gelombang terdistorsi. Magnituda arus bocor dan THD merupakan indikator terbaik dalam penentuan kondisi permukaan isolator. Hal ini terbukti melalui penelitian-penelitian yang sudah dilakukan bahwa dengan parameter tersebut dapat mengetahui gelombang dan spektrum harmoniknya yang mana dapat dijadikan acuan dalam pemilihan isolator.

Referensi

- [1] Dissado, L.A., Fothergill J.C., *Electrical Degradation and Breakdown in Polymers*, Peter Peregrinus Ltd, London, 1992.
- [2]. Steven, Rudy S., *Pengaruh Polutan Terhadap Tahanan Permukaan Isolator Epoxy Resin*, Skripsi, Universitas Indonesia, Depok, 2008.
- [3]. Sulistyanto, Dwi aji, *Analisis Arus Bocor dan Tegangan Flashover pada Isolator Suspensi 20kV 3 Sirip dengan 4 Tipe Sirip Berbahan Polimer Resin Epoksi Silane Silika*, Skripsi, Universitas Diponegoro, 2012.

- [4]. SPLN 10-3b, 1993. Tingkat Intensitas Polusi Sehubungan Dengan Pedoman Pemilihan Isolator.
- [5]. Arismunandar, A., *Teknik Tegangan Tinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta, 2001.
- [6]. Guror, Ravi S., E.A. Cherney dan J.T Burnham, *Outdoor Insulators*, USA, 1999.
- [7]. Pratiwi, Novriani Tria, *Analisis Pengaruh Coating terhadap Sudut Kontak, Arus Bocor, dan THD Pada Isolator Polimer 20 kV Kondisi Terkontaminasi*. Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.
- [8]. Berahim, Hamzah., *Metodologi untuk Mengkaji Kinerja Isolasi Polimer Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tegangan Tinggi di Daerah Tropis*, Disertasi S-3 Fakultas Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2005.
- [9]. Karady George G, Fellow, *Flashover Mechanism of Silicone Rubber Insulators used for Outdoor Insulation – I*, Arizona state University, Arizona, 1995.
- [10]. Sudirman S. dan Sri Kurniati A., *Pengujian Arus Bocor Isolator 20 kv Berbahan Polimer Epoxy Resin dengan Mempertimbangkan Tekanan dan Kelembaban*, Seminar Nasional Sains dan Teknik, Undama, Nusa Tenggara Timur, 2012.
- [11]. Susilawati, Dyah Ika, *Analisa Arus Bocor Permukaan Sampel Bahan Isolasi resin Epoksi Silane Menggunakan Metode Pengukuran Inclined-Plane tracking Dengan Polutan Pantai Parangtritis*, Skripsi, Universitas Diponegoro, Semarang, 2010.
- [12]. Syakur, Abdul, *Teori dan Hasil Eksperimen Partial Discharge Pada Bahan isolasi*, BP UNDIP, Semarang, 2009.
- [13]. Tobing, Bonggas L, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [14]. Tobing, Bonggas L, *Peralatan Tegangan Tinggi*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [15]. Syakur, Abdul dan Hermawan, *Leakage Current Characteristics at Different Shed of Epoxy Resin Insulator under Rain Contaminants*, ICITACEE, 2014.
- [16]. Wibowo, Andri, *Analisis Distorsi Harmonik Total Arus Bocor Permukaan Isolator Resin Epoksi Pengisi Silika Kondisi Kering dan Basah*, Skripsi, Universitas Diponegoro, 2015.