

ANALISIS PENGARUH JENIS KONTAMINAN TERHADAP ARUS BOCOR DAN THD (*Total Harmonic Distortion*) PADA ISOLATOR POLIMER RESIN EPOKSI 20 KV DENGAN VARIASI TEGANGAN UJI

Eddy Darmawan^{*)}, Hermawan, and Abdul Syakur

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

^{*)}E-mail: darmawaneddy9@gmail.com

Abstrak

Isolasi memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Isolasi sangat diperlukan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian kontaminasi pada isolator polimer dengan material resin epoksi mengenai arus bocor. Pada tugas akhir ini, penelitian mengenai arus bocor dilakukan pada isolator polimer resin epoksi pengisi silica dalam kondisi tidak baru atau bekas. Penelitian ini difokuskan pada besar sudut kontak, arus bocor, tipe sirip isolator, pengaruh kontaminan terhadap timbulnya arus bocor, nilai konduktivitas dari kontaminan terhadap arus bocor, dan karakteristik harmonik permukaan isolator pada kondisi kering dan basah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sudut kontak permukaan isolator tipe sirip BKB diperoleh nilai rata – rata yaitu Polutan Pantai 90,79⁰, Polutan AquadesDM 87,51⁰, Polutan Industri 90,58⁰ dan Polutan Air Hujan 86,52⁰ yang dapat dikategorikan bersifat basah sebagian. Nilai arus bocor tipe sirip BBB dan BKB keduanya saat kondisi kering hasilnya lebih rendah dibandingkan saat kondisi terkontaminasi. Pada hasil THD, untuk tipe sirip BBB dan BKB saat kondisi kering maupun basah nilai presentase cenderung tidak konstan atau simetris dengan meningkatnya nilai tegangan uji.

Kata Kunci : isolator, arus bocor, kontaminasi, sudut kontak, resin epoksi, distorsi harmonik total

Abstract

Isolation has a very important role in the power system. Isolation is necessary to separate two or more electrically conductive the voltage .Therefore, it is necessary to study contamination of the polymer insulator with an epoxy resin material regarding the leakage current. In this thesis, conducted research on the leakage current on polymer insulator epoxy resin filler silica in new or used condition. This study focused on large contact angle, leakage current, fin-type insulators, the effect of contaminants on the incidence of leakage current, conductivity values of contaminants to the leakage current, and harmonic characteristics insulator surface in dry and wet conditions. The test results that the contact angle of the surface of the fin-type insulators BKB obtained value - average is Pollutants Beach 90,79⁰, pollutants AquadesDM 87.51⁰, Industrial Pollutants 90.58⁰ and Pollutants Rain 86.52⁰ which can be categorized is partially wetted. Fin-type leakage current value BBB and BKB both current dry conditions yields are lower than when contaminated conditions. On the results of THD, for the type of fin BBB and BKB when wet or dry conditions tend to be constant percentage value or symmetric with the rising value of the test voltage, the surface of the insulator.

Keywords: insulators, leakage, contamination, contact angle, epoxy resin, total harmonic distortion

1. Pendahuluan

Isolator merupakan salah satu komponen sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengisolasi konduktor jaringan bertegangan dengan tiang penyangga atau menara (tower)[7][15][16]. 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[4][6]. 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*)[4].

Letak isolator di luar ruangan memungkinkan untuk terkontaminasi oleh polusi. Faktor lingkungan berupa kondisi kering atau basah juga berpengaruh pada isolator. Salah satunya pengaruh terhadap permukaan isolator yang dapat menyebabkan arus bocor pada isolator. Arus bocor cenderung lebih besar ketika terkontaminasi kondisi

basah daripada kondisi kering[2]. Jenis kontaminan terhadap arus bocor yang terjadi pada isolator, dimana kontaminan yang diperoleh dilakukan pengambilan bahan material yang ada didalam kandungan kontaminan tersebut. Jenis kontaminan yang saya pakai antara lain : air hujan, area industri, air pantai/ laut, dan air aquadesDM. Pengaruh yang dapat diambil terhadap isolator yaitu ketika kondisi basah arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator akan menjadi sangat tinggi. Sementara pada saat kondisi kering lapisan polutan ini tidak memiliki efek yang terlalu merugikan pada isolator. Dalam metode ini material isolasi dengan ukuran tertentu diposisikan dengan sudut 45^0 dan diberikan cairan larutan kontaminan buatan dengan aliran tertentu. Sesuai dengan metode IPT yaitu mengetahui sifat hidrofobik permukaan material karena permukaan material yang akan diuji dengan posisi dimiringkan dan diberi tetesan kontaminan[14]. Dengan menggunakan parameter THD arus bocor yang mengalir dapat ditentukan sifat hidrofobik material isolasi yang terkontaminasi[8]. Oleh karena itu, dengan mengetahui karakteristik arus bocor, sudut kontak dan komponen harmonik isolator diharapkan dapat mendeteksi kondisi permukaan isolator resin epoksi.

2. Metode

Berikut disajikan diagram alir penelitian yang digunakan dalam penelitian ini



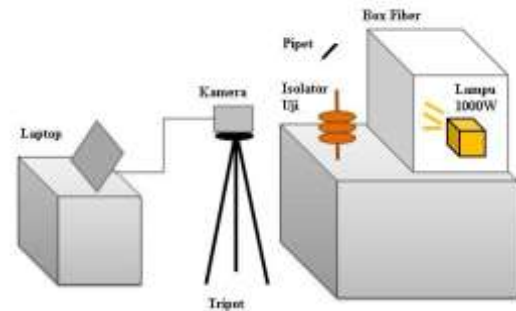
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Peralatan Pengujian Sudut Kontak

Peralatan dan bahan pengujian sudut kontak yang dipergunakan :

1. Kamera DSLR
2. Seperangkat komputer dan software coreldraw X5
3. Alas uji
4. Seperangkat lampu pijar 1000 watt dan box fiber
5. Pipet tetes 50 μ L

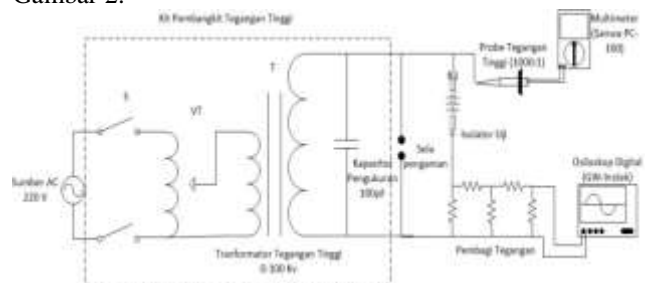
6. Gelas ukur
7. Air Hujan
8. Air Aquades DM



Gambar 2 Rangkaian Pengambilan Sudut Kontak

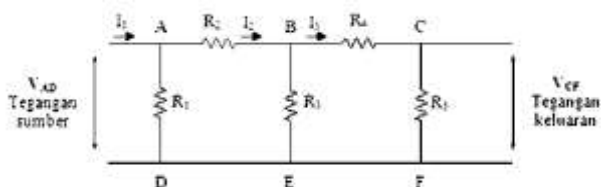
2.2 Peralatan Pengujian Arus Bocor

Memperoleh data karakteristik arus bocor dari masing-masing sampel, maka dilakukan pengujian arus bocor dengan rangkaian pengujian sesuai yang ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 3 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 4 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 3 akan diperoleh perhitungan sebagai berikut:

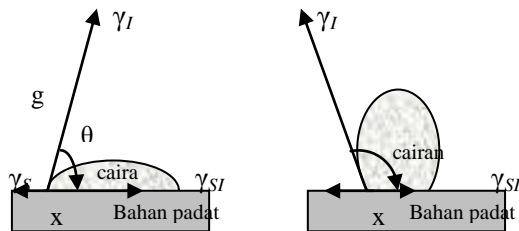
$$I_1 = 1,256717647 V_{CF}$$

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 Analisis

3.1 Hasil Pengukuran Sudut Kontak

Sudut kontak merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan bahan uji dengan air destilasi yang diteteskan ke permukaan bahan uji. Pengukuran sudut kontak pada suatu bahan isolasi dilakukan untuk mengetahui sifat permukaan bahan, hidrofobik atau hidrofilik[19]. 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[13].



Gambar 5 Sudut Kontak Tetesan Cairan pada Permukaan Isolator

3.2 Pengukuran Sudut Kontak Isolator Resin Epoksi Silika Tipe Sirip BKB

3.2.1 Hasil pengukuran sudut kontak isolator resin epoksi silika tipe sirip BKB

3.2.1.1 Polutan Pantai



Gambar 6 Sudut Kontak permukaan Isolator polimer resin epoksi silika Polutan Pantai

Sudut kontak kiri = 88,09°
Sudut kontak kanan = 89,55°

Untuk menentukan sudut kontak dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{SudutKontak} = \frac{\text{SudutKontakKiri} + \text{SudutKontakKanan}}{2}$$

$$\text{SudutKontak} = \frac{88,09^{\circ} + 89,55^{\circ}}{2}$$

$$\text{SudutKontak} = 88,82^{\circ}$$

Berdasarkan Gambar 6 pengukuran sudut kontak isolator dengan tipe sirip BBB di atas menunjukkan nilai sudut kontak rata-ratanya sebesar 90,10° dan berada mendekati di kisaran ±90°, sehingga dapat dikategorikan bersifat *hydrophobic* (menolak air)[10][17][20].

3.2.1.2 Polutan Aquades DM



Gambar 7 Sudut Kontak permukaan Isolator polimer resin epoksi silika Polutan AquadesDM

Sudut kontak kiri = 90°
Sudut kontak kanan = 84,65°

Untuk menentukan sudut kontak dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{SudutKontak} = \frac{\text{SudutKontakKiri} + \text{SudutKontakKanan}}{2}$$

$$\text{SudutKontak} = \frac{90^{\circ} + 84,65^{\circ}}{2}$$

$$\text{SudutKontak} = 87,325^{\circ}$$

Berdasarkan Gambar 7 pengukuran sudut kontak isolator dengan tipe sirip BKB di atas menunjukkan nilai sudut kontak rata-ratanya sebesar 87,511° dan berada di kisaran 30° sampai dengan 90°, sehingga dapat dikategorikan bersifat *partially wetted* (basah sebagian)[10][17][20].

3.2.1.3 Polutan Industri



Gambar 8 Sudut Kontak permukaan Isolator polimer resin epoksi silika Polutan Industri

Sudut kontak kiri = 90°
Sudut kontak kanan = 90,21°

Untuk menentukan sudut kontak dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{SudutKontak} = \frac{\text{SudutKontakKiri} + \text{SudutKontakKanan}}{2}$$

$$\begin{aligned} \text{SudutKontak} &= \frac{90^{\circ} + 90,21^{\circ}}{2} \\ \text{SudutKontak} &= 90,105^{\circ} \end{aligned}$$

Berdasarkan Gambar 8 pengukuran sudut kontak isolator dengan tipe sirip BKB di atas menunjukkan nilai sudut kontak rata-ratanya sebesar $90,58^{\circ}$ dan berada mendekati di kisaran $\pm 90^{\circ}$, sehingga dapat dikategorikan bersifat *hydrophobic* (menolak air)[10][17][20].

3.2.1.4 Polutan Air Hujan



Gambar 9 Sudut Kontak permukaan Isolator polimer resin epoksi silika Polutan Air Hujan

Sudut kontak kiri = $85,76^{\circ}$
 Sudut kontak kanan = $87,7^{\circ}$
 Untuk menentukan sudut kontak dapat digunakan rumus sebagai berikut:

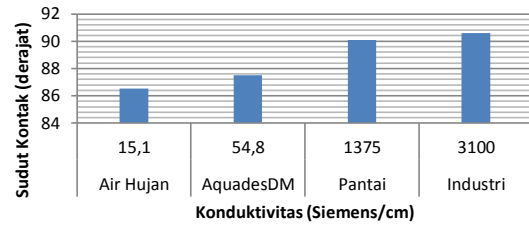
$$\begin{aligned} \text{SudutKontak} &= \frac{\text{SudutKontakKiri} + \text{SudutKontakKanan}}{2} \\ \text{SudutKontak} &= \frac{85,76^{\circ} + 87,7^{\circ}}{2} \\ \text{SudutKontak} &= 86,73^{\circ} \end{aligned}$$

Berdasarkan Gambar 9 pengukuran sudut kontak isolator dengan tipe sirip BBB di atas menunjukkan nilai sudut kontak rata-ratanya sebesar $86,521^{\circ}$ dan berada di kisaran 30° sampai dengan 90° , sehingga dapat dikategorikan bersifat *partially wetted* (basah sebagian)[10][17][20]. Dari ke-empat polutan sesuai hasil pengukuran dan perhitungan sudut kontak isolator diatas dapat dibuat tabel.

Tabel 1 Hasil Rata-rata pengukuran sudut kontak Isolator Polimer Resin Epoksi Silika Tipe Sirip BKB

No	Isolator Polimer Resin Epoksi Silika Tipe Sirip BKB			
	Polutan AquadesDM	Polutan Industri	Polutan Pantai	Polutan Air Hujan
1	$87,51^{\circ}$	$90,58^{\circ}$	$90,10^{\circ}$	$86,52^{\circ}$

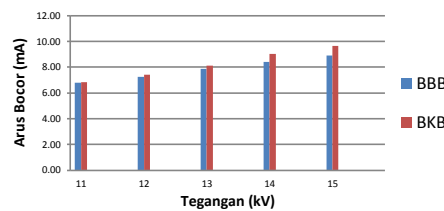
Dari tabel 1 dapat dibuat grafik sebagai berikut.



Gambar 10 Grafik Hasil Perhitungan Sudut Kontak keempat Polutan pada Isolator Polimer Resin Epoksi Silika Tipe Sirip BKB

Berdasarkan Gambar 10 bahwa isolator tersebut dikatakan sebagian bersifat *partially wetted* (basah sebagian), hal ini disebabkan karena pengaruh adanya pasir silika dalam isolator tersebut. Pasir silika memiliki unsur penyusun kimia SiO_2 berupa kristal silika dan memiliki sifat hidrofilik atau menyerap air, yang dapat menyebabkan meningkatnya arus bocor pada permukaan isolator. Sifat hidrofobik ini berbanding lurus dengan nilai sudut kontak suatu bahan, sehingga bila nilai sudut kontak semakin kecil maka sifat hidrofobik suatu bahan akan semakin buruk. Tetapi untuk data BKB polutan pantai dan industri hasilnya mendekati di kisaran $\pm 90^{\circ}$, sehingga dapat dikategorikan bersifat *hydrophobic* (menolak air). Jadi bahan yang digunakan dalam kondisi baik dan menolak air[13][17].

3.3 Hasil Pengukuran Arus Bocor Bahan Isolator Polimer Resin Epoksi Silika 20 kV

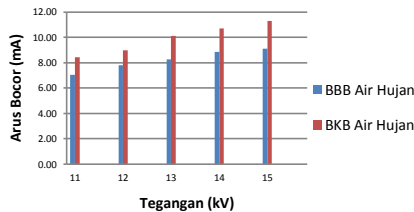


Gambar 11 Grafik hubungan tegangan dan arus bocor pada Isolator polimer resin epoksi silika kondisi kering

Berdasarkan gambar 11 hubungan antara tegangan dan arus bocor berbanding lurus, semakin besar tegangan yang diterapkan pada isolator maka arus bocor yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan ketika tegangan yang diterapkan pada bahan isolator meningkat, pelepasan muatan yang terjadi pada permukaan isolator akan semakin besar[2][3][5][6].

Nilai arus bocor rata-rata pada isolator dengan bentuk sirip tipe BKB lebih besar dari nilai arus bocor rata-rata isolator dengan bentuk sirip BBB. Hal ini terjadi dikarenakan jarak lintasan atau rayap (*leakage or creepage distance*) isolator dengan bentuk sirip tipe BKB lebih pendek sehingga resistansi permukaan isolator yang dilalui arus bocor lebih kecil dibandingkan dengan tipe

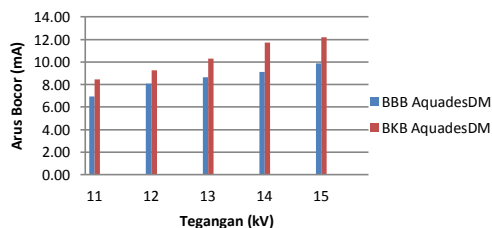
sirip BBB. Tipe sirip BKB memiliki jarak rayap sebesar 345 mm sedangkan sirip BBB sebesar 377 mm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin panjang jarak lintasan/rayap dan semakin besar luas penampang isolator maka nilai arus bocor yang dihasilkan akan semakin kecil[6][9][10].



Gambar 12 Grafik hubungan tegangan dan arus bocor pada Isolator polimer resin epoksi silika kondisi Terkontaminasi Air Hujan

Berdasarkan gambar 12 hubungan antara tegangan dan arus bocor berbanding lurus, semakin besar tegangan yang diterapkan pada isolator maka arus bocor yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan ketika tegangan yang diterapkan pada bahan isolator meningkat, pelepasan muatan yang terjadi pada permukaan isolator akan semakin besar[2][3][5][6].

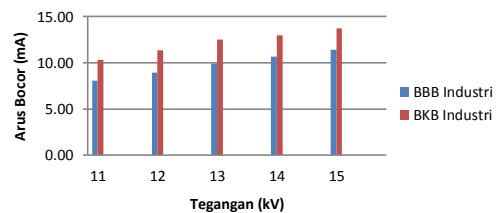
Nilai arus bocor rata-rata pada isolator dengan bentuk sirip tipe BKB lebih besar dari nilai arus bocor rata-rata isolator dengan bentuk sirip BBB. Hal ini terjadi dikarenakan jarak lintasan atau rayap (*leakage or creepage distance*) isolator dengan bentuk sirip tipe BKB lebih pendek sehingga resistansi permukaan isolator yang dilalui arus bocor lebih kecil dibandingkan dengan tipe sirip BBB. Tipe sirip BKB memiliki jarak rayap sebesar 345 mm sedangkan sirip BBB sebesar 377 mm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin panjang jarak lintasan/rayap dan semakin besar luas penampang isolator maka nilai arus bocor yang dihasilkan akan semakin kecil[6][9][10].



Gambar 13 Grafik hubungan tegangan dan arus bocor pada Isolator polimer resin epoksi silika kondisi Terkontaminasi AquadesDM

Berdasarkan gambar 13 hubungan antara tegangan dan arus bocor berbanding lurus, semakin besar tegangan yang diterapkan pada isolator maka arus bocor yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan ketika tegangan yang diterapkan pada bahan isolator meningkat, pelepasan muatan yang terjadi pada permukaan isolator akan semakin besar [2][3][5][6].

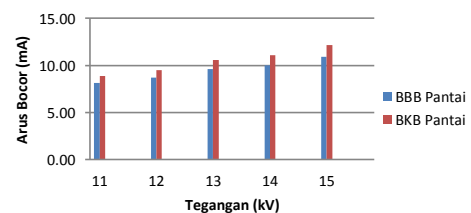
Nilai arus bocor rata-rata pada isolator dengan bentuk sirip tipe BKB lebih besar dari nilai arus bocor rata-rata isolator dengan bentuk sirip BBB. Hal ini terjadi dikarenakan jarak lintasan atau rayap (*leakage or creepage distance*) isolator dengan bentuk sirip tipe BKB lebih pendek sehingga resistansi permukaan isolator yang dilalui arus bocor lebih kecil dibandingkan dengan tipe sirip BBB. Tipe sirip BKB memiliki jarak rayap sebesar 345 mm sedangkan sirip BBB sebesar 377 mm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin panjang jarak lintasan/rayap dan semakin besar luas penampang isolator maka nilai arus bocor yang dihasilkan akan semakin kecil[6][9][10].



Gambar 14 Grafik hubungan tegangan dan arus bocor pada Isolator polimer resin epoksi silika kondisi Terkontaminasi Industri

Berdasarkan gambar 14 hubungan antara tegangan dan arus bocor berbanding lurus, semakin besar tegangan yang diterapkan pada isolator maka arus bocor yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan ketika tegangan yang diterapkan pada bahan isolator meningkat, pelepasan muatan yang terjadi pada permukaan isolator akan semakin besar[2][3][5][6].

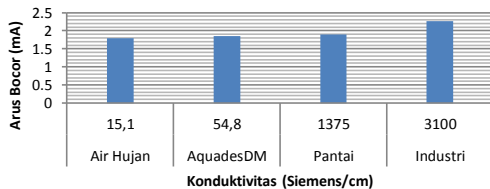
Nilai arus bocor rata-rata pada isolator dengan bentuk sirip tipe BKB lebih besar dari nilai arus bocor rata-rata isolator dengan bentuk sirip BBB. Hal ini terjadi dikarenakan jarak lintasan atau rayap (*leakage or creepage distance*) isolator dengan bentuk sirip tipe BKB lebih pendek sehingga resistansi permukaan isolator yang dilalui arus bocor lebih kecil dibandingkan dengan tipe sirip BBB. Tipe sirip BKB memiliki jarak rayap sebesar 345 mm sedangkan sirip BBB sebesar 377 mm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin panjang jarak lintasan/rayap dan semakin besar luas penampang isolator maka nilai arus bocor yang dihasilkan akan semakin kecil[6][9][10].



Gambar 15 Grafik hubungan tegangan dan arus bocor pada Isolator polimer resin epoksi silika kondisi Terkontaminasi Pantai

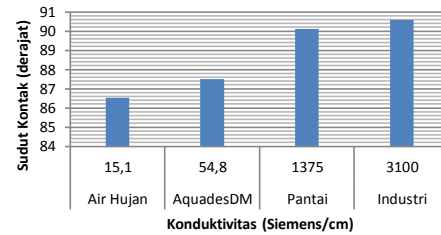
Berdasarkan gambar 15 hubungan antara tegangan dan arus bocor berbanding lurus, semakin besar tegangan yang diterapkan pada isolator maka arus bocor yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan ketika tegangan yang diterapkan pada bahan isolator meningkat, pelepasan muatan yang terjadi pada permukaan isolator akan semakin besar[2][3][5][6].

Nilai arus bocor rata-rata pada isolator dengan bentuk sirip tipe BKB lebih besar dari nilai arus bocor rata-rata isolator dengan bentuk sirip BBB. Hal ini terjadi dikarenakan jarak lintasan atau rayap (*leakage or creepage distance*) isolator dengan bentuk sirip tipe BKB lebih pendek sehingga resistansi permukaan isolator yang dilalui arus bocor lebih kecil dibandingkan dengan tipe sirip BBB. Tipe sirip BKB memiliki jarak rayap sebesar 345 mm sedangkan sirip BBB sebesar 377 mm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin panjang jarak lintasan/rayap dan semakin besar luas penampang isolator maka nilai arus bocor yang dihasilkan akan semakin kecil[6][9][10].



Gambar 16 Grafik hubungan pengaruh kontaminasi dengan arus bocor rata-rata pada Isolator polimer resin epoksi silika tipe sirip BBB

Berdasarkan gambar 16 Meningkatnya nilai arus bocor rata-rata pada kondisi terkontaminasi juga disebabkan adanya kandungan logam di sebagian sampel polutan antara lain Kontaminasi dari Semen Gresik Industri (KCL 6,5016 mg/l, NaCl 789,6483 mg/l, CaCl₂ 665,8335 mg/l, MgCl₂·6H₂O 649,4816 mg/l) dengan daya hantar listrik sebesar 3.100 Siemens/cm. Kontaminasi dari Pantai Parangtritis (KCL 2,0872 mg/l, NaCl 466,2196 mg/l, CaCl₂ 97,4996 mg/l, MgCl₂·6H₂O 243,6592 mg/l) dengan daya hantar listrik sebesar 1.375 Siemens/cm. Kontaminasi dari Air Hujan (Fe 0,084 mg/l, Mg <0,005 mg/l, Cr <0,04 mg/l, Cu <0,005, Pb <0,05 mg/l) dengan daya hantar listrik 15,10 Siemens/cm. Kontaminasi dari aquades DM (H₂O 100% atau hanya terkandung air, tidak ada mineral lainnya) dengan daya hantar listrik 54,80 Siemens/cm.

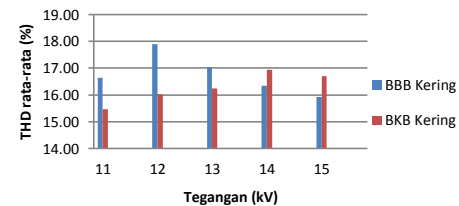


Gambar 17 Grafik hubungan pengaruh kontaminasi dengan arus bocor rata-rata pada Isolator polimer resin epoksi silika tipe sirip BKB

Berdasarkan gambar 17 Meningkatnya nilai arus bocor rata-rata pada kondisi terkontaminasi juga disebabkan adanya kandungan logam di sebagian sampel polutan antara lain Kontaminasi dari Semen Gresik Industri (KCL 6,5016 mg/l, NaCl 789,6483 mg/l, CaCl₂ 665,8335 mg/l, MgCl₂·6H₂O 649,4816 mg/l) dengan daya hantar listrik sebesar 3.100 Siemens/cm. Kontaminasi dari Pantai Parangtritis (KCL 2,0872 mg/l, NaCl 466,2196 mg/l, CaCl₂ 97,4996 mg/l, MgCl₂·6H₂O 243,6592 mg/l) dengan daya hantar listrik sebesar 1.375 Siemens/cm. Kontaminasi dari Air Hujan (Fe 0,084 mg/l, Mg <0,005 mg/l, Cr <0,04 mg/l, Cu <0,005, Pb <0,05 mg/l) dengan daya hantar listrik 15,10 Siemens/cm. Kontaminasi dari aquades DM (H₂O 100% atau hanya terkandung air, tidak ada mineral lainnya) dengan daya hantar listrik 54,80 Siemens/cm.

3.4 Analisis Bentuk Gelombang dan Nilai THD Arus Bocor Permukaan Isolator Resin Epoksi

3.4.1 Kondisi Kering



Gambar 18 Grafik hubungan tegangan dan %THD rata-rata pada Isolator polimer resin epoksi silika kondisi Kering

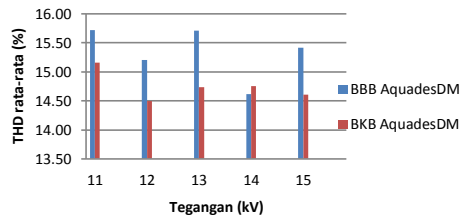
Apabila dilihat gambar 18 mengenai hubungan antara tegangan dan %THD untuk kedua tipe sirip BBB atau BKB yaitu semakin besar nilai tegangan maka nilai %THD juga semakin besar, tetapi untuk %THD pada tegangan 14 kV dan 15kV tipe sirip BBB lebih rendah dibandingkan tipe sirip BKB. Hal ini dikarenakan adanya arus bocor sesaat pada permukaan isolator, peluahan parsial yang semakin tinggi serta adanya perbedaan beda potensial terhadap kedua jenis isolator tersebut[4][14][16][21][23].

Nilai %THD rata-rata untuk tipe sirip BBB kondisi kering yaitu 33,3% sedangkan untuk tipe sirip BKB kondisi kering yaitu 30,9%. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori dimana secara rata-rata keseluruhan nilai %THD tipe sirip BBB lebih besar dibandingkan tipe sirip BKB.

Bentuk sirip isolator berpengaruh terhadap nilai THD yang dihasilkan, dikarenakan isolator tipe sirip BBB memiliki jarak rayap 377 mm dan luas permukaan yang lebih besar. Luas permukaan yang besar mengakibatkan intensitas terjadinya peluahan pulsa arus pada pita kering atau *sparkover* semakin meningkat[14][20].

3.4.2 Kondisi Basah

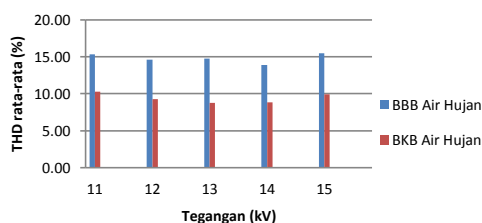
3.4.2.1 Polutan AquadesDM



Gambar 19 Grafik hubungan tegangan dan %THD rata-rata pada Isolator polimer resin epoksi silika kondisi terkontaminasi AquadesDM

Apabila dilihat gambar 19 mengenai hubungan antara tegangan dan %THD untuk kedua tipe sirip BBB atau BKB yaitu semakin besar nilai tegangan maka nilai %THD juga semakin besar, tetapi untuk %THD pada tegangan 14 kV tipe sirip BBB lebih rendah dibandingkan tipe sirip BKB. Hal ini dikarenakan adanya arus bocor sesaat pada permukaan isolator, peluahan parsial yang semakin tinggi serta adanya perbedaan beda potensial terhadap kedua jenis isolator tersebut[4][14][16][18][20]. Nilai %THD rata-rata untuk tipe sirip BBB kondisi kering yaitu 31,438 % sedangkan untuk tipe sirip BKB kondisi kering yaitu 30,322 %. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori dimana secara rata-rata keseluruhan nilai %THD tipe sirip BBB lebih besar dibandingkan tipe sirip BKB. Bentuk sirip isolator berpengaruh terhadap nilai THD yang dihasilkan, dikarenakan isolator tipe sirip BBB memiliki jarak rayap 377 mm dan luas permukaan yang lebih besar. Luas permukaan yang besar mengakibatkan intensitas terjadinya peluahan pulsa arus pada pita kering atau *sparkover* semakin meningkat[14][20].

3.4.2.2 Polutan Air Hujan



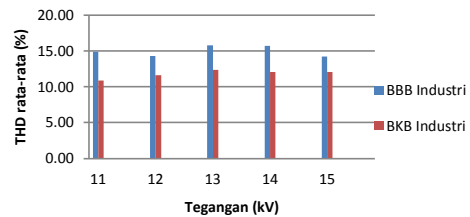
Gambar 20 Grafik hubungan tegangan dan %THD rata-rata pada Isolator polimer resin epoksi silika kondisi terkontaminasi Air Hujan

Apabila dilihat gambar 20 mengenai hubungan antara tegangan dan %THD untuk kedua tipe sirip BBB atau BKB yaitu semakin besar nilai tegangan maka nilai %THD juga semakin besar, tetapi untuk %THD tidak

konstan dan tidak simetris. Hal ini dikarenakan adanya arus bocor sesaat pada permukaan isolator dan peluahan parsial yang semakin tinggi terhadap kedua jenis isolator tersebut[4][14][16][18][20].

Nilai %THD rata-rata untuk tipe sirip BBB kondisi kering yaitu 30,7 % sedangkan untuk tipe sirip BKB kondisi kering yaitu 20,5 %. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori dimana secara rata-rata keseluruhan nilai %THD tipe sirip BBB lebih besar dibandingkan tipe sirip BKB. Bentuk sirip isolator berpengaruh terhadap nilai THD yang dihasilkan, dikarenakan isolator tipe sirip BBB memiliki jarak rayap 377 mm dan luas permukaan yang lebih besar. Luas permukaan yang besar mengakibatkan intensitas terjadinya peluahan pulsa arus pada pita kering atau *sparkover* semakin meningkat[14][20].

3.4.2.3 Polutan Industri

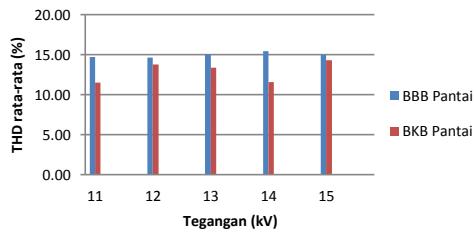


Gambar 21 Grafik hubungan tegangan dan %THD rata-rata pada Isolator polimer resin epoksi silika kondisi terkontaminasi Industri

Apabila dilihat gambar 21 mengenai hubungan antara tegangan dan %THD untuk kedua tipe sirip BBB atau BKB yaitu semakin besar nilai tegangan maka nilai %THD juga semakin besar, tetapi untuk %THD tidak konstan dan tidak simetris. Hal ini dikarenakan adanya arus bocor sesaat pada permukaan isolator, peluahan parsial yang semakin tinggi serta adanya perbedaan beda potensial terhadap kedua jenis isolator tersebut[4][14][16][18][20].

Nilai %THD rata-rata untuk tipe sirip BBB kondisi kering yaitu 29,781 % sedangkan untuk tipe sirip BKB kondisi kering yaitu 21,7 %. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori dimana secara rata-rata keseluruhan nilai %THD tipe sirip BBB lebih besar dibandingkan tipe sirip BKB. Bentuk sirip isolator berpengaruh terhadap nilai %THD yang dihasilkan, dikarenakan isolator tipe sirip BBB memiliki jarak rayap 377 mm dan luas permukaan yang lebih besar. Luas permukaan yang besar mengakibatkan intensitas terjadinya peluahan pulsa arus pada pita kering atau *sparkover* semakin meningkat[14][20].

3.4.2.4 Polutan Pantai



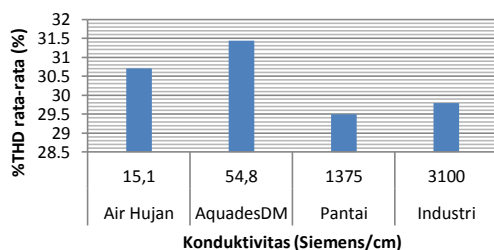
Gambar 22 Grafik hubungan tegangan dan %THD rata-rata pada Isolator polimer resin epoksi silika kondisi terkontaminasi Pantai

Apabila dilihat gambar 22 mengenai hubungan antara tegangan dan %THD untuk kedua tipe sirip BBB atau BKB yaitu semakin besar nilai tegangan maka nilai %THD juga semakin besar, tetapi untuk %THD tidak konstan dan tidak simetris. Hal ini dikarenakan adanya arus bocor sesaat pada permukaan isolator, peluahan parsial yang semakin tinggi serta adanya perbedaan beda potensial terhadap kedua jenis isolator tersebut[4][14][16][18][20].

Nilai %THD rata-rata untuk tipe sirip BBB kondisi kering yaitu 29,5 % sedangkan untuk tipe sirip BKB kondisi kering yaitu 23,068 %. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori dimana secara rata-rata keseluruhan nilai %THD tipe sirip BBB lebih besar dibandingkan tipe sirip BKB. Bentuk sirip isolator berpengaruh terhadap nilai THD yang dihasilkan, dikarenakan isolator tipe sirip BBB memiliki jarak rayap 377 mm dan luas permukaan yang lebih besar. Luas permukaan yang besar mengakibatkan intensitas terjadinya peluahan pulsa arus pada pita kering atau *sparkover* semakin meningkat[14][20].

3.4.3 Analisis Kontaminan dan Nilai THD Arus Bocor Permukaan Isolator Resin Epoks

Berikut ini hasil pengolahan nilai kontaminasi dan THD terhadap kondisi kering pada Isolator Polimer Resin Epoksi

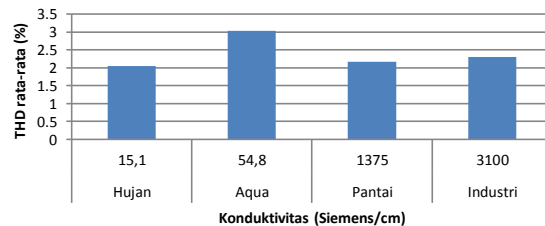


*Data Konduktivitas berdasar Uji Lab BPIK

Gambar 23 Grafik hubungan pengaruh jenis kontaminan terhadap nilai %THD rata-rata Isolator Polimer Resin Epoksi tipe sirip BBB

Dari gambar 23 dapat dijelaskan bahwa pengaruh polutan terhadap nilai %THD yaitu pada saat awal penyemprotan aliran kontaminan mulai membasahi sebagian permukaan isolator secara acak sehingga membentuk jalur konduksi yang tidak kontinu berupa *droplet*. Peristiwa

pembasahan permukaan material isolator yang berkelanjutan meningkatkan densitas *droplet* sehingga menurunkan jarak antar *droplet*. Interaksi *droplet* dan medan listrik bolak-balik menghasilkan sebuah gaya osilasi yang menyebabkan *droplet* menjadi semakin panjang dan semakin merata dipermukaan isolator. Jika jarak *droplet* berdekatan maka akan menyatu membentuk filamen, dimana filamen tersebut akan terbentuk secara acak di permukaan isolator. Meningkatnya panjang filamen dan formasi kontaminan akan menyebabkan jalur bocor yang merupakan jalur konduktif elektrolit. Dengan adanya kontaminan tersebut permukaan isolator sifat hidrofobik menjadi berkurang dan semakin bersifat hidrofilik. Sehingga jalur konduktif elektrolit terbentuk pada permukaan isolator akan semakin seragam dan kontinu ditunjukkan dengan Nilai %THD rata-rata yang semakin turun[14]. Untuk perbandingan antara jenis kontaminan dipengaruhi oleh nilai konduktivitas pada material yang terkandung pada polutan yaitu Kontaminasi dari Semen Gresik Industri (KCL 6,5016 mg/l, NaCl 789,6483 mg/l, CaCl₂ 665,8335 mg/l, MgCl₂·6H₂O 649,4816 mg/l) dengan daya hantar listrik sebesar 3.100 Siemens/cm. Kontaminasi dari Pantai Parangtritis (KCL 2,0872 mg/l, NaCl 466,2196 mg/l, CaCl₂ 97,4996 mg/l, MgCl₂·6H₂O 243,6592 mg/l) dengan daya hantar listrik sebesar 1.375 Siemens/cm. Kontaminasi dari Air Hujan (Fe 0,084 mg/l, Mg <0,005 mg/l, Cr <0,04 mg/l, Cu <0,005, Pb <0,05 mg/l) dengan daya hantar listrik 15,10 Siemens/cm. Kontaminasi dari aquades DM (H₂O 100% atau hanya terkandung air, tidak ada mineral lainnya) dengan daya hantar listrik 54,80 Siemens/cm.



*Data Konduktivitas berdasar Uji Lab BPIK

Gambar 24 Grafik hubungan pengaruh jenis kontaminan terhadap nilai %THD rata-rata Isolator Polimer Resin Epoksi tipe sirip BKB

Dari gambar 24 dapat dijelaskan bahwa pengaruh polutan terhadap nilai %THD yaitu pada saat awal penyemprotan aliran kontaminan mulai membasahi sebagian permukaan isolator secara acak sehingga membentuk jalur konduksi yang tidak kontinu berupa *droplet*. Peristiwa pembasahan permukaan material isolator yang berkelanjutan meningkatkan densitas *droplet* sehingga menurunkan jarak antar *droplet*. Interaksi *droplet* dan medan listrik bolak-balik menghasilkan sebuah gaya osilasi yang menyebabkan *droplet* menjadi semakin panjang dan semakin merata dipermukaan isolator. Jika jarak *droplet* berdekatan maka akan menyatu

membentuk filamen, diman filamen tersebut akan terbentuk secara acarak di permukaan isolator. Meningkatkan panjang filamen dan formasi kontaminan akan menyebabkan jalur bocor yang merupakan jalur konduktif elektrolit. Dengan adanya kontaminan tersebut permukaan isolator sifat hidrofobik menjadi berkurang dan semakin bersifat hidrofilik. Sehingga jalur konduktif elektrolit terbentuk pada permukaan isolator akan semakin seragam dan kontinu ditunjukkan dengan Nilai %THD rata-rata yang meningkat sesaat[14]. Untuk perbandingan antara jenis kontaminan dipengaruhi oleh nilai konduktivitas pada material yang terkandung pada polutan yaitu Kontaminasi dari Semen Gresik Industri (KCL 6,5016 mg/l, NaCl 789,6483 mg/l, CaCl₂ 665,8335 mg/l, MgCl₂6H₂O 649,4816 mg/l) dengan daya hantar listrik sebesar 3.100 Siemens/cm. Kontaminasi dari Pantai Parangtritis (KCL 2,0872 mg/l, NaCl 466,2196 mg/l, CaCl₂ 97,4996 mg/l, MgCl₂6H₂O 243,6592 mg/l) dengan daya hantar listrik sebesar 1.375 Siemens/cm. Kontaminasi dari Air Hujan (Fe 0,084 mg/l, Mg <0,005 mg/l, Cr <0,04 mg/l, Cu <0,005, Pb <0,05 mg/l) dengan daya hantar listrik 15,10 Siemens/cm. Kontaminasi dari aquades DM (H₂O 100% atau hanya terkandung air, tidak ada mineral lainnya) dengan daya hantar listrik 54,80 Siemens/cm.

4. Kesimpulan

Polutan Industri (Semen Gresik), Pantai/ Air Laut (Parangtritis), Air Hujan dan AquadesDM sangat berpengaruh dalam unjuk kerja arus bocor pada sampel isolator. Hal ini disebabkan oleh adanya polutan garam yang mempunyai konduktivitas lebih tinggi (3100 μ S/cm) untuk industri, (1375) untuk pantai dibandingkan aquadesDM (54,80 μ S/cm) dan air hujan (15,10 μ S/cm). Pembasahan secara terus menerus oleh polutan pada permukaan isolator menyebabkan terjadinya busur api yang lama kelamaan dapat menyebabkan terbentuknya jalur karbon. Nilai sudut kontak sendiri pada polutan aquadesDM diperoleh sudut kontak rata-rata 87,51°, polutan industri sudut kontak rata-rata 90,58°, polutan pantai sudut kontak rata-rata 90,10°, dan polutan air hujan diperoleh sudut kontak rata-rata 86,52°. Dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan sesuai dengan aturan STRI Guide 1 92/1 kualitas permukaan isolator polimer resin epoksi yang digunakan masih tergolong hidrofobik atau memiliki kualitas yang baik terhadap menempelnya partikel/ molekul kontaminan di permukaan isolator.

Referensi

- [1]. Dissado, L.A., Fothergill J.C., *Electrical Degradation and Breakdown in Polymers*, Peter Peregrinus Ltd, London, 1992.
- [2]. Nasrat L.S., Hamed A.F., Hamid M.A., and Mansour S.H, 2013, *Study the flashover voltage for outdoor polymer insulators under desert climatic conditions*, Egyptian Journal of Petroleum (2013) 22, 1-8.
- [3]. Wahyun, 1999, Studi Pelapisan Isolator Keramik 20 KV dengan Lapisan Senyawa Silikon untuk Menngatasi

Masalah akibat Kontaminasi, Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan '99, Serpong 20 – 21 Oktober 1991.

- [4]. Arismunandar, A., *Teknik Tegangan Tinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta, 2001
- [5]. Syakur, Abdul, *Teori dan Hasil Eksperimen Partial Discharge Pada Bahan isolasi*, BP UNDIP, Semarang, 2009.
- [6]. 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.
- [7]. Tobing, Bonggas L, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [8]. 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.
- [9]. Syakur, Abdul., Hamzah Berahim., Tumiran., Rochmadi., 2013, *Electrical Tracking Formation on Silane Epoxy Resin under Various Contaminants*, Telkonnika, Vol 11, No.1 March 2013, pp. 17-28.
- [10]. 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.
- [11]. Amin, Muhammad, Salman Amin, dan Muhammad Ali., *Monitoring Of Leakage Current For Composite Insulator And Electrical Devices*, UET Taxilla, Pakistan., 2007.
- [12]. SPLN 10-3B 1993.
- [13]. Syakur, Abdul., Yuningtyastuti., M. Ervan Dwi Setiaji., Agung Aprianto., 2012, Unjuk Kerja Isolator 20 KV Bahan Resin Epoksi Silane Silika Kondisi Basah dan Kering, TRANSMISI, 14 (2), 2012, 68-72
- [14]. Syakur, Abdul., Hermawan., Sarjiya., Hamzah Berahim., 2009, Analisis Sifat Hidrofobik Permukaan HDPE Berdasarkan Nilai Total Harmonic Distortion, TELKOMNIKA Vol. 7, No. 2
- [15]. Sulistyanto, Dwi Aji., Analisis Arus Bocor dan Tegangan Flashover pada Isolator Suspensi 20 KV 3 Sirip dengan 4 Tipe Sirip Berbahan Polimer Resin Epoksi Silane Silika, Skripsi, Universitas Diponegoro, Semarang, 2014.
- [16]. Guror, Ravi S., E.A. Cherney dan J.T Burnham, *Outdoor Insulators*, USA, 1999.
- [17]. Heri, Johanadib., Yuningtyastuti., Abdul Syakur., 2012, Studi Arus Bocor Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Silane Dengan Variasi Pengisi Pasir Silika (Dengan Polutan Pantai), TRANSMISI, 14 (1), 2012, 20-37
- [18]. Anggraini, Ika Novia., “Pengaruh Komposisi Bahan Isolasi Resin Epoksi dengan Bahan Pengisi Silicone Rubber terhadap Proses Tracking dan Erosi”, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2010.
- [19]. Haryono, T, CH. Sri Kristiningsih, “Pengaruh Suhu Terhadap Kinerja Material Isolasi Epoksi Resin Dalam Kondisi Bersih”, Seminar Nasional & Workshop Tegangan Tinggi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2002.

- [20]. Suwarno, *Diagnostics of Outdoor Insulators using Leakage current waveform parameters*, 2005, Departement of Electrical Engineering, Bandung Institute of Technology.