

ANALISA ARUS BOCOR PERMUKAAN BAHAN ISOLASI RESIN EPOKSI SILANE MENGGUNAKAN METODE PENGUKURAN *INCLINED- PLANE TRACKING*

Dyah Ika Susilawati¹, Hermawan², Abdul Syakur²

Abstrak - Material polimer sedang dikembangkan untuk mengganti material isolasi keramik dan gelas dikarenakan material polimer memiliki beberapa kelebihan. Dalam aplikasinya sebagai isolator pasangan luar, sering kali di daerah pantai dan industri kondisi lingkungan memiliki pengaruh terhadap kinerja sebuah material isolasi. Adanya polutan dan bahan kimia di udara dapat menempel pada permukaan material isolasi pasangan luar sehingga menyebabkan arus bocor mengalir pada permukaan isolator tersebut. Adanya arus bocor merupakan peristiwa awal yang dapat mengakibatkan degradasi permukaan isolator yang lama-kelamaan menyebabkan terjadinya kegagalan sebuah isolator.

Tugas akhir ini mempresentasikan pengukuran arus bocor skala laboratorium pada material resin epoksi silane dengan menggunakan metode pengukuran *Inclined-Plane Tracking (IPT)*. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi pengisi terhadap sudut kontak hidrofobik dan arus bocor. Pengolahan data yang dilakukan meliputi pengukuran sudut kontak, waktu terjadinya arus bocor, arus bocor rata-rata, dan waktu penjejakan.

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis data menunjukkan bahwa komposisi bahan mempengaruhi sudut kontak, waktu terjadinya arus bocor, besar arus bocor rata-rata, dan waktu penjejakan. Dilihat dari keseluruhan faktor yang diukur, maka didapatkan komposisi bahan yang optimal yaitu resin epoksi dengan persentase silane 30%.

Kata kunci : Arus bocor, resin epoksi, penjejakan, IPT.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bahan isolasi yang banyak digunakan pada sistem tenaga listrik di Indonesia sampai saat ini adalah bahan isolasi keramik dan gelas. Kelebihan isolator jenis ini adalah harganya yang cukup murah dibandingkan dengan isolator polimer. Selain itu juga mempunyai sifat thermal yang baik (seperti, tahan panas). Namun, isolator jenis ini 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 kegagalan isolasi.^[19]

Salah satu alternatif untuk mengatasi kelemahan porselin dan gelas adalah digunakan isolator polimer. Dibanding dengan bahan keramik atau bahan gelas, maka bahan isolasi polimer memiliki keuntungan antara lain: sifat dielektrik dan sifat termal lebih baik, konstruksi relatif lebih ringan, dan proses pembuatan relatif lebih cepat.^[11]

Sebagai isolator pasangan luar, kondisi lingkungan cukup berpengaruh terhadap material isolasi. Adanya polutan di udara dapat menyebabkan permukaan isolator dilapisi oleh polutan yang mengendap. Saat terjadi hujan, polutan pada permukaan isolator akan larut dalam air dan membentuk jalur konduktif yang kontinyu sehingga dapat menyebabkan arus bocor. Adanya arus bocor ini

menimbulkan panas yang akan mengeringkan polutan pada permukaan isolator. Hal inilah yang menyebabkan terbentuknya pita kering. Adanya pita kering memicu terjadinya pelepasan muatan ke udara dikarenakan distribusi medan listrik pada pita kering lebih tinggi dibanding daerah lainnya. Jika pita kering semakin meningkat, maka semakin lama akan menyebabkan terjadinya *flashover* yang merupakan kegagalan suatu isolator.^[9]

Berdasarkan uraian tersebut, maka dalam tugas akhir ini akan menganalisis unjuk kerja sampel isolator berbahan resin epoksi dengan persentase silane berbeda-beda menggunakan metode *Inclined-Plane Tracking (IPT)* yang diatur dalam IEC 587:1984.

B. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk menganalisis arus bocor yang mengalir pada permukaan material isoalsi resin epoksi silane dengan:

1. Mengetahui mekanisme terjadinya arus bocor pada permukaan material isolasi yang terkontaminasi.
2. Mengetahui pengaruh komposisi bahan terhadap waktu terjadinya arus bocor dan arus bocor rata-rata yang mengalir pada permukaan material resin epoksi silane dengan polutan NH_4CL .
3. Mengetahui pengaruh komposisi bahan terhadap waktu terjadinya arus bocor dan arus bocor rata-rata yang mengalir pada permukaan material resin epoksi silane dengan polutan pantai Parangtritis.
4. Mengetahui pengaruh komposisi bahan terhadap sudut kontak hidrofobik.
5. Mengetahui pengaruh sudut kontak hidrofobik terhadap waktu terjadinya arus bocor dan arus bocor rata-rata.
6. Mengetahui mekanisme penjejakan permukaan.
7. Mengetahui pengaruh komposisi bahan terhadap waktu penjejakan.

C. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam tugas akhir ini meliputi:

1. Bahan dasar material isolator yang digunakan adalah Resin Epoksi jenis *Diglycidyl Ether Bisphenol A (DGEBA)* dengan pematangan *Methaphenylene Diamine (MPDA)* dan bahan pengisi lem kaca (silane).
2. Dimensi bahan uji berukuran 120 mm x 50 mm x 5 mm dan dibuat pada keadaan (suhu, kelembaban, dan tekanan) ruangan.
3. Pengujian menggunakan komposisi pengisi bahan uji dengan persentase berat (gram) bahan pengisi 10%, 20%, 30%, dan 40% terhadap bahan dasar.

^[1]Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Undip

^[2]Dosen Jurusan Teknik Elektro Undip

4. Polutan yang digunakan adalah polutan buatan dengan komposisi kimia yang dibuat sama dengan yang terkandung dalam polutan pantai Parangtritis berdasarkan data penelitian yang dilakukan PLN pada Laporan Akhir Pekerjaan Studi dan Survey Penyusunan Peta Tingkat Intensitas Polusi serta Pedoman Pemilihan Jenis Isolator di Pulau Jawa tahun 1996.
5. Pengambilan data dilaksanakan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
6. Pengamatan dan pengambilan data gelombang arus bocor dilakukan melalui osiloskop digital GDS 2104 produk dari GW Instek.
7. Metode pemberian polutan pada permukaan material melalui penetasan menggunakan pompa peristaltik Longer Pump BT100-2J.
8. Metode yang digunakan adalah *Inclined-Plane Tracking (IPT)* yang mengacu pada IEC 587:1984.
9. Tegangan yang diterapkan adalah tegangan AC 3,5 kV frekuensi 50 Hz.
10. Pengukuran dilakukan pada suhu ruangan (29^0), tidak membahas pengaruh suhu, kelembaban, dan tekanan terhadap arus bocor yang diamati.
11. Degradasi permukaan hanya diamati berdasarkan kondisi visual dari kamera digital.
12. Penelitian ini dilakukan berskala laboratorium.

II. DASAR TEORI

A. Material Isolasi

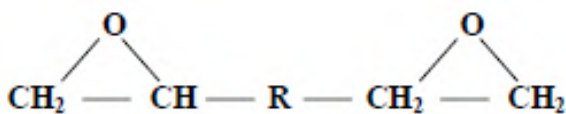
Isolasi adalah sifat bahan yang berfungsi dapat memisahkan secara elektrik dua buah atau lebih penghantar listrik bertegangan yang berdekatan, sehingga tidak terjadi kebocoran arus, lompatan api (*flashover*), ataupun percikan api (*sparkover*). Sedangkan isolator adalah alat yang dipakai untuk mengisolasi.^[17]

Kemampuan bahan isolasi untuk menahan tegangan disebut kekuatan dielektrik, semakin tinggi kekuatan dielektrik bahan isolasi semakin baik dipakai, terutama pada peralatan listrik tegangan tinggi.

B. Resin Epoksi^[13]

Resin epoksi adalah golongan polimer termoset dimana campuran dua komponen yang akhirnya berbentuk seperti kaca pada temperatur ruang yang mempunyai sifat isolasi listrik yang layak dan juga mempunyai kedekatan air yang tinggi. Resin epoksi sudah menjadi bagian penting dari material isolasi khususnya dalam bidang kelistrikan karena jenis polimer ini sudah dikenal lebih dari 50 tahun.

Struktur dasar resin epoksi ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.1 Struktur kimia resin epoksi^[13]

Resin epoksi mempunyai kegunaan yang luas dalam industri teknik kimia, listrik, mekanik, dan sipil, sebagai perekat, cat pelapis, percetakan cor dan benda-benda cetakan. Sedikitnya terdapat keuntungan resin epoksi

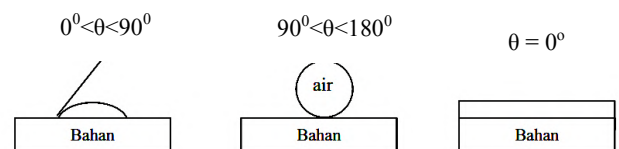
yaitu bahan ini memiliki dielektrik yang baik dan mudah dibentuk sesuai desain yang diinginkan pada temperatur ruang. Penggunaan bahan isolasi polimer resin epoksi antara lain adalah isolator pasangan dalam, trafo tegangan, trafo arus, trafo uji, isolasi lilitan pada motor dan generator, serta peralatan elektronik.

C. Bahan Pengisi Silane

Silane yang disebut juga *silicon rubber* adalah bahan yang tahan terhadap temperatur tinggi yang biasanya digunakan untuk isolasi kabel dan bahan isolasi tegangan tinggi. *Silicone Rubber* merupakan *polymeric synthetic* yang relatif baru penggunaannya sebagai bahan isolasi dalam bidang teknik listrik dibanding dengan polimer lainnya seperti resin epoksi atau *polyethylene*. Kepopuleran bahan ini dibanding dengan bahan keramik/porselin dan jenis polimer lainnya karena memiliki sifat hidrofobik tinggi, dengan demikian konduktivitas permukaan isolator tetap rendah, sehingga dapat meminimalkan arus bocor. Selain itu memiliki sifat dielektrik yang baik, sangat ringan, mudah penanganan dan pemasangannya.^[18]

D. 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, dalam keadaan terpolusi, 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 rendah, akibatnya arus bocor sangat kecil.



a. basah sebagian b. Tidak basah c. Basah keseluruhan
Gambar 2.2 Klasifikasi sudut kontak^[16]

Para peneliti mengklasifikasikan permukaan material dengan kuantitas sudut kontak yaitu permukaan material sangat basah (hidrofilik) bila sudut kontak cairan pada permukaannya lebih kecil dari 30^0 . Bila sudut kontak antara 30^0 sampai dengan 89^0 , permukaan material disebut basah sebagian (*partially wetted*). Sudut kontak lebih dari 90^0 disebut hidrofobik atau bersifat menolak air.^[11,19]

E. Arus Bocor

Arus bocor permukaan bahan isolasi dari isolator saluran udara pasangan luar, tergantung dari kondisi polutan yang menyebabkan kontaminasi permukaan. Selain itu juga tergantung pada iklim dan kondisi cuaca. Pembasahan lapisan polutan oleh cuaca lembab, butir-butir air, pembasahan air hujan yang rintik-rintik, mengakibatkan

elektrolit yang konduktif, sehingga resistansi permukaan akan menjadi kecil, dan menyebabkan arus bocor permukaan.

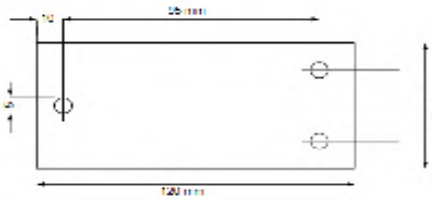
Analisis arus bocor (*leakage current*) diselidiki berdasarkan pada bentuk gelombang dan karakteristik spektrum frekuensi, magnitude, harmonisa dan durasi peluahan listrik secara signifikan mempengaruhi kinerja bahan isolasi secara keseluruhan. Oleh karena itu, identifikasi sifat arus bocor ini dapat digunakan untuk deteksi dini kegagalan isolator tegangan tinggi.^[11]

III. METODE PENGUKURAN

A. Alat dan Bahan

1) Bahan

Bahan dasar polimer resin epoksi jenis *DGEBA* (*Diglycidyl Ether of Bisphenol A*), bahan pematang/pengeras *MPDA* (*Metaphenylenediamine*), bahan pengisi yaitu *Silicone rubber* atau *Silane*.



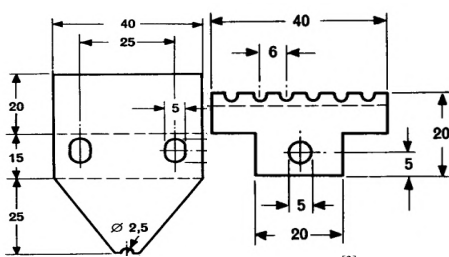
Gambar 3.1 Dimensi bahan uji^[3]

2) Polutan

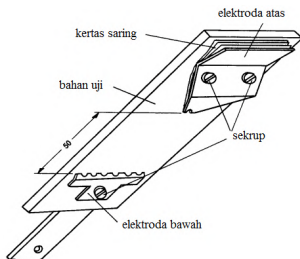
Polutan berupa NH_4Cl (*ammonium chlorida*) dan polutan pantai Parangtritis.

3) Elektroda

Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan stainless stell. Elektroda ini disebut elektroda atas dan elektroda bawah, sesuai standar IEC 587:1984.



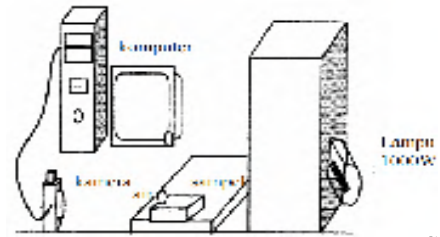
Gambar 3.2 Bentuk elektroda^[3]



Gambar 3.3 Pemasangan elektroda^[3]

B. Pengukuran Sudut Kontak

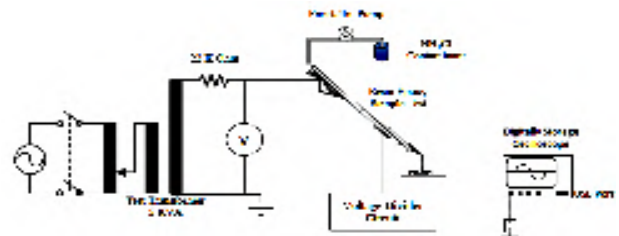
Rangkaian pengukuran sudut kontak, ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.4 Rangkaian pengukuran sudut kontak^[11,19]

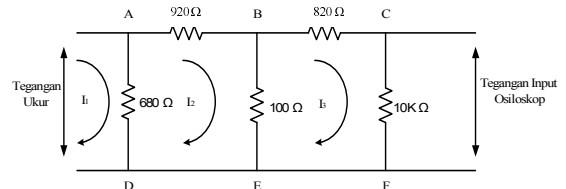
C. Pengukuran Arus Bocor

Untuk mendapatkan data-data arus bocor pada masing-masing sampel, maka dilakukan pengukuran dengan menggunakan metode pengukuran sesuai standar IEC 587 yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.5 Rangkaian pengukuran arus bocor^[3]

Arus bocor dideteksi dengan rangkaian pembagi tegangan sebagai berikut.



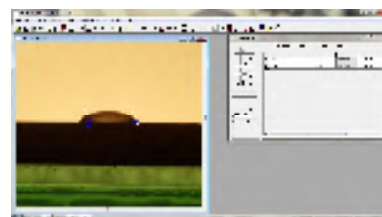
Gambar 3.6 Rangkaian pembagi tegangan

Melalui perhitungan didapatkan $I_{LC} = 0.02728529 V_{CF}$

IV. HASIL DAN ANALISIS

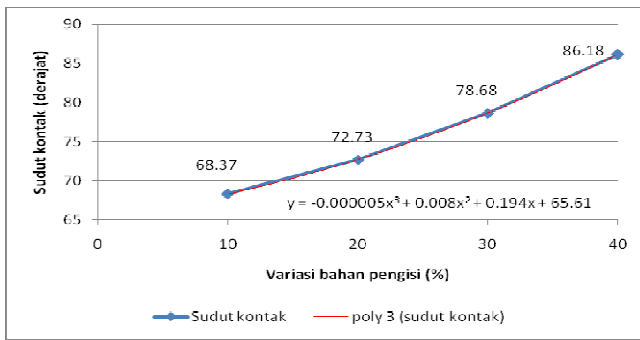
A. Hasil Pengukuran Sudut Kontak

Contoh pengukuran sudut kontak dari hasil pengamatan pada bahan resin epoksi silane dengan persentase bahan pengisi 10% sebagai berikut.

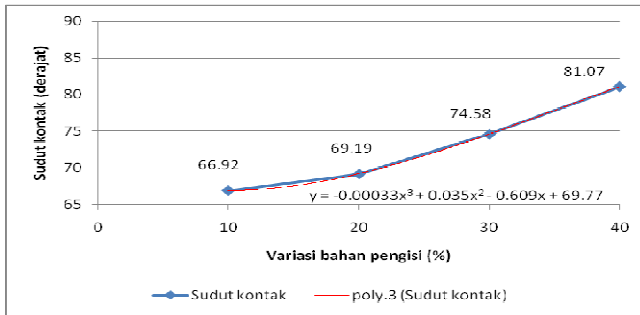


Gambar 4.1 Profil tetesan air dan perhitungan sudut kontak resin epoksi silane 10% sampel 1 polutan NH_4Cl

Berdasarkan pengukuran dan perhitungan, maka didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 4.2 Grafik hubungan sudut kontak dengan variasi bahan pengisi polutan NH_4Cl

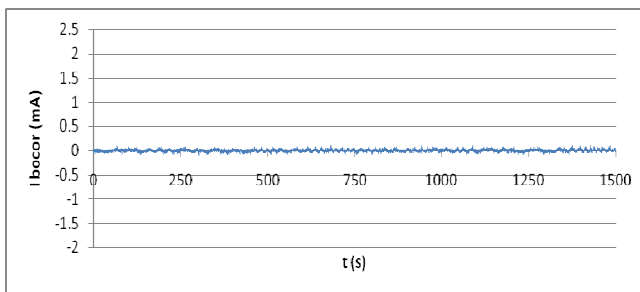


Gambar 4.3 Grafik hubungan sudut kontak dengan variasi bahan pengisi polutan Pantai

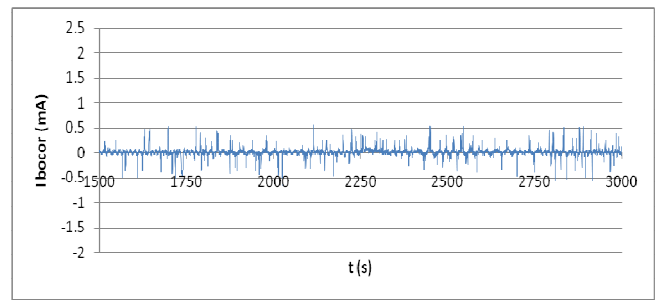
Berdasarkan hasil pengukuran dengan menggunakan polutan NH_4Cl dan Pantai, dapat diketahui bahwa kenaikan persentase bahan pengisi silane menyebabkan sudut kontak yang dihasilkan semakin besar yang menunjukkan kenaikan sifat menolak air (hidrofobik) pada permukaan sampel. Karena sifat hidrofobik pada material resin epoksi didapatkan dari pengisinya yaitu silane. Dapat diketahui pula bahwa resin epoksi dengan bahan pengisi silane bersifat *partially wetted* (basah sebagian).

B. Hasil Pengukuran Arus Bocor

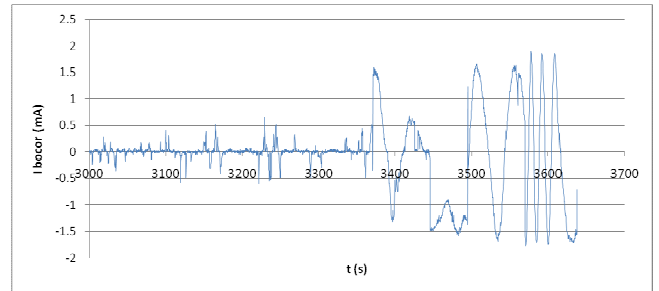
Berikut ini adalah contoh gambar gelombang arus bocor pada resin epoksi silane 10%, dari pertama pengukuran hingga bahan mengalami *breakdown*. Dari gambar 4.4 (b) dapat dilihat bahwa terjadi luncuran muatan pertama kali pada detik ke-1515 sebesar 0.2166615 mA.



(a) Gelombang arus bocor $t = 0 - 1500$ s



(b) Gelombang arus bocor awal pada $t_a = 1515$ s

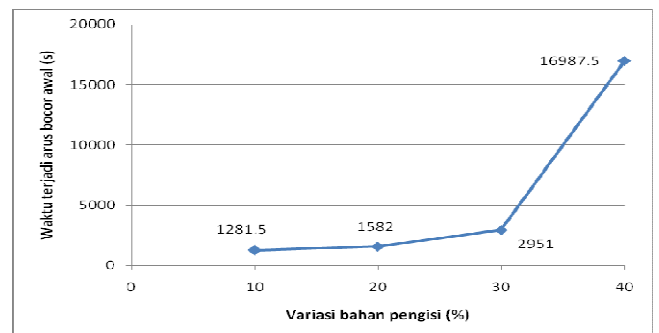


(c) Gelombang arus bocor saat kegagalan isolasi pada $t_b = 3372$ s

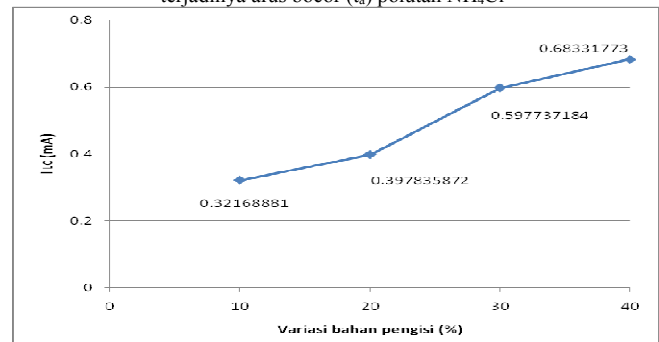
Gambar 4.4 Hasil pengukuran arus bocor RES 10% sampel 1 dengan polutan NH_4Cl

Kegagalan isolasi yang ditandai dengan gelombang sinusoidal arus bocor terjadi pada detik ke-3372 sebesar 1.588851 mA (gambar 4.4 c). Gelombang ini menunjukkan bahwa telah terjadi jalur konduksi utuh dari elektroda atas ke elektroda bawah. Rata-rata arus bocornya sebesar 0.16891637 mA.

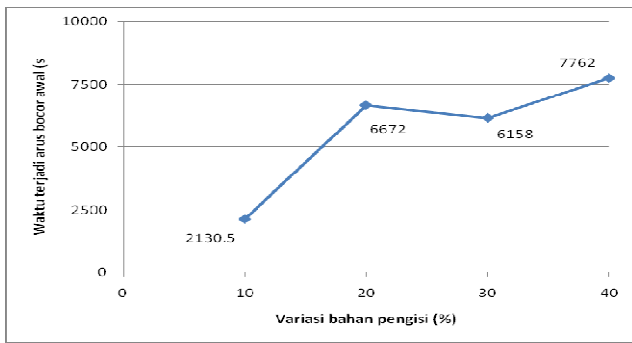
Secara keseluruhan pengukuran arus bocor pada bahan resin epoksi silane, dapat dilihat pada grafik berikut.



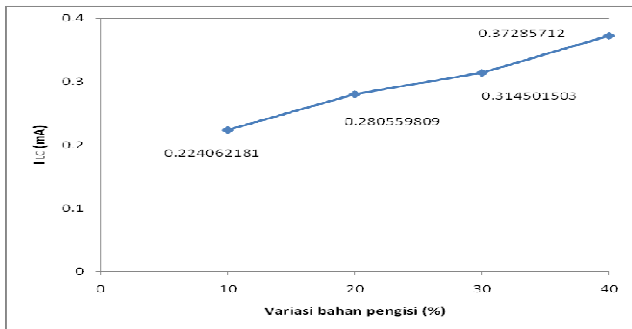
Gambar 4.5 Grafik hubungan komposisi pengisi (%) dengan waktu terjadinya arus bocor (t_b) polutan NH_4Cl



Gambar 4.6 Grafik hubungan komposisi pengisi (%) dengan arus bocor rata-rata (I_{rc}) polutan NH_4Cl



Gambar 4.7 Grafik hubungan komposisi pengisi (%) dengan waktu terjadinya arus bocor (t_0) polutan pantai



Gambar 4.8 Grafik hubungan komposisi pengisi (%) dengan dengan arus bocor rata-rata (I_{LC}) polutan pantai

Selama pengukuran terjadi peluahan listrik yang merupakan suatu bentuk kegagalan isolasi listrik. Kegagalan ini menyebabkan arus mengalir pada permukaan bahan isolasi. Arus mengalir dari elektroda atas menuju elektroda bawah pada jalur konduktif yang disebut dengan jejak (*track*). Proses ini dapat diamati dari gelombang yang ditunjukkan osiloskop. Peluahan listrik ini dapat menyebabkan terjadinya percikan api yang memicu terjadinya karbonisasi dan penguapan dipermukaan bahan isolasi sehingga terjadi "jalur karbon" permanen. Kegagalan isolasi terjadi ketika jalur karbon terbentuk antar elektroda, jalur karbon inilah yang merupakan jalur konduksi pada bahan isolasi resin epoksi silane. Selain menyebabkan jalur konduksi (*track*) pada permukaan bahan isolasi, peluahan listrik juga menyebabkan kerusakan pada material isolator listrik.

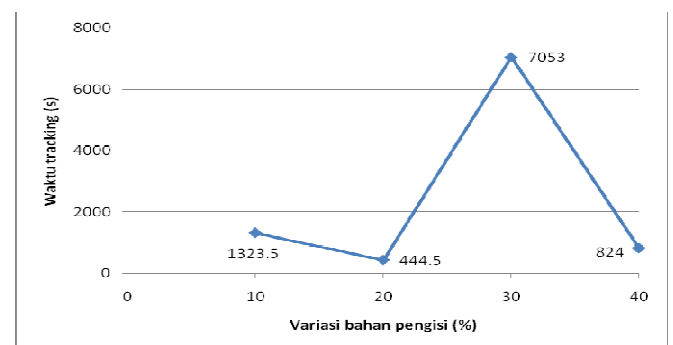
Berdasarkan pengukuran arus bocor pada bahan resin epoksi silane, baik dengan menggunakan polutan NH_4Cl maupun dengan polutan pantai, maka dapat dilihat bahwa penambahan silane dapat membuat bahan menahan terjadinya arus bocor dalam waktu yang semakin lama. Hal ini disebabkan penambahan silane pada bahan resin epoksi, membuat sifat bahan menjadi semakin menolak air (hidrofobik). Sifat adhesif yang dimiliki silane menyebabkan gaya tarik menarik antara molekul resin epoksi dengan silane semakin tinggi. Silane yang memiliki sifat tahan air yang tinggi memberikan kontribusi yang cukup baik terhadap bahan resin epoksi, yaitu memperbaiki sifat resin epoksi yang hidrofilik, sehingga didapatkan sifat akhir campuran bahan yang lebih baik. Hal inilah yang menyebabkan sifat hidrofobik bahan semakin besar seiring dengan persentase silane yang semakin banyak. Sudut kontak yang besar menunjukkan bahwa permukaan bahan semakin sulit terjadi lucutan muatan.^[19]

Selama pengukuran, terjadi lucutan muatan yang merupakan suatu bentuk kegagalan isolasi listrik.

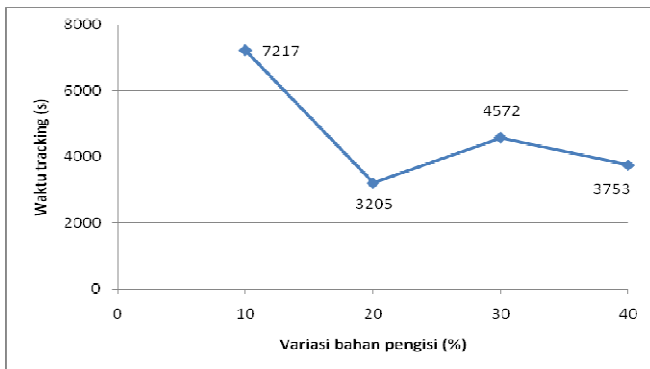
Kegagalan ini menyebabkan arus mengalir pada permukaan bahan. Arus bocor yang mengalir pada permukaan bahan yang dialiri polutan, akan menyebabkan panas pada permukaan bahan. Panas akan melelehkan bahan karena campuran bahan ini mudah terbakar. Hal ini menyebabkan resistansi menurun dengan meningkatnya panas pada permukaan bahan yang disebabkan oleh arus bocor yang mengalir. Nilai resistansi yang semakin menurun menyebabkan arus bocor yang mengalir pada permukaan semakin besar.

Pada pengukuran arus bocor ini, rata-rata waktu terjadinya arus bocor awal lebih cepat pada sampel yang dialiri poluan NH_4Cl dibandingkan dengan sampel yang dialiri polutan pantai. Begitu pula arus bocor dengan polutan NH_4Cl memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan nilai arus bocor dengan polutan pantai. Hal ini dapat disebabkan NH_4Cl adalah garam yang bersifat asam, semakin kuat suatu asam maka daya hantar listriknya semakin baik. Atom hidrogen yang terkandung pada polutan NH_4Cl dan bahan resin epoksi, menyebabkan bahan menjadi hidrofilik, karena sifat atom yang mudah menyerap air. Ditambah dengan adhesivitas yang dimiliki oleh bahan resin epoksi silane, yang menyebabkan gaya tarik-menarik antara molekul bahan dengan polutan semakin besar. Akibatnya, polutan semakin mudah mengalir pada permukaan bahan. Hal ini menyebabkan resistansi permukaan bahan semakin turun. Jika resistansi semakin turun, maka semakin cepat terjadi arus bocor, disamping itu nilai arus bocornya juga semakin besar. Faktor lain juga berasal dari kualitas bahan yang kurang baik. Bahan yang memiliki banyak *void* pada saat pencetakan, dan kurang homogen pada saat pengadukan, juga mempengaruhi arus bocor.

Nilai arus bocor yang dialiri polutan pantai lebih kecil dibanding nilai arus bocor yang dialiri polutan NH_4Cl . Waktu terjadinya arus bocor awal juga relatif lebih lama. Jika dilihat dari komponen polutan (KCl , $NaCl$, $CaCl_2$, dan $MgCl_2 \cdot 6H_2O$), polutan pantai lebih bersifat konduktif karena sebagian besar unsurnya yaitu berupa garam yang bersifat korosif. Hal ini dapat terjadi karena kualitas bahan yang dialiri polutan pantai lebih baik dibanding kualitas bahan yang dialiri polutan NH_4Cl .



Gambar 4.9 Hubungan komposisi bahan (%) terhadap waktu *tracking* ($t_{tracking}$) polutan NH_4Cl



Gambar 4.10 Hubungan komposisi bahan (%) terhadap waktu *tracking* ($t_{tracking}$) polutan pantai

Fenomena penjejakan permukaan yang terjadi pada bahan resin epoksi silane baik dengan polutan NH_4Cl maupun polutan pantai, dapat dijelaskan sebagai berikut. Arus bocor yang mengalir pada permukaan bahan semakin lama akan mengikis permukaan bahan. Campuran bahan yang mudah terbakar dan sifat adhesif yang dimiliki bahan menyebabkan komponen polutan mudah menempel pada permukaan bahan. Bahan akan semakin adhesif jika silane yang ditambahkan pada resin epoksi semakin banyak, karena gaya tarik-menarik antara kedua molekul semakin besar. Hal ini menyebabkan nilai resistansi semakin menurun. Nilai resistansi yang semakin menurun menyebabkan arus bocor yang mengalir semakin besar. Arus bocor yang semakin besar menyebabkan proses kegagalan isolasi pada bahan akan semakin cepat sehingga waktu penjejakannya juga semakin cepat. Namun lama waktu penjejakan untuk semua sampel bernilai tidak tentu. Hal ini dapat dikarenakan kualitas sampel yang kurang baik, terdapat banyak *void* dan kurang homogen.

Oleh karena itu, persentase penambahan silane pada resin epoksi divariasikan dengan maksud agar mendapatkan komposisi bahan yang memiliki kinerja optimal. Dari pengukuran dan pengamatan grafik, maka sampel dengan komposisi silane 30% yang memiliki kinerja yang cukup baik, baik yang dialiri polutan NH_4Cl maupun polutan pantai. Hal ini dapat dilihat dari waktu pertama terjadi arus bocor yang cukup lama, nilai arus bocor rata-rata yang tidak terlalu besar, dan waktu penjejakan yang relatif lama. Dari ketiga faktor inilah, maka dapat disimpulkan resin epoksi dengan persentase silane 30% memiliki kualitas permukaan bahan yang lebih baik.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Arus bocor yang muncul dipengaruhi oleh kondisi permukaan bahan dan kondisi aliran polutan.
2. Kenaikan nilai persentase bahan pengisi silane pada bahan uji resin epoksi dengan polutan NH_4Cl menyebabkan waktu terjadinya arus bocor semakin lama, yaitu pada resin epoksi silane 10% $t_a = 1281.5$ s, pada resin epoksi silane 20% $t_a = 1582$ s, pada resin epoksi silane 30% $t_a = 2951$ s, dan pada resin epoksi

silane 40% $t_a = 16987.5$ s. Sedangkan arus bocor rata-ratanya juga semakin besar, yaitu resin epoksi silane 10% $I_{LC} = 0.32168881$ mA, pada resin epoksi silane 20% $I_{LC} = 0.397835872$ mA s, pada resin epoksi silane 30% $I_{LC} = 0.597737184$ mA, dan pada resin epoksi silane 40% $I_{LC} = 0.68331773$ mA.

3. Kenaikan nilai persentase bahan pengisi silane pada bahan uji resin epoksi dengan polutan pantai Parangtritis menyebabkan waktu terjadinya arus bocor semakin lama, yaitu pada resin epoksi silane 10% $t_a = 2130.5$ s, pada resin epoksi silane 20% $t_a = 6672$ s, pada resin epoksi silane 30% $t_a = 6158$ s, dan pada resin epoksi silane 40% $t_a = 7726$ s. Sedangkan arus bocor rata-ratanya juga semakin besar, yaitu resin epoksi silane 10% $I_{LC} = 0.224062181$ mA, pada resin epoksi silane 20% $I_{LC} = 0.280559809$ mA s, pada resin epoksi silane 30% $I_{LC} = 0.314501503$ mA, dan pada resin epoksi silane 40% $I_{LC} = 0.37285712$ mA.
4. Kenaikan persentase bahan pengisi silane menyebabkan sudut kontak yang terbentuk semakin besar. Nilai sudut kontak resin epoksi silane dengan polutan NH_4Cl yaitu untuk resin epoksi silane 10% $\theta = 68.37^\circ$, resin epoksi silane 20% $\theta = 72.73^\circ$, resin epoksi silane 30% $\theta = 78.68^\circ$, dan resin epoksi silane 40% $\theta = 86.18^\circ$. Nilai sudut kontak resin epoksi silane dengan polutan pantai Parangtritis yaitu untuk resin epoksi silane 10% $\theta = 66.92^\circ$, resin epoksi silane 20% $\theta = 69.19^\circ$, resin epoksi silane 30% $\theta = 74.58^\circ$, dan resin epoksi silane 40% $\theta = 81.07^\circ$.
5. Semakin besar sudut kontak yang terbentuk, maka permukaan bahan semakin hidrofobik, yang menyebabkan waktu terjadi arus bocor semakin lama. Sampel dengan sudut kontak terbesar dan waktu terjadinya arus bocor terlama yaitu sampel resin epoksi silane 40% baik untuk polutan NH_4Cl maupun polutan pantai Parangtritis.
6. Komposisi bahan resin epoksi silane cukup berpengaruh pada waktu penjejakan permukaan. Waktu penjejakan permukaan paling cepat terjadi pada sampel dengan persentase silane 20%, baik dengan polutan NH_4Cl maupun dengan polutan pantai Parangtritis.
7. Pada pengukuran ini bahan yang memiliki persentase silane 30% yang memiliki kinerja yang optimal.

B. Saran

Saran yang dapat berikan untuk pengembangan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk aplikasi luas, hendaknya dilakukan penelitian secara alamiah di lapangan dengan bentuk sampel uji menyerupai isolator pasangan luar.
2. Penelitian perlu dikembangkan dengan bahan pengisi yang lain, agar didapatkan bahan ideal untuk isolator.
3. Perlu dicari agar proses pembuatan bahan uji terbebas dari *void* dan campurannya benar-benar homogen.
4. Untuk penelitian selanjutnya agar alat ukur yang digunakan lebih akurat lagi sehingga meminimalkan terjadinya kehilangan data dalam beberapa waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Arismunandar, A.**, *Teknik Tegangan Tinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1984.
- [2] **Harinaldi**, *Statistik untuk Teknik dan Sains*, Erlangga, Jakarta, 2005.
- [3] **IEC 587**, 1984, *Methods of Evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions*, British Standards Institution, British standard (BS).
- [4] **Latief, Melda dan Suwarno**, *Unjuk Kerja Permukaan Isolator Pasangan Luar Polimer Epoxy Resin 20 kV pada Berbagai Kondisi Lingkungan*, Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan, 2005.
- [5] **Lee, Henry and Kris Neville**, *Epoxy Resins Their Applications and Technology*, McGraw-Hill Book Company Inc., USA, 1957.
- [6] **Naidu, M. S. dan V. Kamaraju**, *High Voltage Engineering*, 2nd ed., McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1995.
- [7] **Nugroho, Agung dan Tedjo Sukmadi**, *Penelitian Arus Bocor Isolator yang Disebabkan Pengotoran Udara*, Universitas Diponegoro, 1994.
- [8] **Nugroho, P. S.**, *Studi Pengukuran Peluahan Sebagian pada Pemohonan Listrik dan Void dalam LDPE*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2000.
- [9] **Nugroho, Rohmat**, *Studi Arus Bocor dengan Metode Pengukuran Inclined-Plane Tracking (IPT) pada Material Polimer High Density Polyethylene (HDPE)*, Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, 2009.
- [10] **Nur, Mauluddin.**, *Pengujian Arus Bocor terhadap Kinerja Material Isolasi Berbahan Dasar Resin Epoksi dengan Pengisi Aluminium Trihydrate (ATH) dan Silicone Rubber Terkontaminasi Polutan Industri Gresik dan Parangtritis*, Skripsi, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2005.
- [11] **Nurlailati**, *Analisis Degradasi Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi karena Proses Penjejukan dan Erosi*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2010.
- [12] **Nurlailati, Abdul Syakur, Sarjiya, Hamzah Berahim**, *Relationship Between Contact Angle and Stoichiometry Value On Epoxy Resin Polymer Insulating Materials*, CITEE, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2010.
- [13] **Prasojo, Winarko Ari, Abdul Syakur, dan Yuningtyastuti**, *Analisis Partial Discharge pada Material Polimer Resin Epoksi dengan Menggunakan Elektroda Jarum Bidang*, Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [14] **Somantri, Ating dan Sambas Ali Muhidin**, *Aplikasi Statistika dalam Penelitian*, Pustaka Setia, Bandung, 2006.
- [15] **Syakur, Abdul, Rochmadi, Tumiran, Hamzah Berahim**, *Study on Electrical Tracking of Epoxy Resin Insulating Material Using Inclined-Plane Tracking Method*, CITEE, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2010.
- [16] **Syakur, Abdul, Hamzah Berahim, Tumiran, Rochmadi**, *Experimental Investigation on Electrical Tracking of Epoxy Resin Compound with Silicon Rubber*, High Voltage Engineering, Vol.37, No.11, 2011.
- [17] **Tobing, Bonggas L.**, *Peralatan Tegangan Tinggi*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [18] **Wahada, G.**, *Pengaruh Sinar UV Terhadap Bahan Isolasi Resin Epoksi dengan Pengisi Pasir Silika dan Lem Sillicon Rubber Terkontaminasi Polutan Parangtritis*, Tugas Akhir, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2003.
- [19] **Waluyo**, *Pengaruh Komposisi Bahan Isolasi Resin Epoksi dengan Bahan Pengisi Rice Husk Ash (RHA) terhadap Arus Bocor dengan Metode IEC 587*, Tugas Akhir, Universitas Bengkulu, 2010.
- [20] **Zulkaida**, Wa Ode dan Siti Nawal Jaya, *Efek Polutan pada Bahan Isolasi Resin Epoksi yang Mengalami Perlakuan Filler Berbeda terhadap Kinerja Sudut Hidrofobik*, SNTK, Universitas Hasanuddin, Makasar, 2007.
- [21] che-mis-try.org/tabel-periodik/
- [22] <http://id.shvoong.com/exact-sciences/engineering/2098505-karakteristik-mekanis-absorpsi-air/>

BIODATA MAHASISWA



Dyah Ika Susilawati (L2F 606 022)
lahir di Semarang tanggal 27 Maret 1988.
Mahasiswa Teknik Elektro Fakultas
Teknik Universitas Diponegoro
Semarang konsentrasi Teknik Tenaga
Listrik.

Semarang, Februari 2012

Mengetahui,

Pembimbing I,

Dr.Ir. Hermawan, DEA
NIP. 19600223 198602 1 001
Tanggal.....

Pembimbing II,

Abdul Syakur, ST, MT
NIP. 19720422 199903 1 004
Tanggal.....