



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH POLUTAN TERHADAP  
TAHANAN PERMUKAAN ISOLATOR EPOXY RESIN**

**SKRIPSI**

**RUDY SIMON STEVEN  
0403030934**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
DESEMBER 2008**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH POLUTAN TERHADAP TAHANAN PERMUKAAN  
EPOXY RESIN**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**RUDY SIMON STEVEN**  
0403030934

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
DESEMBER 2008**

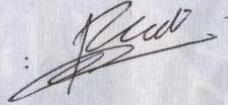
## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Rudy Simon Steven

NPM : 0403030934

Tanda tangan :



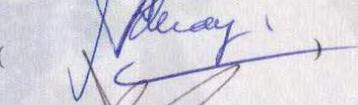
Tanggal : Rabu 24 Desember 2008

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Rudy Simon Steven  
NPM : 0403030934  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Pengaruh Polutan Terhadap tahanan Permukaan Epoxy Resin

Telah berhasil dipertahankan di hadapan dewan penguji dan diterima sebagai bahan persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

### Dewan Penguji

Pembimbing : DR. Ir. Iwa Garniwa M K, M T (  )  
Penguji : DR. Ir Rudy Setiabudi (  )  
Penguji : Budi Sudiarto, ST MT (  )  
Ditetapkan di : kampus UI Depok  
Tanggal : 30 Desember 2008

# DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	ii
PENGESAHAN .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	x
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	1
1.3 TUJUAN PENELITIAN .....	2
1.4 BATASAN MASALAH.....	2
1.5 METODOLOGI PENELITIAN .....	2
1.6 SISTIMATIKA PENELITIAN.....	2
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	4
2.1 TAHANAN PERMUKAAN .....	4
2.2 MATERIAL POLIMER EPOXY RESIN.....	5
2.2.1 Pembagian Polimer.....	6
2.2.2 Karakteristik Bahan Polimer.....	7
2.2.3 Massa Jenis Bahan Polimer.....	8
2.2.4 Karakteristik Mekanik Polimer.....	8
2.2.5 Karakteristik Listrik Polimer.....	9
2.2.6 Epoxy Resin Sebagai Material Isolator.....	11
2.3 ISOLATOR BERPOLUTAN .....	12
2.3.1 Sifat Polutan .....	12
2.3.1.1 Polutan yang bersifat Konduktif.....	12
2.3.1.2 Polutan yang bersifat Inert.....	13

2.3.2 Pembentukan Polutan Pada Isolator.....	13
2.4 ISOLATOR DENGAN LAPISAN PENGOTOR YANG SERAGAM...	15
2.5 PENGGOLONGAN TINGKAT PENGOTORAN .....	16
2.6 PENGARUH PENGOTORAN YANG BERSIFAT DIELEKTRIK .....	17
2.7 ISOLATOR PADA KONDISI PENGOTORAN.....	18
<b>BAB 3 METODE PENGUJIAN</b>	
3.1 PERALATAN PENGUJIAN .....	20
3.2 BAHAN PENGUJIAN .....	21
3.3 TAHAPAN PENGUJIAN.....	22
3.3.1 PERSIAPAN AWAL PENGUJIAN.....	22
3.3.2 PENGAMBILAN DATA.....	23
<b>BAB 4 PENGOLAHAN DATA</b> .....	26
4.1 PERHITUNGAN LUAS PERMUKAAN ISOLATOR .....	26
4.2 PERHITUNGAN KEG POLUTAN .....	27
4.2.1 NaCl.....	27
4.2.2 CaCO <sub>3</sub> .....	29
4.2.3 Carbon .....	30
4.3 PERBANDINGAN HAMBAT JENIS	
DARI JARAK YANG DIUKUR.....	30
4.4 DATA SEBELUM DIBERIKAN POLUTAN .....	33
<b>BAB 5 ANALISIS PENELITIAN.....</b>	34
5.1 UMUM .....	34
5.1.1 ANALISIS JENIS POLUTAN .....	34
5.1.2 ANALISIS BOBOT POLUTAN .....	34
5.2 ANALISIS KHUSUS	
5.2.1 POLUTAN NaCl 100 gram .....	35
5.2.2 POLUTAN NaCl 300 gram .....	35
5.2.3 POLUTAN NaCl 500 gram .....	36
5.2.4 POLUTAN CaCO <sub>3</sub> 100 gram .....	36
5.2.5 POLUTAN CaCO <sub>3</sub> 300 gram .....	37
5.2.6 POLUTAN CaCO <sub>3</sub> 500 gram .....	37

5.2.7 POLUTAN Carbon 100 gram .....	38
5.2.8 POLUTAN Carbon 300 gram .....	38
5.2.9 POLUTAN Carbon 500 gram .....	39
5.3 HUBUNGAN ANTARA TAHANAN PERMUKAAN DENGAN KEG .....	40
5.3.1 UNTUK POLUTAN NaCl .....	40
5.3.2 UNTUK POLUTAN CaCO <sub>3</sub> .....	41
5.3.3 UNTUK POLUTAN Carbon .....	42
5.4 ANALISIS BOBOT POLUTAN .....	43
5.4.1 BOBOT POLUTAN 100 GRAM .....	43
5.4.2 BOBOT POLUTAN 300 GRAM .....	44
5.4.3 BOBOT POLUTAN 500 GRAM .....	45
5.5 ANALISIS PERUBAHAN HAMBAT JENIS TERHADAP JARAK ....	46
5.5.1 PERBANDINGAN HAMBAT JENIS $\rho_2$ DENGAN $\rho_4$ .....	46
5.5.2 PERBANDINGAN HAMBAT JENIS $\rho_2$ DENGAN $\rho_8$ .....	47
5.5.3 PERBANDINGAN HAMBAT JENIS $\rho_4$ DENGAN $\rho_8$ .....	47
BAB 6 KESIMPULAN .....	49
DAFTAR ACUAN .....	50
DAFTAR PUSTAKA .....	51

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Resistansi permukaan pada suatu material .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Rumus Kimiawi Epoxy Resin .....	6
<b>Gambar 2.3</b> Distribusi tegangan pada Isolator Bersih .....	8
<b>Gambar 2.4</b> Distribusi tegangan pada Isolator dengan pengotoran .....	8
<b>Gambar 3.1</b> Peralatan Pengujian .....	20
<b>Gambar 3.2</b> Skema pengujian tahanan permukaan isolator berpolutan.....	23
<b>Gambar 3.3</b> Skema pengujian tahanan permukaan isolator berpolutan.....	25
<b>Gambar 5.1</b> Polutan dengan kadar 100 gram .....	35
<b>Gambar 5.2</b> Polutan dengan kadar 300 gram .....	36
<b>Gambar 5.3</b> Polutan dengan kadar 500 gram .....	36
<b>Gambar 5.4</b> Polutan dengan kadar 100 gram.....	37
<b>Gambar 5.5</b> Polutan dengan kadar 300 gram .....	37
<b>Gambar 5.6</b> Polutan dengan kadar 500 gram .....	38
<b>Gambar 5.7</b> Polutan dengan kadar 100 gram .....	38
<b>Gambar 5.8</b> Polutan dengan kadar 300 gram .....	39
<b>Gambar 5.9</b> Polutan dengan kadar 500 gram .....	39
<b>Gambar 5.10</b> Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap tahanan permukaan .....	40
<b>Gambar 5.11</b> Pengaruh Konsentrasi CaCO <sub>3</sub> terhadap tahanan permukaan .....	41
<b>Gambar 5.12</b> Pengaruh Konsentrasi Carbon terhadap tahanan permukaan .....	42
<b>Gambar 5.13</b> Grafik polutan 100 gram terhadap jarak .....	43
<b>Gambar 5.14</b> Grafik polutan 300 gram terhadap jarak .....	44
<b>Gambar 5.15</b> Grafik Polutan 500 gram terhadap jarak .....	45
<b>Gambar 5.16</b> Grafik perbandingan $\rho_2$ dengan $\rho_4$ .....	46
<b>Gambar 5.17</b> Grafik perbandingan $\rho_2$ dengan $\rho_8$ .....	47
<b>Gambar 5.18</b> Grafik perbandingan $\rho_4$ dengan $\rho_8$ .....	47

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur kehadiran Tuhan atas berkat dan rahmat-Nya sehingga seminar ini dapat diselesaikan dengan baik. Tak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

### **Dr. Ir. Iwa Garniwa**

Selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan saran, bimbingan, pengarahan, dan kemudahan lain dalam penyelesaian skripsi ini. Terima kasih pula kepada seluruh anggota keluarga dan rekan-rekan semua yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Rudy Simon Steven  
NPM 04 03 03 093 4  
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing  
Ir. DR.Ir.Iwa Garniwa MK,MT

### **Polutan Effect to Epoxy Resin Isolator**

#### **ABSTRAK**

Polimer epoxy resin Isolator have many advantage, one of them it is more lite, smaller dielektrik loses, and higher resistivity volume. other advantage is a rather fast production process and a cheap cost. other than those advantage epoxy resin isolator also have disadvantage that is, the decrease of isolator function if it is used in a high pollutan area. in this research an experiment to epoxy resin isolator have been done with giving synthetic pollutn. the high voltage transimission isolator which were contaminated will have different conductance. the bigger the conductance from the polluted layer, the bigger the leaking stream will become.

This research is done to know how far epoxy resin isolator is influenced from pollutants. the testing is done to ingredients such as salts (NaCl), dust (CaCO<sub>3</sub>), and carbon as motor vehicle pollutan. from the research that is done, a conclusion were made that, the decrease of resistivity on the conductor surface other than influenced by endapan salt also influenced by higroscopic power and the pollutan daya rekat to the isolator surface, the more distance between electrode that is taken to measure the surface resistivity, the larger the resistivity will be, in 100 gram and 300 gram dosage, CaCO<sub>3</sub> have the lowest surface resistivity, while the meantime pada kadar 500 gram, Carbon were the lowest surface resistivity pollutan.

**Key Word : Epoxy Resin,, Polutan, Survace resistivity**

Rudy Simon Steven  
NPM 04 03 03 093 4  
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing  
Ir. DR.Ir.Iwa Garniwa MK,MT

## Pengaruh Polutan Terhadap Isolator Epoxy Resin

### ABSTRAK

Isolator polimer epoxy resin memiliki kelebihan diantaranya beban lebih ringan, sifat rugi dielektrik yang lebih kecil, serta resistivitas volume yang lebih tinggi. Kelebihan lain adalah proses produksi yang relatif lebih cepat dan biaya produksi yang lebih murah. Selain kelebihan tersebut isolator jenis epoxy resin juga memiliki kekurangan, yaitu menurunnya kinerja isolator apabila digunakan pada daerah berpolutan tinggi. Skripsi ini dilakukan percobaan terhadap isolator epoxy resin dengan memberikan polutan buatan. Isolator pada transmisi tegangan tinggi yang terkontaminasi akan memiliki konduktansi yang berbeda-beda. Semakin besar konduktansi dari lapisan pengotor maka arus bocor yang terjadi akan semakin besar.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana isolator epoxy resin dipengaruhi oleh polutan-polutan yang ada. Pengujian dilakukan terhadap bahan-bahan seperti garam-garaman (NaCl), debu ( $\text{CaCO}_3$ ), dan Carbon sebagai polutan asap kendaraan bermotor. Dari penelitian yang dilakukan dapat diperoleh kesimpulan antara lain, berkurangnya tahanan pada permukaan konduktor selain dipengaruhi oleh konsentrasi endapan garam juga dipengaruhi oleh daya higroskopis dan daya rekat polutan pada permukaan isolator, semakin jauh jarak antar elektroda yang diambil untuk mengukur tahanan permukaan, maka tahanan akan bertambah, pada kadar 100 gram dan 300 gram,  $\text{CaCO}_3$  memiliki tahanan permukaan yang paling rendah, sedangkan pada kadar 500 gram, Carbon merupakan polutan yang menyebabkan kadar permukaan terendah.

**Kata Kunci :** *Epoxy Resin,, Polutan, Tahanan Permukaan,*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Isolator bersifat mencegah mengalirnya arus listrik melaluinya atau dengan kata lain memisahkan dua buah penghantar atau lebih sehingga tidak terjadi kebocoran diantaranya. Apabila isolator gagal menjalankan fungsinya maka akan terjadi kegagalan tegangan dan hal ini tidak diinginkan.

Material isolator yang umum dan banyak digunakan di Indonesia adalah porselen dan gelas, dengan beberapa kekurangan dan kelebihan. Kekurangannya adalah dari segi produksi yang memakan waktu lama dan harganya yang mahal. Proses pembuatan porselen dan gelas juga memerlukan suhu yang tinggi. Untuk itu diperkenalkan material jenis lain, yaitu material polimer dari jenis epoxy resin.

Isolator polimer epoxy resin memiliki kelebihan diantaranya bebannya lebih ringan, sifat rugi dielektrik yang lebih kecil, serta resistivitas volume yang lebih tinggi. Kelebihan lain adalah proses produksi yang relatif lebih cepat dan biaya produksi yang lebih murah.

Selain kelebihan tersebut isolator jenis epoxy resin juga memiliki kekurangan, yaitu menurunnya kinerja isolator, apabila digunakan pada daerah berpolutan tinggi.

### **1.2 PERUMUSAN MASALAH**

Isolator epoxy resin yang digunakan pada permukaan-permukaan tower tower saluran tegangan menengah sangat rentan akan pengaruh lingkungan sekitar. Skripsi ini akan meneliti tentang pengaruh polutan terhadap tahanan permukaan isolator epoxy resin. Polutan-polutan seperti garam-garaman, debu dan karbon, serta asap kendaraan bermotor adalah polutan umum yang akan dipakai sebagai polutan pada penelitian ini. Sebagai pengganti ketiga polutan itu digunakan NaCl sebagai garam-garaman, CaCO<sub>3</sub> sebagai debu, dan C(karbon) sebagai pengganti asap kendaraan bermotor.

### **1.3 TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan penulisan adalah mendapatkan karakteristik lalu menganalisis pengaruh polutan di permukaan isolator epoxy resin terhadap tahanan permukaan kemudian menentukan hubungannya berdasarkan hasil pengujian di laboratorium.

### **1.4 BATASAN MASALAH**

Polutan yang cukup mewakili keadaan di alam digunakan yaitu NaCl, CaCO<sub>3</sub> serta tingkat pengotoran berdasarkan kuantitas polutan sebesar 100mg/5L, 300 mg/5L dan 500 mg/5L. Kondisi pengotoran yang digunakan yaitu kondisi pengotoran meyeluruh (uniform polutan).

### **1.5 METODOLOGI PENELITIAN**

Penulisan ini mengacu pada standar internasional tentang pengujian isolator berpolutan yaitu IEC 507 dan IEC 815 untuk menentukan kadar polutan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan Megger untuk memperoleh data yang dibutuhkan lalu dilakukan analisis data berdasarkan teori dan literature yang ada.

### **1.6 SISTIMATIKA PENELITIAN**

Penulisan ini dibagi menjadi beberapa bab. Bab pertama merupakan pendahuluan yang menjelaskan latar belakang penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penelitian.. Bab kedua menjelaskan dasar teori tentang tahanan permukaan untuk menunjang analisis yang ada serta mengenai material epoxy resin meliputi pembagian, karakteristik material polimer, sifat-sifat epoxy resin sebagai isolator dan isolator berpolutan. Bab ketiga menjelaskan pengujian isolator epoxy resin yang meliputi mekanisme pengujian dari mulai persiapan pendahuluan yang dilakukan sampai akhir pengujian dan perhitungan-perhitungan yang mendukung untuk hasil percobaan. Bab keempat menyajikan semua data pengujian disertai pengolahan juga diberikan hasil penelitian. Bab keenam merupakan kesimpulan dari semua pembahasan bab-bab sebelumnya.

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

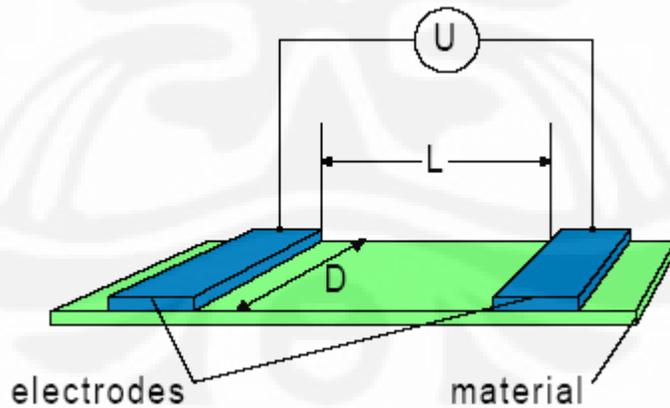
#### 2.1 TAHANAN PERMUKAAN

Tahanan permukaan didefinisikan sebagai rasio tegangan DC terhadap arus, yang mengalir antara dua elektroda pada konfigurasi tertentu yang bersentuhan dengan sisi material yang diuji seperti dilihat pada Gambar 2.1 di bawah.

$$R_s = \frac{U}{I_s} \dots\dots\dots (1)$$

Sedangkan resistivitas permukaan ditentukan oleh rasio tegangan DC (U) per unit panjang L terhadap arus permukaan  $I_s$  per unit lebar D.

$$\rho_s = \frac{U}{\frac{L}{I_s} D} \dots\dots\dots (2)$$



Gambar 2.1 Resistansi permukaan pada suatu material

Resistivitas permukaan adalah properti dari material, Resistivitas permukaan harus tetap konstan dengan mengabaikan metode dan konfigurasi elektroda yang digunakan untuk pengukuran resistivitas permukaan. Hasil dari resistansi permukaan

bergantung kepada material dan geometri dari elektroda yang digunakan untuk pengukuran.

## 2.2 MATERIAL POLIMER EPOXY RESIN

Bahan dapat digolongkan menjadi 3 kelompok utama yaitu:

### 1. Logam

- a. Berdaya hantar panas dan daya hantar listriknya tinggi, sebab mempunyai beberapa bahan elektron terdislokalisir dan dapat meninggalkan atom induknya sehingga dengan mudah dapat memindahkan muatan listrik dan energi termal.
- b. Sifat yang kedap cahaya dan dapat dipoles sehingga mengkilap.
- c. Agak berat dan mudah diubah bentuknya.

### 2. Keramik

- a. Merupakan campuran yang terdiri dari unsur logam dan bukan logam
- b. Memiliki sifat keras ( daya hantar mekanis yang besar) dan rapuh, disamping juga tahan terhadap suhu tinggi, tahan kimia dan lingkungan yang lebih berat persyaratannya. Dasar dari karakteristik ini adalah sifat dari elektronik atom-atomnya, yaitu unsur logam melepaskan electron kulit terluar dan memeberikannya pada atom bukan logam yang mengikatnya, akibatnya elektron-elektron tersebut tidak dapat bergerak sehingga bahan keramik umumnya dipakai sebagai isolator panas yang baik.

### 3. Polimer

- a. Merupakan senyawa bukan logam yang terbuat dari bahan baku organik. Elemen elemen bukan logam ini mempunyai afinitas atau membagi elektron tambahan dan membentuk ikatan kovalen, yakni tiap elektron bergabung dengan atom tertentu atau pasangan atom, untuk membuat molekul yang besar atau disebut molekul makro. Molekul makro ini terdiri dari satuan ulang, atau mer dan dari sinilah asal kata polimer.

- b. Berat jenis yang rendah, kurang baik memantulkan cahaya, cenderung tembus cahaya atau bening( untuk lapisan tipis) dan dapat digunakan sebagai isolator panas dan listrik karena tidak memiliki elektron bebas, bagi beberapa jenis fleksibel dan dapat diubah bentuknya(deformasi) sehingga sering dimanfaatkan sebagai salah satu keuntungan pada proses pembentukan

### **2.2.1 Pembagian Polimer**

Polimer merupakan nama teknik untuk plastik, yaitu molekul yang besar atau makro molekul terdiri dari satuan yang berulang-ulang atau mer. Telah mengambil peranan teknologi yang penting. Hal ini disebabkan karena sifat ringan, mudah dibentuk serta memiliki sifat-sifat yang diinginkan dengan energi dan kerja minimum. Bahan plastik mengalami pengembangan dan penggunaan yang luas. Karena plastik mudah dalam proses pengerjaan, seringkali bahan tersebut digunakan oleh ahli desain tanpa mengindahkan karakteristik dan batasan yang mendalam.

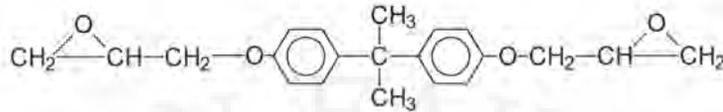
Bahan polimer secara garis besar dapat digolongkan ke dalam 2 bagian, yaitu:

1. Polimer termoplastik/Resin Termoplastik

Berstruktur molekul linier dan dapat diinjeksikan ke dalam cetakan selagi panas oleh karena polimer termoplastik menjadi lunak pada suhu yang tinggi. Bahan polimer termoplastik harus didinginkan terlebih dahulu sebelum dilepas ke dalam cetakan. Pada proses pembentukan tidak terjadi polimerisasi lagi.

2. Polimer termoset/Resin termoset

Struktur yang bersifat 3 dimensi, akibatnya polimer ini tidak menjadi lunak bila dipanaskan dan tetap kaku. Agar dapat mencetak polimer termoset ini, perlu mulai dengan campuran terpolimerisasi sebagian dan perubahan bentuk dibawah pengaruh tekanan. Bila didiamkan pada suhu 200°C-300°C polimerisasi sempurna dan terbentuklah struktur 3 dimensi yang lebih kaku. Hal ini disebut endapan setting thermal. Sekali terbentuk, produk dapat dikeluarkan dari cetakan tanpa menunggu pendinginan lebih lanjut. Epoxy resin termasuk dalam polimer jenis ini yang mempunyai rumus kimiawi seperti pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Rumus kimiawi Epoxy Resin

### 2.2.2. Karakteristik Bahan Polimer

Karakteristik khas bahan polimer pada umumnya adalah sebagai berikut:

1. Pencetakan yang mudah. Pada temperature relative rendah bahan dapat dicetak dengan penyuntikan, penekanan, estrusi dan seterusnya, yang menyebabkan ongkos pembuatan relative lebih rendah daripada untuk logam dan keramik.
2. Sifat produk yang ringan dan kuat. Berat jenis polimer rendah dibandingkan dengan logam dan keramik, yaitu berkisar antara 1,0 – 1,7; yang memungkinkan membuat produk yang ringan dan kuat.
3. Kurang tahan terhadap panas. Hal ini sangat berbeda dengan logam dan keramik. Walaupun ketahanan panas bahan polimer tidak sekuat logam dan keramik, pada penggunaannya harus cukup diperhatikan.
4. Produk-produk dengan sifat yang cukup berbeda dapat dibuat tergantung pada cara pembuatannya. Dengan mencampur zat pemplasis, pengisi dan sebagainya sifat-sifat dapat berubah dalam daerah yang luas. Misalnya plastic diperkuat serat gelas.(FRP =Fiberglass Reinforced Plastics).
5. Baik sekali dalam ketahanan air dan zat kimia. Pemilihan bahan yang baik akan menghasilkan produk yang mempunyai sifat-sifat yang baik sekali.
6. Banyak diantara polimer bersifat isolasi listrik yang baik. Polimer mungkin juga dibuat konduktor dengan cara mencampurnya dengan serbuk logam, butiran karbon dan lainnya.
7. Umumnya bahan polimer lebih murah.
8. Kekerasan permukaan yang sangat kurang. Bahan polimer yang keras ada tetapi masih jauh dibawah kekerasan logam dan keramik.
9. Kurang tahan terhadap pelarut. Umumnya larut dalam zat pelarut tertentu kecuali bahan khusus. Kalau tidak dapat larut mudah retak karena kontak yang terus menerus dengan pelarut dan disertai dengan adanya tegangan.

10. Mudah termuati listrik secara elektrostatik. Kecuali bahan yang khusus dibuat agar menjadi hambatan listrik, kurang higroskopis dan dapat dimuati listrik.
11. Beberapa bahan tahan terhadap abrasi, atau mempunyai koefisien gesek yang kecil.

### **2.2.3 Massa Jenis Bahan Polimer**

Massa jenis merupakan factor yang sangat penting. Bagi bahan bermassa jenis rendah maka dengan volume sama diperoleh massa yang ringan dan lebih kuat. Massa jenis polimer jauh lebih rendah dari logam maupun keramik. Sifat ringan tersebut adalah salah satu sifat khas bahan polimer.

### **2.2.4 Karakteristik Mekanik Polimer**

Yang termasuk karakteristik mekanik suatu bahan antara lain :

- a. kekuatan tarik
- b. kekuatan tekan
- c. kekuatan lentur
- d. modulus elastisitas
- e. modulus geser
- f. kekerasan bahan

Besaran-besaran diatas diketahui dengan tujuan agar sifat material dapat diperkirakan secara akurat dan cermat. Karakteristik mekanik yang penting untuk diketahui dari bahan polimer ini adalah:

1. Bahan yang cukup stabil seharusnya dipilih untuk menghindari bahan yang tidak tahan radiasi ultraviolet, oksigen dan sebagainya.
2. Banyak bahan biasa mengalami pemelaran atau relaksasi tegangan, terutama bagi bahan polimer yang memiliki gaya antar molekulnya lemah dan dikonfigurasi hanya oleh ikatan van der waals. Namun bagi bahan polimer yang mempunyai ikatan hydrogen dengan gaya antar molekul yang kuat dan demikian

juga bagi resin termoset yang terbentuk dengan ikatan kovalen tiga dimensi, pengaruh pemelaran dan relaksasi tegangan agak kurang.

3. Regangan sisa dari pencetakan terjadi waktu pemanasan, mudah menyebabkan retakan karena tegangan.
4. Terdapat beberapa bahan yang dapat mengalami tegangan tarik sederhana dan pemelaran, tetapi tidak tahan terhadap kelelahan karena terjadi kombinasi beban antara penekanan.
5. Beberapa bahan polimer cenderung tahan dalam waktu singkat apabila dicelupkan ke dalam minyak, pelarut dan sebagainya namun apabila disertai tegangan dapat terjadi retak dan akhirnya putus.
6. Beberapa bahan polimer memiliki ketahanan impak relative kecil. Akan tetapi, dewasa ini telah dikembangkan plastic yang mempunyai kekuatan impak tinggi seperti polikarbonat, poliasetal, dan sebagainya.
7. Sifat-sifatnya relative cepat berubah karena temperatur, kadang-kadang berbeda banyak meskipun dalam daerah temperature relatif rendah. Karena ketahanan panasnya buruk, perlu perhatian yang cukup untuk tidak dipakai pada temperatur tinggi.

### 2.2.5 Karakteristik Listrik Polimer

Karakteristik listrik suatu material dapat ditentukan dengan memperhatikan besaran listrik yang patut diketahui, seperti:

1. Kekuatan hancur dielektrik/bahan isolasi(ketahanan terhadap medan listrik).

Tegangan listrik maksimum yang dapat ditahan suatu isolator tanpa merusak sifat isolasinya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$E = \frac{V_{bd}}{h} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan:

E = kekuatan hancur dielektrik

$V_{bd}$  = tegangan tembus dielektrik/ material isolasi

h = ketebalan dielektrik

h =  $d^n$  untuk material polimer

- d = ketebalan (mm)
- n = konstanta dari keadaan yang diuji, tergantung dari macam benda uji
- n = 0 untuk tegangan arus searah dan berkisar antara 0,3 sampai 0,5 untuk tegangan bolak-balik

2. Tahanan isolasi

Terdiri dari tahanan jenis dan tahanan volume baik untuk saluran panjang maupun untuk permukaan. Tahanan jenis dan tahanan volume dapat diperoleh melalui persamaan:

$$\begin{aligned} \rho &= (R.A)/h \\ \gamma &= 1/\rho \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Dengan:

- $\rho$  = tahanan jenis
- $\gamma$  = tahanan volume
- R = tahanan
- A = luas permukaan
- h = panjang

Sedangkan tahanan jenis ( $\rho_s$ ) dan tahanan volume ( $\gamma_s$ ) permukaan dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \rho_s &= (R_s.d)/h \\ \gamma_s &= 1/\rho_s \end{aligned}$$

Dengan:

- $R_s$  = tahanan permukaan
- d = jarak permukaan
- h = panjang

3. Konstanta dielektrik dan faktor kerugian dielektrik

Konstanta dielektrik menyatakan besarnya polarisasi yang terjadi pada dielektrik, sedangkan rugi dielektrik adalah energi yang diserap oleh dielektrik dalam satu satuan waktu jika bahan tersebut berada dalam medan listrik, sehingga

bahan dielektrik tersebut menjadi panas. Hal ini terjadi pada tegangan DC maupun AC.

Bahan polimer banyak yang bersifat isolator dan tahan terhadap medan listrik. Oleh karena itu sering digunakan sebagai isolator listrik.

### **2.2.6 Epoxy Resin Sebagai Material Isolator**

Bagi Negara-negara di Eropa penamaan untuk isolator non keramik ini adalah isolator polimer, sedang bagi Negara Amerika Serikat dikenal sebagai isolator komposit. Isolator polimer ini baru berkembang pada tahun 1950-an. Pertama kali dibuat adalah isolator komposit diperkuat fiberglass bekerja pada tegangan tinggi lebih dari 72 kV.

Perkembangan berikut dari material polimer ini adalah pemakaian material resin epoksi sebagai bahan isolator. Pemakaian pertama material resin epoksi jenis bisphenol A untuk pembuatan isolator tegangan menengah 24 – 72 kV bagi isolator dalam ruang (indoor isolator). Selanjutnya material resin epoksi cycloaliphatic silica filled dipakai sebagai bahan material isolator tegangan menengah 24- 72 kV untuk pemakaian luar ruang (outdoor isolator).

Jenis epoxy yang dipakai untuk isolator luar ruang ( outdoor isolator) ini mempunyai sifat-sifat khusus antara lain:

1. Viskositas rendah.
2. Ekuivalen epoxy (banyaknya resin yang mengandung 1 mol gugus epoxy dalam 1 gram) kecil.
3. Terutama digunakan sebagai isolator karena sifat kaku dan rapuh

Sedangkan keuntungan- keuntungan yang didapat dari isolator cast-resin yang terpenting adalah :

1. Sifat mekanis yang lebih baik.
2. Keretakan dan kebocoran yang rendah.
3. Ketahanan busur api(power arc) yang tinggi.
4. Bahannya ringan.

## 5. Dimensinya yang kompak.

Kesangsian terhadap sifat resin epoksi ini membuat pemakaian material porselen masih digunakan. Beberapa alasan untuk hal tersebut, yaitu antara lain karena resin epoksi adalah bahan yang sangat menyimpang dari sifat porselen yang telah dikenal selama ini. Karakteristik resin epoksi tergantung pada temperatur, creep muncul pada bagian-bagian yang terus menerus terkena tekanan mekanik, perubahan dapat terjadi pada struktur molekul baik oleh tekanan fisik dan kimia. Tekanan-tekanan oleh kondisi lingkungan pada instalasi luar ruangan adalah:

1. Sinar matahari
2. Temperatur dengan segala variasinya
3. Hujan
4. Kelembapan
5. Polusi
6. Lain-lain, tekanan mekanis dan termal yang disebabkan arus kebocoran dan pembuangan di permukaan.

## 2.3 ISOLATOR BERPOLUTAN

### 2.3.1 Sifat Polutan

Polutan yang dapat mempengaruhi tahanan permukaan suatu isolator dibagi dalam dua jenis, polutan yang bersifat konduktif dan polutan yang bersifat inert.

#### 2.3.1.1 Polutan yang bersifat konduktif

Polutan yang bersifat konduktif yaitu polutan yang mampu menghantarkan arus listrik. Terdiri dari garam-garam yang mampu terurai menjadi ion-ion misalnya NaCl, MgCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan sebagainya. Dalam suatu larutan garam-garam tersebut mudah terurai dan dapat mempengaruhi tahanan permukaan pada isolator, karena garam-garam tersebut akan membentuk suatu lapisan konduktif pada permukaan isolator.

Adanya polusi garam ini mempengaruhi terjadinya tahanan permukaan pada isolator. Garam yang sukar larut lebih kecil pengaruhnya pada terjadinya tahanan permukaan dibandingkan dengan garam yang mudah larut. Beberapa komponen

konduktif pada daerah industri dapat larut membentuk larutan asam yang bersifat konduktif, misalnya gas  $\text{SO}_2$ , yang dapat membentuk  $\text{H}_2\text{SO}_4$

### 2.3.1.2 Polutan yang bersifat Inert

Polutan yang bersifat lembam merupakan bagian dari zat padat yang tidak dapat terurai menjadi ion-ion dalam larutan, namun komponen ini dapat menyebabkan ketahanan permukaan isolator. Zat-zat seperti  $\text{SiO}_2$ , tanah liat (kaolin) dapat membentuk suatu ikatan mekanis untuk mengikat komponen-komponen konduktif. Ikatan mekanis yang terbentuk akan mempersulit proses pencucian isolator. Perbedaan tingkat pengotoran antara permukaan atas dengan permukaan bawah akan terlihat pada isolator yang banyak mengandung komponen yang bersifat lembam.

Polutan lembam terbagi menjadi dua sifat yakni hydrophilic dan hydrophobic. Komponen hydrophilic dapat meningkatkan tingkat kebasahan permukaan isolator karena kemampuannya menyerap air, contohnya tanah liat dan semen. Sedangkan komponen hydrophobic menurunkan tingkat kebasahan isolator, karena sifat kedap air, contohnya lemak dan oli (minyak), yang menyebabkan air tidak dapat menempel pada permukaan isolator sehingga lapisan konduktif yang terbentuk tidak kontinyu.

Penyebab terbesar dari terbentuknya tahanan permukaan adalah polutan yang bersifat konduktif. Konduktifitas polutan per satuan luas dapat dinyatakan dengan KEG (kepadatan endapan garam) atau ESDD (equivalent salt deposit density). Dimana menurut IEEE banyaknya ESDD ini dapat dibedakan menjadi ringan, sedang, berat dan sangat berat, tergantung pada kondisi sekelilingnya.

### 2.3.2 Pembentukan Polutan Pada Isolator

Polutan baik yang konduktif maupun yang bersifat lembam sebagian besar dibawa oleh angin ke permukaan isolator. Arah dan kecepatan angin sangat mempengaruhi pola pembentukan endapan isolator yang bentuknya tak beraturan. Hal ini terlihat jelas pada daerah yang berangin konstan.

Medan elektrostatis mempengaruhi pengumpulan partikel yang dibawa angin terutama pada bagian isolator yang mengalami stress tegangan yang tinggi, misalnya di

sekitar fasa pada isolator gantung. Medan elektrostatis akan mengikat partikel-partikel melalui proses polarisasi begitu menyentuh permukaan isolator, sehingga pengaruhnya terlihat jelas pada isolator tegangan tinggi arus searah dengan polaritas sama. Pemanasan oleh arus bocor yang mengalami stress tegangan tinggi menghalangi proses pencucian oleh alam dan mempertinggi pengumpulan zat pengotor. Pada isolator dengan tegangan bolak-balik dengan arus bocor lebih besar dibandingkan pengaruh medan elektrostatis.

Larutan asam lemah pada permukaan di daerah dekat industri dapat mengikis permukaan isolator sehingga menjadi tidak rata. Keadaan ini menyulitkan dalam pencucian isolator secara alamiah, dan dapat menimbulkan pengumpulan kotoran yang lebih banyak.

Beberapa gaya yang mempengaruhi pengotoran pada permukaan isolator adalah:

a. Gaya grafitasi bumi

Gaya ini sangat dominant dengan terbentuknya lapisan pengotoran pada bagian atas isolator.

$$F = m \cdot g$$

Dimana:

$m$  = massa partikel

$G$  = grafitasi bumi

b. Gaya angin

Gaya yang terjadi akibat tiupan angin dapat membawa partikel-partikel di udara bebas ke arah isolator.

$$F = 3\pi\eta d \cdot v$$

dengan:

$\eta$  = koefisien gesek antara partikel dengan udara

$d$  = diameter partikel

$v$  = kecepatan angin

c. Gaya elektrostatis

Gaya elektrostatis terjadi akibat adanya medan listrik pada permukaan isolator.

$$F = E \cdot q$$

dimana:

E = kuat medan listrik

Q = muatan partikel

## 2.4 ISOLATOR DENGAN LAPISAN PENGOTOR YANG SERAGAM

Isolator dengan lapisan pengotor tipis yang bersifat konduktif memiliki konduktifitas permukaan merata pada setiap titik. Bila lapisan pengotor mempunyai tebal h, konduktifitas permukaan isolator dapat didefinisikan sebagai

dimana :

$$\sigma_s = \sigma \cdot h$$

Dimana:  $\sigma$  = konduktifitas spesifik

Dengan demikian resistivitas permukaan dapat didefinisikan sebagai:

$$\rho_s = \rho / h$$

Dan tahanan total permukaan adalah

$$R = \rho \cdot l / A$$

$$dR = \rho \frac{dl}{\pi[(r+h)^2 - r^2]}$$

$$dR = \rho \frac{dl}{\pi(2rh + h^2)}$$

Untuk lapisan pengotor yang tipis ( $h \ll r$ ), maka:

$$dR = \rho_s h \frac{dl}{2\pi r h}$$

$$dR = \rho_s h \frac{dl}{2\pi r}$$

Untuk jarak lapisan L, tahanan permukaan total adalah:

$$R = \int_0^L dR$$

$$R = \rho_s \int_0^L \frac{dl}{2\pi r}$$

$$R = \rho_s \int_0^L \frac{dl}{\pi D}$$

Dimana: L = jarak rayap permukaan

dl = elemen jarak rayap permukaan

D = diameter permukaan pada dl

Jika diameter efektif isolator dapat didefinisikan dengan:

$$D_{eff} = \frac{L}{\int_0^L \frac{dl}{\pi D}}$$

Dengan demikian tahanan permukaan adalah:

$$R = \frac{\rho_s L}{\pi D_{eff}}$$

Untuk menentukan tahanan permukaan suatu lapisan maka didefinisikan faktor bentuk dengan persamaan berikut:

$$FF = \int_0^L \frac{dl}{\pi D}$$

## 2.5 PENGGOLONGAN TINGKAT PENGOTORAN

IEEE menggolongkan pengotoran menjadi empat tingkatan seperti pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Penggolongan tingkat pengotoran

Tingkat pengotoran	ESDD
Sangat ringan	0 – 0.03
Ringan	0.03 – 0.06
Sedang	0.06 – 0.1
berat	>0.1

Sedangkan berdasarkan IEC 815 penggolongan tingkat pengotoran yang dipengaruhi oleh kondisi geografis di suatu tempat adalah seperti pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Penggolongan tingkat pengotoran berdasarkan kondisi geografis

Tingkat	Bobot polusi	KEG
I	Ringan	0.03 – 0.06
II	Sedang	0.1 – 0.2
III	Berat	0.3 – 0.6
IV	Sangat Berat	>0.6

ESDD (Equivalent salt deposit density) = kepadatan jumlah garam ekuivalen.

## 2.6 PENGARUH PENGOTORAN YANG BERSIFAT DIELEKTRIK

Pengotor yang bersifat dielektrik terutama disebabkan oleh benda-benda anorganik misalnya biji tanaman. Pengaruh pengotor ini dapat dirasakan bila tebal endapan pengotor relatif besar. Pada isolator yang terkena polutan antara pengotor (bahan 1) dan isolator (bahan 2) sehingga berlaku persamaan :

$$V = V_1 + V_2$$

D dalam udara adalah sama dengan D dalam dielektrik dimana:

$$D = \epsilon E$$

Maka:

$$\epsilon_1 E_1 = \epsilon_2 E_2$$

$$E_2 = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} E_1$$

Untuk medan homogen berlaku  $V = E \cdot d$  , sehingga :

$$E_1 d_1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} E_2 d_2 = V$$

Dengan demikian besarnya kuat medan  $E_1$  adalah:

$$I_b = \frac{V}{R} = \frac{E_1 d_1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} E_2 d_2}{\rho_s (FF)}$$

Dimana:

$E_1$  = Kuat medan listrik pada medium udara

$E_2$  = Kuat medan listrik pada medium pengotor

$D_1$  = tebal lapisan udara

$D_2$  = tebal lapisan pengotor

$\epsilon_1$  = konstanta dielektrik udara

$\epsilon_2$  = konstanta dielektrik pengotor

$V$  = tegangan

$D$  = rapat fluks

$\rho_1$  = resistivitas permukaan

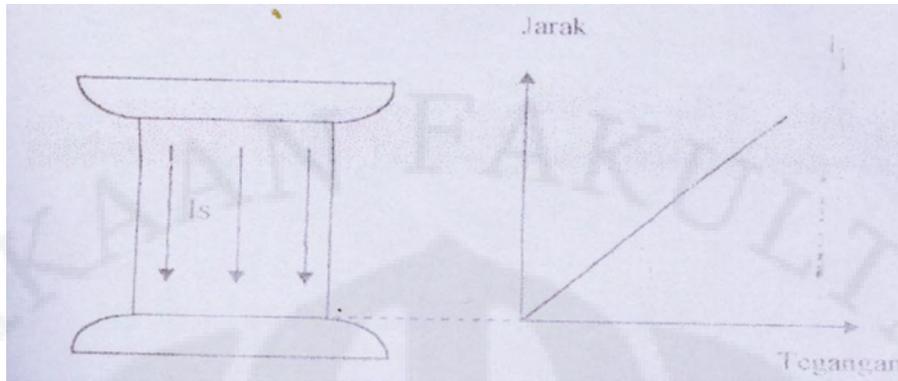
$FF$  = faktor bentuk (FF) =  $\int_0^L \frac{dl}{\pi D}$

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa pengotor dielektrik akan mempengaruhi besarnya arus bocor yang melalui permukaan isolator.

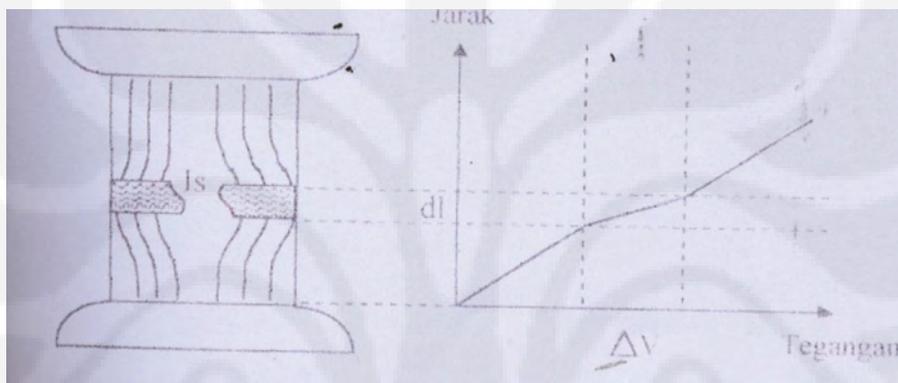
## 2.7 ISOLATOR PADA KONDISI PENGOTORAN

Isolator pada transmisi tegangan tinggi yang terkontaminasi akan memiliki konduktansi yang berbeda – beda. Konduktansi lapisan pengotor dipengaruhi oleh kelembapan udara, tebal lapisan dan jenis bahan pengotor. Semakin besar konduktansi dari lapisan pengotor maka arus bocor yang terjadi akan semakin besar. Hal ini berhubungan dengan besarnya arus yang mengalir pada permukaan isolator.

Permukaan yang kotor akan mengalami drop tegangan sehingga menyebabkan terjadinya aliran bocor. Jika tegangan mencapai harga tertentu maka pada lapisan pengotor akan arus dengan kerapatan arus yang besar, dan menyebabkan terjadinya pengeringan. Seperti dijelaskan pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.3 Distribusi tegangan pada isolator bersih



Gambar 2.4 Distribusi tegangan pada isolator dengan pengotoran

Peristiwa ini akan berlangsung terus menerus dan menyebabkan terjadinya pengeringan lapisan- lapisan lembap di sekitarnya. Arus yang cukup besar akan menimbulkan bunga api parsial yang lebih besar dan apabila dapat menjembatani elektroda- elektroda dari isolator maka akan terjadi flashover. Dengan demikian tahanan permukaan pada isolator yang terkontaminasi tergantung dari konduktansi lapisan pengotor yaitu tingkat kekotoran, komposisi pengotor dan lain- lain.

## **BAB 3**

### **METODE PENGUJIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan metode yang dilakukan dalam pengujian tahanan permukaan, peralatan dan bahan yang digunakan dalam pengujian, jalannya pengujian serta percobaan pendukung yaitu perhitungan luas permukaan isolator. Secara umum metode pengujian diambil dari ASTM Standard 257-99 dan ESD STM 11.11-2001

#### **3.1 PERALATAN PENGUJIAN**

Dalam pengujian tahanan permukaan isolator epoxy resin berpolutan peralatan-peralatan yang digunakan antara lain adalah:

1. Insulation tester

Insulation tester merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tahanan isolasi suatu bahan isolator. Insulation tester yang digunakan adalah AVO megger dengan type MJ 15. Tegangan pengujian insulation tester ini bisa mencapai 5 kV. Alat ini dirancang berdasarkan standar IEC LR6. Insulation tester yang digunakan pada pengujian ini adalah seperti pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Insulation tester yang digunakan dalam pengujian

2. Isolator epoxy resin
3. Timbangan
4. Multimeter
5. Termometer.

### 3.2 BAHAN PENGUJIAN

Bahan-bahan pengujian kimia yang digunakan dalam suatu penelitian diklasifikasikan menjadi tiga kelas, yaitu:

1. Pro Analist, dalam kelas ini bahan kimia yang digunakan memiliki kemurnian 99% wadah yang baik, serta harga yang sangat mahal. Bahan kimia dengan kelas ini dipergunakan untuk penelitian yang memerlukan ketelitian serta kemurnian yang tinggi.
2. Reagen, kelas ini memerlukan kemurnian yang lebih rendah daripada kelas diatas, kemurnian berkisar antara 95%.
3. Technical Analist, kelas ini memiliki kemurnian yang rendah serta harga yang relatif lebih murah.

Pada pengujian tahanan permukaan isolator berpolutan ini, bahan kimia yang digunakan adalah Technical Analist. Bahan kelas ini digunakan karena penguji membutuhkan bahan kimia dalam jumlah yang banyak, sehingga harga relatif murah menjadi pilihan yang terbaik. Selain itu pada keadaan di alam, polutan yang terbentuk pun tidak murni dari satu jenis polutan.

Bahan-bahan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain adalah:

1. Natrium Klorida
2. Kalsium karbonat
3. Karbon
4. Kaolin
5. Es + air

Pada pengujian tahanan permukaan isolator berpolutan ini, bahan yang digunakan sebagai polutan ada 4 jenis yaitu NaCl, Carbon ,  $\text{CaCl}_2$  dan kaolin. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan jenis polutan dengan komposisi sebagai berikut:

1. 100 gr NaCl + 200 gr Kaolin + 5 lt air
2. 300 gr NaCl + 200 gr Kaolin + 5 lt air
3. 500 gr NaCl + 200 gr Kaolin + 5 lt air
4. 100 gr  $\text{CaCO}_3$  + 200 gr Kaolin + 5 lt air

5. 300 gr  $\text{CaCO}_3$  + 200 gr Kaolin + 5 lt air
6. 500 gr  $\text{CaCO}_3$  + 200 gr Kaolin + 5 lt air
7. 100 gr C + 200 gr Kaolin + 5 lt air
8. 300 gr C + 200 gr Kaolin + 5 lt air
9. 500 gr C + 200 gr Kaolin + 5 lt air

### **3.3 TAHAPAN PENGUJIAN**

Dalam proses pengambilan data, tahapan-tahapan yang dilakukan pada pengujian tahanan permukaan isolator berpolutan adalah persiapan awal dan kemudian pengambilan data.

#### **3.3.1 Persiapan Awal Pengujian**

Secara umum, hal yang dilakukan pada tahapan persiapan awal pengujian ini adalah mempersiapkan isolator Epoxy Resin yang akan diuji dan pemberian polutan pada isolator tersebut:

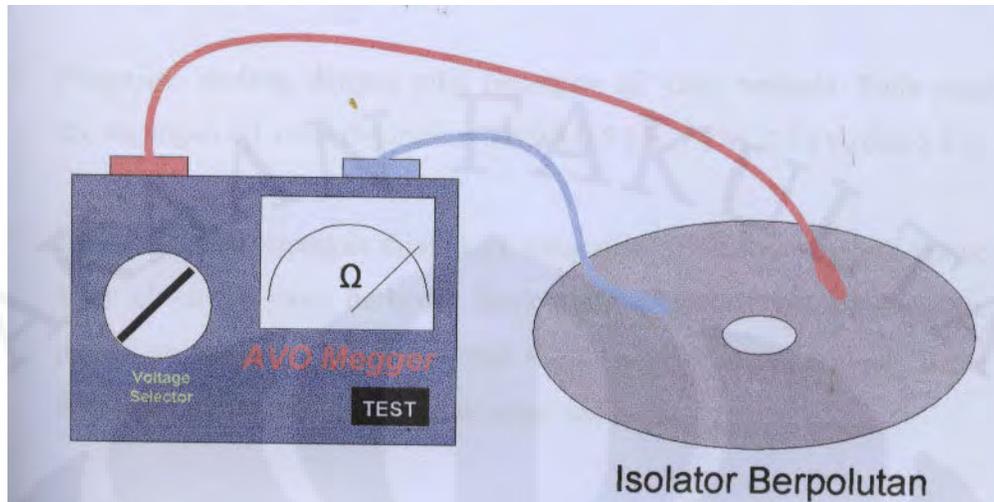
1. Membersihkan isolator Epoxy Resin. Isolator harus dibersihkan secara hati hati sehingga semua kotoran dan lemak dapat dibersihkan. Berdasarkan IEC 507, setelah pembersihan isolator tidak boleh dipegang oleh tangan namun pemegangan dilakukan dengan metal fitting yang terlebih dahulu di cat agar tidak berkarat. Namun dalam pengujian ini, penguji tidak menggunakan metal fitting, namun dengan menggunakan sarung tangan karet. Pembersihan dilakukan dengan menggunakan air yang dipanaskan hingga suhu  $50^\circ\text{C}$  ditambahkan dengan deterjen (trisodium phosphate). Apabila telah yakin isolator sudah dalam keadaan bersih, isolator kembali dibersihkan dengan air ( dengan suhu normal). Untuk selanjutnya pembersihan isolator dari polutan buatan yang diberikan dalam pengujian ini cukup dengan air biasa.
2. Menimbang polutan yang diinginkan beserta kaolin (banyaknya polutan tergantung dari jenis yang diinginkan)
3. Menyiapkan air sebanyak 5 lt pada suhu  $20^\circ\text{C}$ . Untuk mengusahakan suhu air dibawah  $20^\circ\text{C}$ , maka air tersebut dicampur dengan es, sehingga suhu campuran keduanya mempunyai temperatur sedikit dibawah  $20^\circ\text{C}$ . Hal ini karena, pada saat

mengaduk dikhawatirkan suhu akan naik sebelum sempat menghitung konduktansi larutan. Yang harus diingat bahwa campuran antara air dan es harus tepat 5 lt dan suhu dibawah 20°C

4. Setelah air sebanyak 5 lt (pada suhu 20°C), maka polutan dimasukan perlahan-lahan sambil diaduk,hal ini untuk memastikan polutan larut dengan sempurna.
5. Menghitung konduktansi larutan pada suhu 20°C, menggunakan multimeter. Kelemahan alat ini, pada kedua ujung konektornya menggunakan logam, sehingga menyebabkan elektrolisis yang dapat menyebabkan pengukuran menjadi tidak akurat. Sesaat setelah konektor multimeter dimasukan kedalam larutan , seperti, terlihat pada gambar ion-ion tersebar dengan merata, karena pada saat ini belum ada arus listrik yang mengalir melaluinya. Setelah arus listrik mengalir melalui konektor maka konektor bermuatan positif akan menarik ion bermuatan negative dan konektor negative menarik ion positif. Fenomena yang timbul pada pengukuran ini adalah menurunnya secara kontinyu harga yang ditunjukkan oleh multimeter dan selalu berubah-ubah pada tiap pengukuran.
6. Mencelupkan isolator ke dalam polutan. Agar polutan tersebar merata(uniform), maka diusahakan isolator benar tercelup secara keseluruhan pada larutan polutan. Diusahakan agar isolator yang telah dilapisi dengan polutan tidak disentuh oleh tangan.
7. Mengeringkan isolator yang telah dilapisi dengan polutan.

### **3.3.2 PENGAMBILAN DATA**

Setelah isolator epoxy resin yang akan diuji telah siap (bersih atau sudah diberi polutan), langkah selanjutnya adalah pengujian untuk mendapatkan tahanan permukaan isolator epoxy resin dengan menggunakan AVO Megger. Skema pengujian tahanan permukaan isolator berpolutan ini adalah seperti pada Gambar 3.2 di bawah ini.

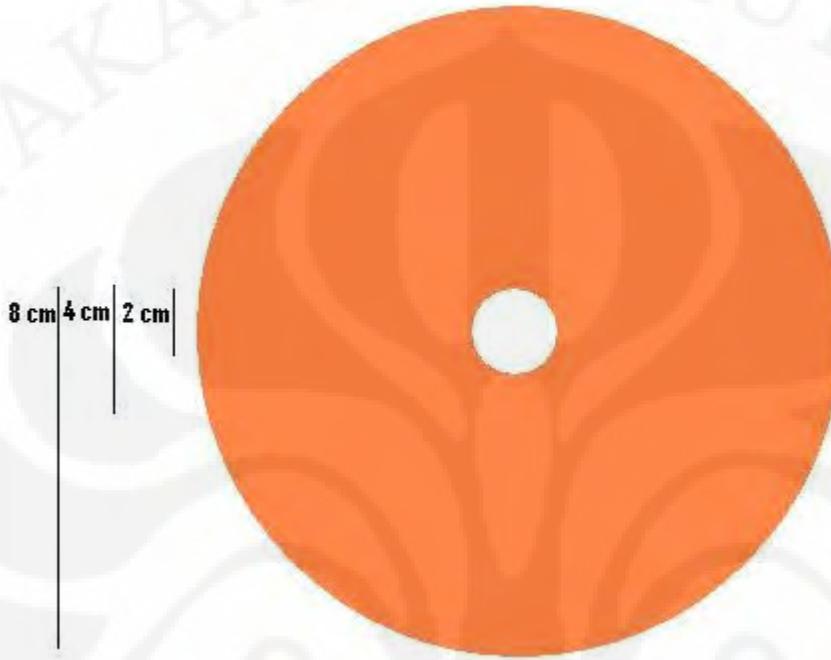


Gambar 3.2 Skema pengujian tahanan permukaan isolator berpolutan

Dalam pengujian ini, ada tiga hal ini yang divariasikan atau yang menjadi variable bebas pada pengambilan data yaitu tegangan pengujian, jarak antar elektroda, dan jenis polutan. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan isolator yang diuji.
2. Menentukan jarak antar elektroda pada isolator dengan menggunakan penggaris kemudian menghubungkan kedua elektroda dengan isolator sesuai dengan jarak yang telah ditentukan.
3. Menentukan tegangan uji yang akan digunakan pada AVO Megger.
4. Mengukur tahanan permukaan isolator dengan cara menerapkan tegangan antara kedua elektroda sebesar tegangan uji yang telah ditentukan dengan cara menekan tombol “TEST” pada AVO Megger kemudian membaca hasil pengukuran tahananannya pada AVO Megger.
5. Data diambil sebanyak dua kali untuk setiap jenis polutan, jarak antar elektroda, dan tegangan uji.
6. Pengujian diulang dengan nilai tegangan uji yang berbeda. Pada pengujian ini, tegangan uji yang digunakan adalah 0.5kV, 1kV, 2.5kV, dan 5 kV.
7. Setelah variasi tegangan dilakukan, pengujian dilakukan kembali untuk jarak antar elektroda yang berbeda. Jarak antar elektroda yang digunakan pada

pengujian adalah 2cm, 4 cm, dan 8 cm. Variasi tegangan yang sama juga dilakukan untuk setiap nilai jarak antar elektroda.



Gambar 3.3 Skema pengujian terhadap isolator berpolutan

8. Pengujian dengan variasi tegangan dan jarak yang sama diulang untuk jenis polutan yang berbeda.

## BAB 4

### PENGOLAHAN DATA

Dari data yang telah diperoleh pada saat pengujian yang telah dilakukan di Lab. Tegangan Tinggi Fakultas Teknik Universitas Indonesia, maka akan dilakukan pengolahan data pada data tersebut. Data yang diperoleh pada saat pengujian adalah konduktifitas larutan, tahanan permukaan isolator, sedangkan data yang diperoleh adalah Konsentrasi Endapan Garam, yang menentukan seberapa besar kadar polutan yang terdapat pada permukaan isolator.

#### 4.1 PERHITUNGAN LUAS PERMUKAAN ISOLATOR

Isolator yang dipakai adalah berbentuk kerucut terpancung dengan persamaan garis kurvanya adalah sebagai berikut:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

Dimana koordinat kurva adalah  $(0, r)$  dan  $(h, R)$ :

$$\frac{y - r}{R - r} = \frac{x - 0}{h - 0}$$

Jika persamaan tersebut disederhanakan menjadi:

$$y = x \left( \frac{R - r}{h} \right) + r$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{R - r}{h}$$

Rusuk kurva dapat dicari dengan:

$$s = \sqrt{(R - r)^2 + h^2}$$

Untuk mencari luasan dari kurva yang diputar mengelilingi sumbu x adalah:

$$A = 2\pi \int_a^b y \sqrt{1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2} dx$$

Jika persamaan kurva dimasukkan dalam persamaan sebelumnya, maka akan menjadi:

$$A = 2\pi \int x \left( \frac{R-r}{h} \right) + r \sqrt{1 + \left( \frac{R-r}{h} \right)^2} dx$$

$$A = 2\pi \sqrt{\frac{h^2 + (R-r)^2}{h^2}} \int_0^h x \left( \frac{R-r}{h} \right) + r dx$$

$$A = 2\pi \frac{1}{h} \sqrt{h^2 + \frac{(R-r)^2}{h}} \int_0^h x \left( \frac{R-r}{h} \right) + r dx$$

$$A = \frac{2\pi}{h} \left[ \frac{(R-r)}{2h} x^2 + xr \right]_0^h$$

$$A = \frac{2}{h} \pi \left\{ \left[ \frac{(R-r)}{2h} h^2 + hr \right] - \left[ \frac{(R-r)}{2h} 0 + 0.r \right] \right\}$$

$$A = \pi(R+r)$$

$$A = \pi 6(3+8.5)$$

$$A = 216.857 \text{ cm}^2$$

## 4.2 PERHITUNGAN KEG POLUTAN

### 4.2.1 NaCl

Berikut ini adalah data yang diperoleh untuk polutan NaCl:

$$\text{Konduktifitas: } \frac{1}{2.8} \text{ mS/cm}$$

$$\sigma_{20} = (0.357 * 1000) = 357.14 \mu\text{S/cm}$$

$$G = 0.1 * 5000 * (5.7 * 10^{-4} * 357.14)^{1.03}$$

$$G = 97.039 \text{ mg}$$

$$\text{KEG} = G/A$$

$$\text{KEG} = 97.039/216.857$$

$$\text{KEG} = 0.44$$

jarak 2 cm		jarak 4 cm		jarak 8 cm	
V	$\Omega$	V	$\Omega$	V	$\Omega$

500	750	500	800	500	800
1000	700	1000	700	1000	750
2500	500	2500	750	2500	750
5000	400	5000	500	5000	750
jarak 2 cm		jarak 4 cm		jarak 8 cm	
V	$\Omega$	V	$\Omega$	V	$\Omega$
500	300	500	900	500	700
1000	400	1000	700	1000	800
2500	400	2500	400	2500	800
5000	400	5000	300	5000	400
jarak 2 cm		jarak 4 cm		jarak 8 cm	
V	$\Omega$	V	$\Omega$	V	$\Omega$
500	650	500	600	500	750
1000	450	1000	600	1000	750
2500	400	2500	500	2500	750
5000	200	5000	300	5000	300

Konsentrasi endapan garam untuk kadar NaCl 100 gram, 300 gram, dan 500 gram berturut-turut adalah sebagai berikut:  $0.44 \text{ mg/cm}^2$  ,  $0.7 \text{ mg/cm}^2$  ,  $2.18 \text{ mg/cm}^2$

#### 4.2.2 CaCO<sub>3</sub>

Berikut ini adalah data yang diperoleh untuk  $\text{CaCO}_3$ :

jarak 2 cm		jarak 4 cm		jarak 8 cm	
V	$\Omega$	V	$\Omega$	V	$\Omega$
500	600	500	750	500	900
1000	550	1000	700	1000	800
2500	400	2500	550	2500	600
5000	300	5000	400	5000	500
jarak 2 cm		jarak 4 cm		jarak 8 cm	
V	$\Omega$	V	$\Omega$	V	$\Omega$
500	350	500	500	500	550
1000	300	1000	500	1000	500
2500	300	2500	450	2500	500
5000	250	5000	350	5000	450
jarak 2 cm		jarak 4 cm		jarak 8 cm	
V	$\Omega$	V	$\Omega$	V	$\Omega$
500	400	500	600	500	600
1000	350	1000	400	1000	450
2500	350	2500	300	2500	450
5000	300	5000	350	5000	400

Konsentrasi endapan garam untuk kadar  $\text{CaCO}_3$  100 gram, 300 gram, dan 500 gram berturut-turut adalah sebagai berikut:  $0.35\text{mg/cm}^2$ ,  $0.502\text{mg/cm}^2$ ,  $0.986\text{mg/cm}^2$ .

### 4.2.3 Carbon

Berikut ini adalah data yang diperoleh untuk Carbon:

jarak 2 cm		jarak 4 cm		jarak 8 cm	
V	$\Omega$	V	$\Omega$	V	$\Omega$
500	600	500	800	500	800
1000	550	1000	700	1000	800
2500	450	2500	700	2500	800
5000	400	5000	400	5000	800
jarak 2 cm		jarak 4 cm		jarak 8 cm	
V	$\Omega$	V	$\Omega$	V	$\Omega$
500	350	500	550	500	500
1000	350	1000	500	1000	500
2500	300	2500	550	2500	750
5000	300	5000	500	5000	750
jarak 2 cm		jarak 4 cm		jarak 8 cm	
V	$\Omega$	V	$\Omega$	V	$\Omega$
500	400	500	400	500	500
1000	300	1000	400	1000	400
2500	150	2500	300	2500	300
5000	100	5000	200	5000	200

Konsentrasi untuk Carbon kadar 100 gram, 300 gram dan 500 gram adalah sebagai berikut  $0.416 \text{ mg/cm}^2$ ,  $0.632 \text{ mg/cm}^2$ , dan  $1.07 \text{ mg/cm}^2$ .

### 4.3 PERBANDINGAN HAMBAT JENIS DARI JARAK YANG DIUKUR

Nilai hambatan bergantung kepada hambatan jenis, jarak dan luas daripada permukaan:

$$R_1 = \rho_1 \frac{L_1}{A_1}$$

$$R_2 = \rho_2 \frac{L_2}{A_2}$$

Dengan menganggap luas permukaan sama, maka didapatkan:

$$A_1 = A_2$$

$$\rho_1 \frac{L_1}{R_1} = \rho_2 \frac{L_2}{R_2}$$

$$\rho_1 = \rho_2 \frac{L_2 R_1}{L_1 R_2}$$

Dari rumus diatas akan dibandingkan hambatan jenis pada jarak yang diukur selama percobaan:

Untuk NaCl kadar 100 gram:

$$\rho_2 = \rho_8 \frac{L_8 R_2}{L_2 R_8}$$

$$L_4 = 4 \text{ cm}; L_2 = 2 \text{ cm}; R_{2\text{rata-rata}} = 587.5 \Omega ; R_{4\text{rata-rata}} = 687.5 \Omega$$

Sehingga didapatkan  $\rho_2 = 1.709 \rho_4$

Berikut ini adalah hasil dari pengolahan data:

Untuk polutan NaCl 100 gram didapatkan

$$\rho_2 = 1.709 \rho_4$$

$$\rho_2 = 3.081 \rho_8$$

$$\rho_4 = 1.803 \rho_8$$

Untuk polutan NaCl 300 gram, maka didapatkan

$$\rho_2 = 1.304 \rho_4$$

$$\rho_2 = 3.081 \rho_8$$

$$\rho_4 = 1.703 \rho_8$$

Untuk polutan NaCl 500 gram, maka didapatkan:

$$\rho_2 = 1.658 \rho_4$$

$$\rho_2 = 2.667 \rho_8$$

$$\rho_4 = 1.703 \rho_8$$

Untuk polutan CaCO<sub>3</sub> 100 gram, maka didapatkan:

$$\rho_2 = 1.541 \rho_4$$

$$\rho_2 = 2.642 \rho_8$$

$$\rho_4 = 1.714 \rho_8$$

Untuk polutan CaCO<sub>3</sub> 300 gram, maka didapatkan:

$$\rho_2 = 1.333 \rho_4$$

$$\rho_2 = 2.40 \rho_8$$

$$\rho_4 = 1.80 \rho_8$$

Untuk polutan CaCO<sub>3</sub> 500 gram, maka didapatkan:

$$\rho_2 = 1.696 \rho_4$$

$$\rho_2 = 2.947 \rho_8$$

$$\rho_4 = 1.736 \rho_8$$

Untuk polutan Carbon 100 gram, maka didapatkan:

$$\rho_2 = 1.538 \rho_4$$

$$\rho_2 = 2.714 \rho_8$$

$$\rho_4 = 1.857 \rho_8$$

Untuk polutan Carbon 300 gram, maka didapatkan:

$$\rho_2 = 1.238 \rho_4$$

$$\rho_2 = 2.714 \rho_8$$

$$\rho_4 = 1.857 \rho_8$$

Untuk polutan Carbon 500 gram, maka didapatkan:

$$\rho_2 = 1.461 \rho_4$$

$$\rho_2 = 2.714 \rho_8$$

$$\rho_4 = 1.736 \rho_8$$

#### 4.4 Data sebelum diberikan Polutan

Berikut ini adalah data yang diperoleh sebelum diberikan Polutan:

Jarak (cm)	Hambatan
2cm	5 G ohm
4cm	6 G ohm
8cm	8 G ohm

## **BAB 5**

### **ANALISIS PENELITIAN**

#### **5.1 UMUM**

Secara umum hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa pada isolator epoxy resin kondisi terpolusi maka kondisinya akan menurun. Seberapa jauh penurunannya tergantung dari jenis, sifat polutan serta konsentrasi polutan. Pada bab ini akan dianalisis data hasil pengujian yang cukup mewakili kondisi polusi yang ada di alam. Polutan buatan yang akan dianalisis mencakup NaCl, CaCO<sub>3</sub>, dan Karbon. NaCl mewakili garam-garaman, CaCO<sub>3</sub> mewakili debu dan karbon mewakili kondisi polusi di kota-kota besar. Isolator pertama kali diuji pada kondisi bersih. Kemudian setelah diuji dengan polusi, maka tahanan permukaannya akan menurun.

Turunnya tahanan isolasi dapat disebabkan karena terdapatnya lapisan pengotor pada permukaan isolator. Dengan adanya lapisan pengotor ini, maka akan terbentuk lapisan yang bersifat konduktif yang akan mempengaruhi tahanan permukaan dari isolator tersebut. Untuk mengetahui seberapa jauh perubahan tahanan permukaan dari isolator yang sudah terkena lapisan pengotor, maka pada bab ini akan dibandingkan data yang telah diperoleh selama pengujian.

##### **5.1.1 Analisis Jenis Polutan**

Dilihat dari nilai KEG NaCl lebih tinggi dari karbon berarti tahanan permukaannya harus lebih rendah dari karbon. Sifat higroskopis larutan menentukan seberapa jauh lapisan polutan menyerap air, sedangkan daya rekat menentukan seberapa jauh polutan ini dapat bertahan pada permukaan isolator. Semakin banyak polutan maka isolator akan semakin konduktif.

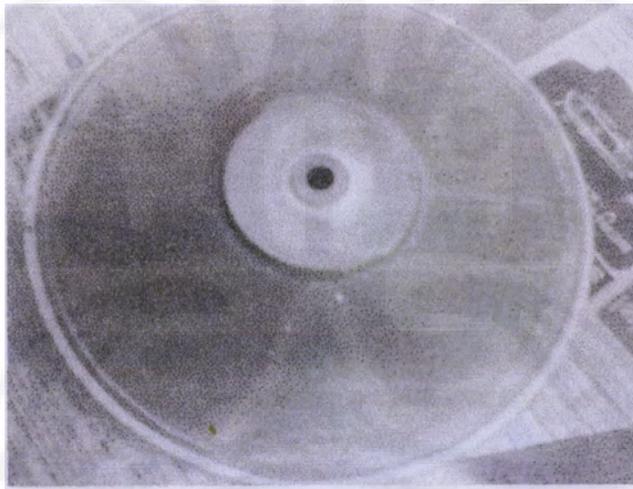
##### **5.1.2 Analisis Bobot Polutan**

Semakin besar bobot polutan maka akan semakin besar juga penurunan kinerja isolator. Makin besar bobot polutan konduktif, konduktifitas larutan akan semakin besar KEG juga semakin besar. Tetapi walaupun bobot polutan sama, dan harga KEG sama tidak menjamin bahwa semakin rendah tahanan permukaannya karena dipengaruhi oleh daya higroskopis dan daya rekat larutan.

## **5.2 ANALISIS KHUSUS**

### **5.2.1 Polutan NaCl 100 gram.**

Pada pengotor NaCl 100 gram terdapat penumpukan pada pinggiran isolator yang diuji. Penumpukan isolator yang bersifat konduktif pada pinggiran isolator rambat ini akan tahanan permukaan akan menurun, seolah-olah jarak rambat semakin pendek. Berikut ini adalah isolator dengan polutan NaCl sebesar 100 gram.



Gambar 5.1. Polutan dengan kadar 100 gram

### **5.2.2 Polutan NaCl 300 gram**

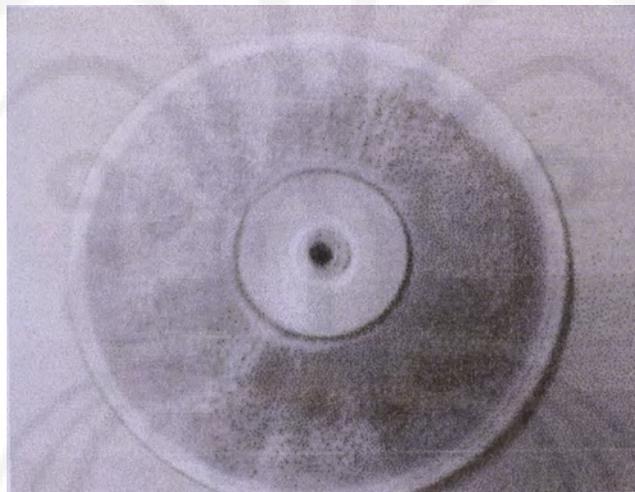
Pada pengotor NaCl 300 gram penumpukan pada permukaan isolator hamper merata, tetapi pada pinggiran isolator konsentrasi polutan semakin menurun, sehingga tahanan permukaannya akan semakin rendah.



Gambar 5.2 Polutan dengan kadar 30 gram

### 5.2.3 Polutan NaCl 500 Gram

Pada pengotor NaCl 500 gram penumpukan pada permukaan isolator hamper merata, tetapi pada pinggiran isolator kembali terjadi penumpukan yang bersifat konduktif, sehingga tahanan permukaan akan menurun.



Gambar 5.3 Polutan dengan kadar 500 gram

### 5.2.4 Polutan $\text{CaCO}_3$ 100 Gram

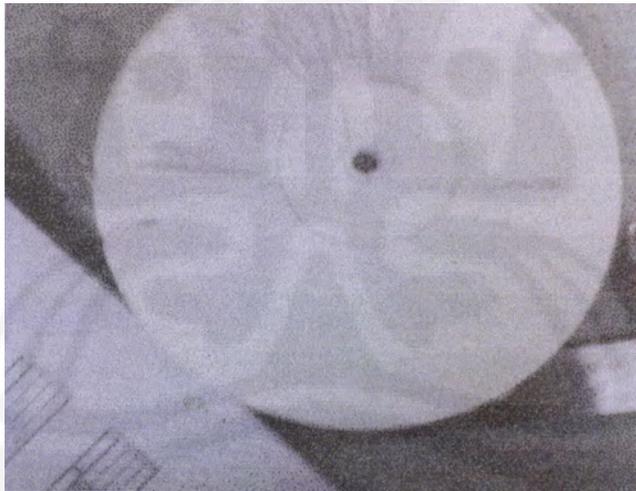
Kondisi pada polutan  $\text{CaCO}_3$  100 gram lebih merata apabila dibandingkan dengan kondisi dengan NaCl, tetapi masih terjadi penumpukan pada pinggiran isolator, sehingga tahanan permukaan pada pinggiran isolator lebih kecil, dibandingkan tahanan di tengah permukaan isolator.



Gambar 5.4 Polutan dengan kadar 100 gram

### 5.2.5 Polutan $\text{CaCO}_3$ 300 Gram

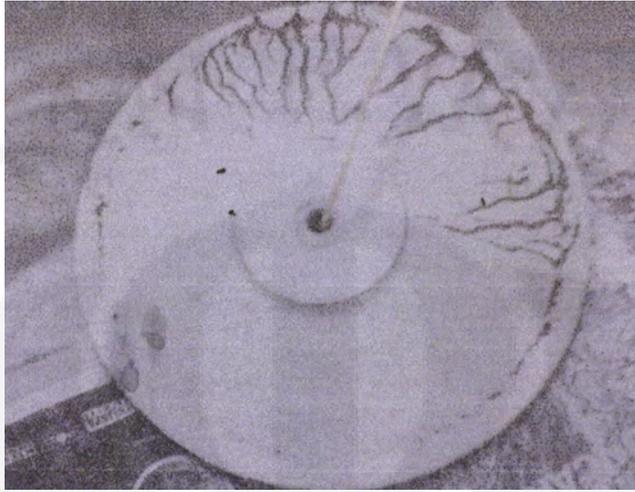
Pada polutan  $\text{CaCO}_3$  300 gram polutan menyebar secara merata pada permukaan isolator, sehingga tahanan permukaan lebih seragam. Semakin jauh jarak elektroda yang digunakan untuk pengukuran, maka semakin besar pula tahanan permukaannya.



Gambar 5.25. Polutan dengan kadar 300 gram

### 5.2.6 Polutan $\text{CaCO}_3$ 500 Gram

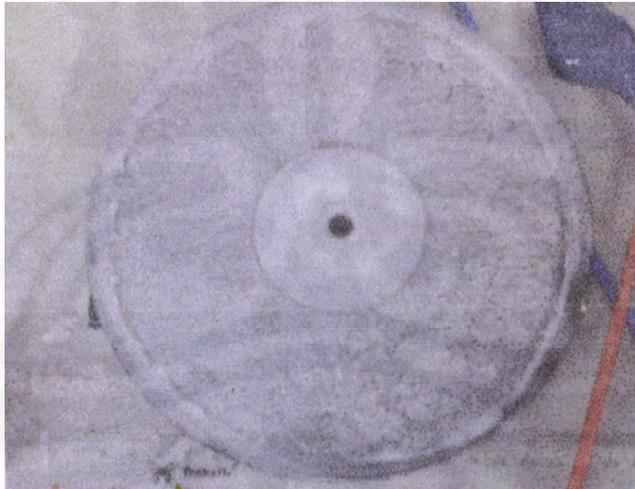
Pada polutan  $\text{CaCO}_3$  500 gram, polutan menyebar secara merata pada permukaan isolator, tahanan permukaan lebih seragam. Semakin jauh jarak yang digunakan untuk pengukuran, tahanan permukaan akan semakin besar.



Gambar 5.6 Polutan dengan kadar 500 gram

#### **5.2.7 Polutan Carbon 100 Gram**

Pada polutan Carbon 100 gram, polutan tidak meyebar secara merata. Terjadi penumpukan pada pinggiran isolator. Tahanan permukaan pada pinggiran konduktor akan lebih kecil, jika dibandingkan tahanan pada bagian tengah konduktor.



Gambar 5.7 Polutan dengan kadar 100 gram

#### **5.2.8 Polutan Carbon 300 Gram**

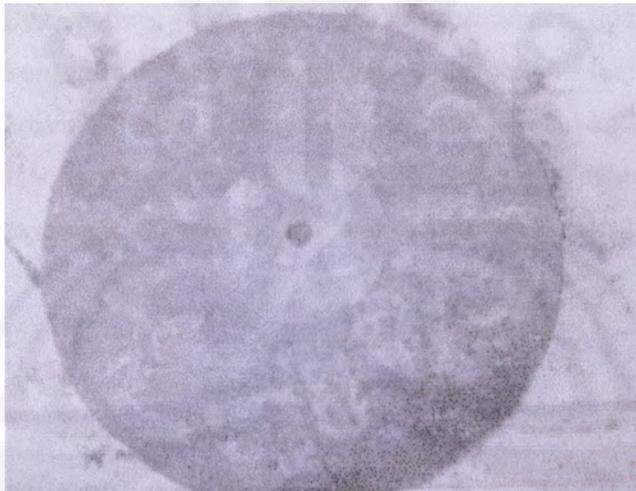
Pada polutan Carbon 300 gr, penyebaran polutan pada permukaan isolator sudah merata. Tahanan permukaan pada permukaan isolator akan bertambah dengan bertambahnya jarak antar elektroda.



Gambar 5.8 Polutan dengan kadar 300 gram

### 5.2.9 Polutan Carbon 500 Gram

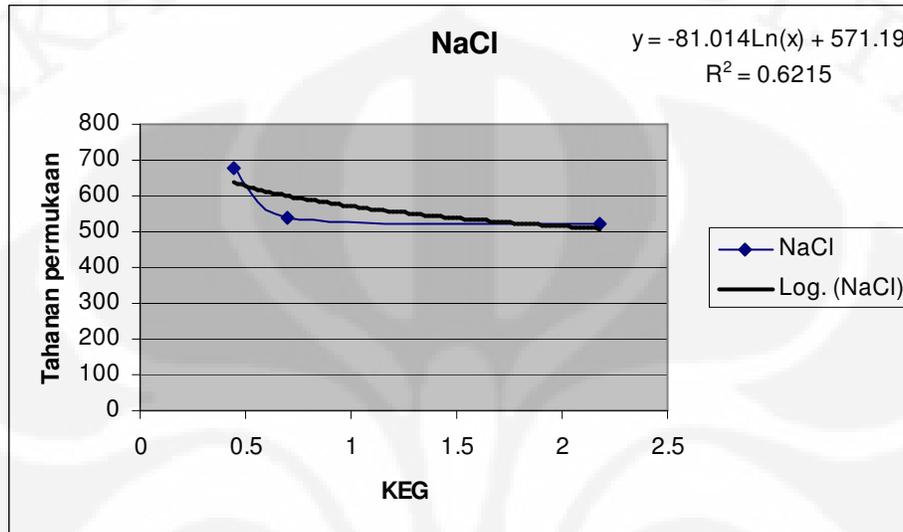
Pada polutan Carbon 500 gram, penyebaran polutan sudah merata. Tahanan permukaan bertambah pada permukaan isolator dengan bertambahnya jarak antar elektroda.



Gambar 5.9 Polutan dengan kadar 500 gram

## 5.3 HUBUNGAN ANTARA TAHANAN PERMUKAAN DENGAN KEG

### 5.3.1 Untuk Polutan NaCl



Gambar 5.10 Pengaruh Konsentrasi NaCl untuk Polutan NaCl

Dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa semakin besar konsentrasi endapan garam yang terdapat pada permukaan isolator, maka tahanan permukaan isolator tersebut akan menurun. Pada NaCl ini disebabkan karena zat ini memiliki sifat konduktif, sehingga semakin banyak lapisan NaCl pada permukaan isolator, maka tahanan permukaan isolator akan semakin menurun. Dari grafik tersebut juga dapat, bahwa penurunan tahanan permukaan tidak bersifat linier, penambahan konsentrasi endapan garam yang lebih lanjut hanya akan menurunkan sedikit tahanan permukaan. Hal ini karena kadar polutan yang digunakan adalah berat (rata-rata KEG > 0,5), sehingga memungkinkan NaCl untuk jenuh. Persamaan tahanan permukaan dengan KEG dapat didekati dengan persamaan:

$$Y = -81.014\ln(x) + 571.19$$

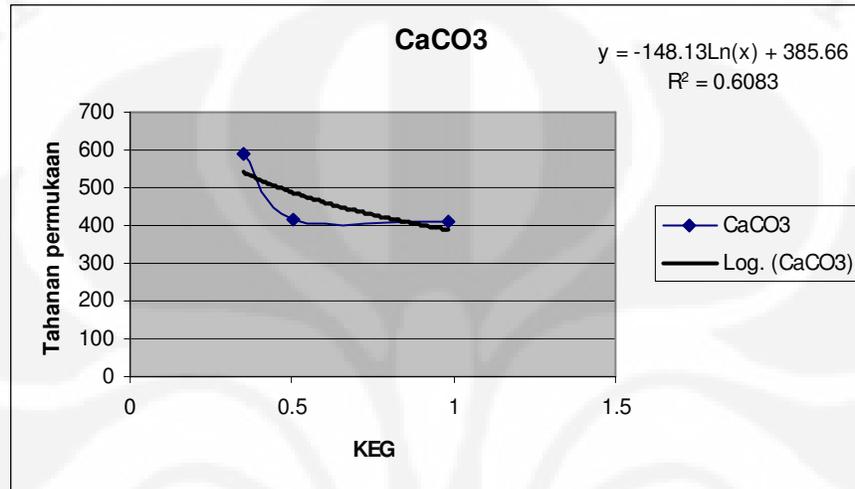
$$R^2 = 0.6215$$

Dengan x adalah konsentrasi endapan garam

Y adalah tahanan permukaan.

Hubungan secara logaritma dipilih, karena dapat dilihat dari grafik yang diperoleh dari data percobaan, penambahan nilai KEG lebih lanjut akan mengurangi sedikit tahanan permukaan, meskipun masih terdapat error yang cukup besar.

### 5.3.2 Untuk Polutan Caco3



5.11 Pengaruh Konsentrasi CaCO<sub>3</sub> terhadap tahanan permukaan

Dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa semakin besar konsentrasi endapan garam yang terdapat pada permukaan isolator, maka tahanan permukaan isolator tersebut akan menurun. Pada CaCO<sub>3</sub>, ini disebabkan karena zat ini memiliki sifat higroskopis, sehingga semakin banyak lapisan CaCO<sub>3</sub> pada permukaan isolator, maka tahanan permukaan isolator akan semakin menurun, karena adanya penyerapan air oleh CaCO<sub>3</sub> yang bersifat konduktif. Dari grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa penurunan tahanan permukaan tidak bersifat linier, penambahan konsentrasi endapan garam yang lebih lanjut hanya akan menurunkan sedikit tahanan permukaan. Hal ini adalah karena kadar polutan yang digunakan adalah berat( rata-rata KEG >0,5), sehingga memungkinkan CaCO<sub>3</sub> untuk jenuh. Persamaan tahanan permukaan dengan KEG dapat didekati dengan persamaan:

$$Y = -148.13\ln(x) + 385.66$$

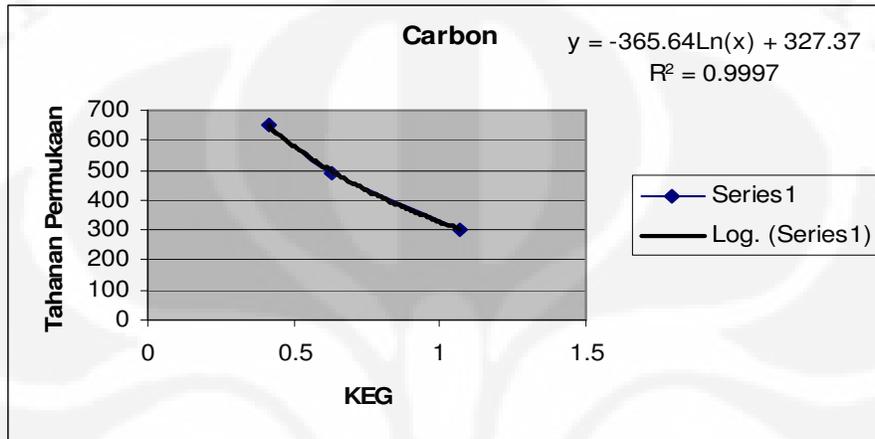
$$R^2 = 0.6083$$

Dengan x adalah konsentrasi endapan garam

Y adalah tahanan permukaan

Hubungan secara logaritma dipilih, karena dapat dilihat dari grafik yang diperoleh dari data percobaan, penambahan nilai KEG lebih lanjut akan mengurangi sedikit tahanan permukaan, meskipun masih terdapat error yang cukup besar.

### 5.3.3 Untuk Polutan Carbon



Gambar 5.12 Pengaruh Konsentrasi Carbon terhadap Tahanan Permukaan

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi endapan garam yang terdapat pada permukaan isolator, maka tahanan permukaan isolator tersebut akan menurun. Pada Carbon ini disebabkan karena zat ini memiliki sifat higroskopis, sehingga semakin banyak lapisan Carbon pada permukaan isolator, maka tahanan permukaan isolator akan semakin menurun, karena adanya penyerapan air oleh Carbon yang bersifat konduktif.

Larutan Carbon belum jenuh, sehingga penambahan konsentrasi endapan garam lebih lanjut dapat menurunkan tahanan permukaan. Dari grafik tersebut juga dapat dilihat, bahwa penurunan tahanan permukaan tidak bersifat linier. Grafik didekati dengan persamaan tahanan permukaan KEG dapat didekati dengan persamaan:

$$Y = -365.64 \ln(x) + 327.37$$

Dengan x adalah konsentrasi endapan garam

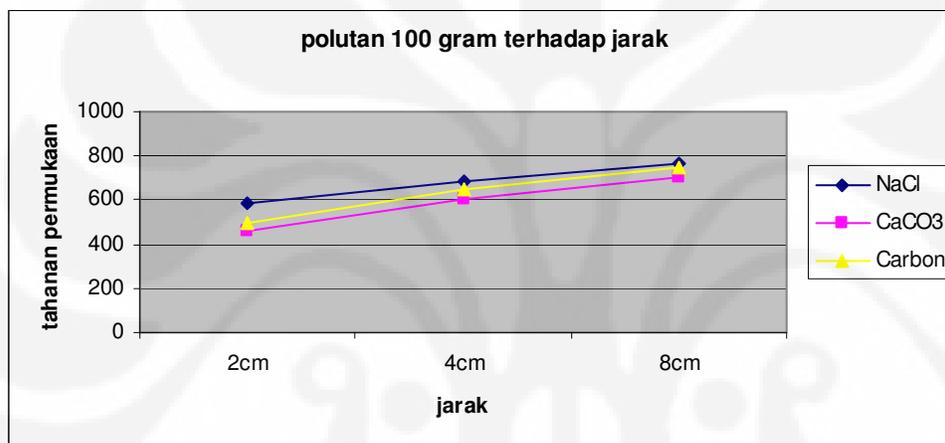
Y adalah tahanan permukaan.

$$R^2 = 0.9997$$

Hubungan secara logaritma dipilih, karena dapat dilihat dari grafik yang diperoleh dari data percobaan, penambahan nilai KEG lebih lanjut akan mengurangi sedikit tahanan permukaan, meskipun masih terdapat error yang cukup besar.

## 5.4 ANALISIS BOBOT POLUTAN

### 5.4.1 Bobot Polutan 100 Gram



Gambar 5.13 Grafik polutan 100 gram terhadap jarak

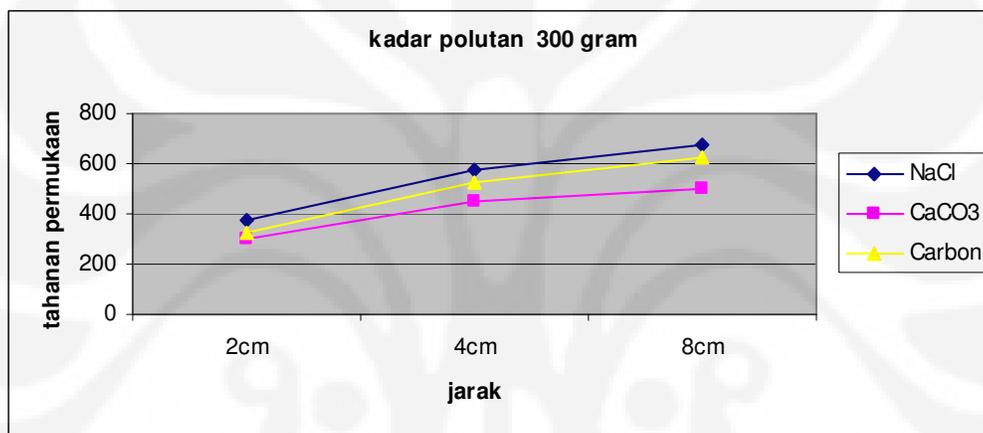
Dari data pengujian yang telah diperoleh, maka dibandingkan jenis polutan dengan kadar yang sama yaitu 100 gram, dan dilihat sejauh mana pengaruh jarak tersebut terhadap tahanan permukaan.

Dapat dilihat dari grafik diatas, bahwa tahanan permukaan akan bertambah dengan bertambahnya jarak. Dari grafik diatas juga terlihat bahwa dengan polutan  $\text{CaCO}_3$  menyebabkan isolator memiliki tahanan permukaan paling kecil dan dengan polutan NaCl menyebabkan isolator memiliki tahanan permukaan paling besar.

$\text{CaCO}_3$  memiliki tahanan permukaan terendah, meskipun kadar konsentrasi endapan garam yang dimiliki oleh  $\text{CaCO}_3$  dibawah NaCl dan Carbon yaitu sebesar  $0.35 \text{ mg/cm}^2$  untuk  $\text{CaCO}_3$  dan  $0.44 \text{ mg/cm}^2$  dan  $0.416 \text{ mg/cm}^2$  untuk NaCl dan Carbon. Hal lain yang dapat mempengaruhi konduktifitas larutan selain konsentrasi endapan garam adalah daya rekat polutan tersebut terhadap konduktor dan daya polutan tersebut

menyerap air.  $\text{CaCO}_3$  memiliki daya higroskopis yang cukup tinggi, sehingga  $\text{CaCO}_3$  dapat menyerap air lebih banyak dan bersifat konduktif sehingga tahanan permukaan polutan oleh  $\text{CaCO}_3$  lebih kecil. Pada pengukuran tahanan dengan jarak yang lebih jauh yaitu 16 cm menunjukkan terjadinya penurunan penahanan. Hal ini karena adanya penumpukan polutan pada pinggiran isolator.

#### 5.4.2 Bobot Polutan 300 Gram



Gambar 5.14 Grafik polutan 300 gram terhadap jarak

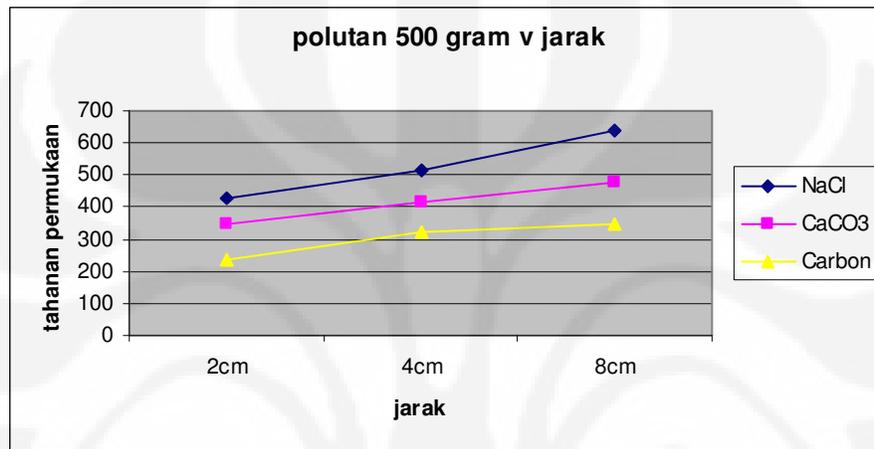
Dari data pengujian yang telah diperoleh, maka akan dibandingkan jenis polutan dengan kadar yang sama yaitu 300 gram, dan dilihat sejauh mana pengaruh jarak terhadap tahanan permukaan.

Dapat dilihat dari grafik diatas, bahwa tahanan permukaan akan bertambah dengan bertambahnya jarak. Dari grafik diatas juga terlihat bahwa dengan polutan  $\text{CaCO}_3$  menyebabkan isolator memiliki tahanan permukaan paling kecil dan dengan polutan NaCl menyebabkan isolator memiliki tahanan permukaan paling besar.

Meskipun kadar konsentrasi endapan garam yang dimiliki oleh  $\text{CaCO}_3$  dibawah NaCl dan Carbon yaitu sebesar  $0.502 \text{ mg/cm}^2$  untuk  $\text{CaCO}_3$  dan  $0.7 \text{ mg/cm}^2$  dan  $0.632 \text{ mg/cm}^2$  untuk NaCl dan Carbon. Hal lain yang dapat mempengaruhi konduktifitas larutan selain konsentrasi endapan garam ialah daya rekat polutan terhadap isolator dan daya

polutan tersebut menyerap air.  $\text{CaCO}_3$  memiliki daya higroskopis yang cukup tinggi, sehingga  $\text{CaCO}_3$  dapat menyerap air lebih banyak dan bersifat konduktif sehingga tahanan permukaan oleh polutan  $\text{CaCO}_3$  lebih kecil.

#### 5.4.3 Bobot Polutan 500 gram



Gambar 5.14 Grafik Polutan 500 gram terhadap jarak

Dari data pengujian yang telah diperoleh, maka akan dibandingkan jenis polutan dengan kadar yang sama yaitu dengan 500 gram, dan dilihat sejauh mana pengaruh jarak terhadap tahanan permukaan.

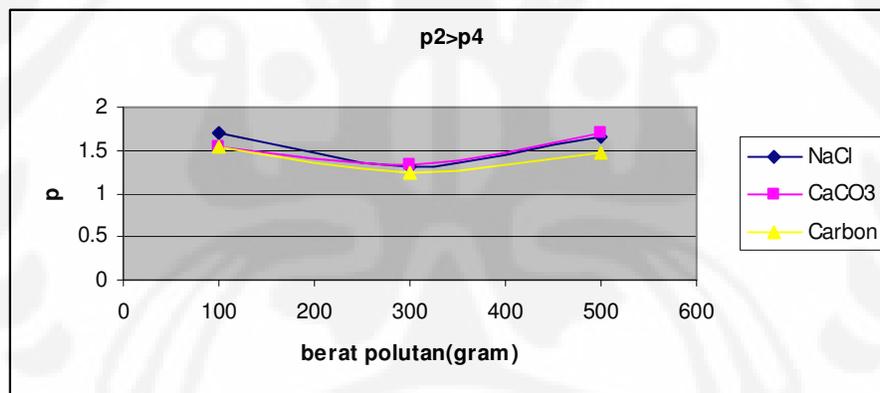
Meskipun kadar konsentrasi endapan garam yang dimiliki oleh Carbon dibawah NaCl yaitu sebesar  $1.07 \text{ mg/cm}^2$  untuk Carbon, dan untuk NaCl dan  $\text{CaCO}_3$  sebesar  $1.07 \text{ mg/cm}^2$  untuk Carbon dan untuk NaCl dan  $\text{CaCO}_3$  sebesar  $2.18 \text{ mg/cm}^2$  dan  $0.986 \text{ mg/cm}^2$ . Hal lain yang dapat mempengaruhi konduktifitas larutan selain konsentrasi endapan garam adalah daya rekat polutan tersebut terhadap isolator dan daya resap polutan terhadap air.  $\text{CaCO}_3$  mengalami kejenuhan, sehingga tidak dapat menyerap air, dan Carbon belum mengalami kejenuhan, sehingga Carbon dapat menyerap air lebih banyak, sehingga bersifat lebih konduktif.

## 5.5. ANALISIS PERUBAHAN HAMBAT JENIS TERHADAP JARAK

Dengan adanya polutan pada permukaan isolator, maka tahanan permukaan akan semakin berkurang. Berkurangnya tahanan permukaan ini akan membuat jarak rambat arus seolah-olah semakin pendek. Perubahan jarak rambat ini seolah-olah menurunkan hambatan jenis.

Hambatan jenis untuk jarak 2 cm lebih besar daripada hambatan jenis untuk 4 cm. Hambatan jenis untuk jarak 2 cm juga lebih besar daripada 8 cm, dan hambatan jenis untuk jarak 4 cm lebih besar daripada 8 cm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antar elektroda, hambatan jenis yang diperoleh juga akan semakin menurun. Hal ini dipengaruhi oleh banyaknya polutan yang terdapat pada sepanjang elektroda tersebut. Semakin jauh jarak antar elektroda, maka polutan akan semakin banyak, dan akan menurunkan hambatan jenis. Perubahan hambatan jenis yang didapat merupakan perbandingan hambatan jenis dengan jarak yang lebih pendek dibandingkan dengan jarak yang lebih jauh.

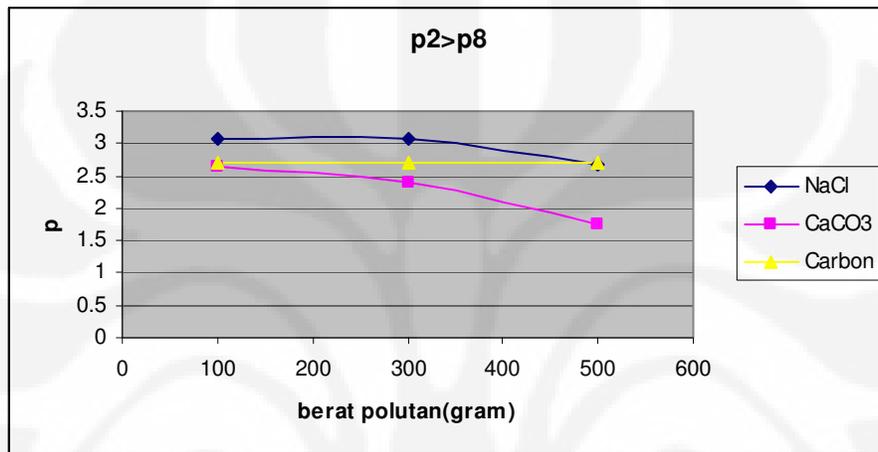
### 5.5.1 Perbandingan hambatan jenis $\rho_2$ dengan $\rho_4$



Gambar 5.15 Grafik perbandingan  $\rho_2$  dengan  $\rho_4$

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar bobot polutan diberikan pada permukaan isolator, maka hambatan jenis akan semakin mengecil. Rata-rata hambatan jenis terkecil diperoleh Carbon, CaCO<sub>3</sub> dan NaCl. Carbon memiliki sifat higroskopis yang baik, sehingga penyerapan air oleh Carbon membuat zat ini mempunyai hambatan jenis terkecil (untuk hambatan jenis 2cm dan 4 cm).

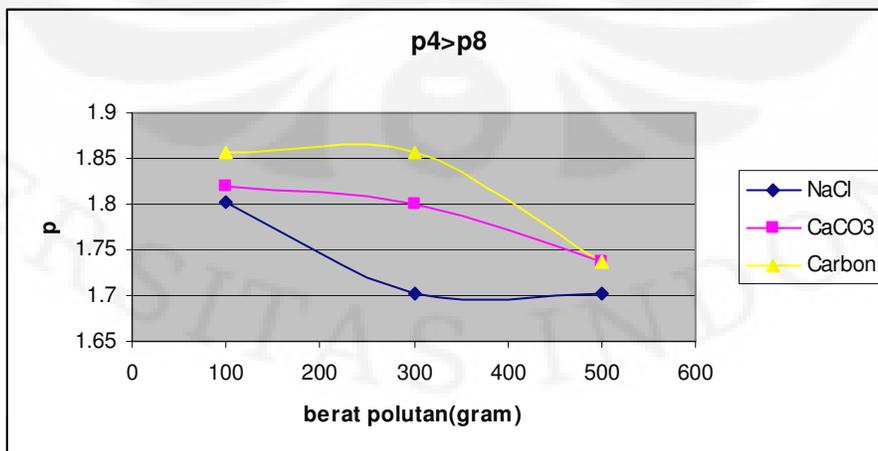
### 5.5.2 Perbandingan hambatan jenis $\rho_2$ dengan $\rho_8$



Gambar 5.16 Grafik perbandingan  $p_2$  dengan  $p_8$

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar bobot polutan diberikan pada permukaan isolator, maka hambatan jenis akan semakin mengecil. Rata-rata hambatan jenis terkecil diperoleh CaCO<sub>3</sub>, Carbon dan NaCl. CaCO<sub>3</sub> memiliki sifat higroskopis, penyerapan air oleh CaCO<sub>3</sub> membuat zat ini mempunyai hambatan jenis terkecil (untuk hambatan jenis 2 cm dan 8 cm).

### 5.5.3 Perbandingan hambatan jenis $\rho_4$ dengan $\rho_8$



Gambar 5.17 Grafik Perbandingan p4 dengan p8

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar bobot polutan diberikan pada permukaan isolator, maka hambatan jenis akan semakin mengecil. Rata-rata hambatan jenis terkecil diperoleh NaCl, CaCO<sub>3</sub> dan Carbon. Pada perbandingan hambatan jenis ini NaCl mempunyai hambatan jenis terkecil, hal ini disebabkan karena NaCl bersifat konduktif (untuk hambatan jenis 4 cm dan 8 cm).

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN**

1. Tahanan permukaan akan berkurang dengan adanya polutan pada permukaan konduktor.
2. Berkurangnya tahanan pada permukaan konduktor selain dipengaruhi oleh konsentrasi endapan garam juga dipengaruhi oleh daya higroskopis dan daya rekat polutan pada permukaan konduktor.
3. Tahanan permukaan terendah diperoleh  $\text{CaCO}_3$  untuk kadar polutan 100 gram dan 300 gram, sedangkan untuk kadar polutan 500 gram kadar permukaan terendah diperoleh Carbon.

## DAFTAR ACUAN

“Pengetahuan Bahan Teknik” Prof Dr,Ir Tata surdia, Prof Dr Shinroku Saito

Surface resistivity and surface resistance measurement using a concentric ring probe technique, William A Maryniac, Toshio Uehara, Maciej A Noras

Critical Flashover Voltage Estimation of insulator Epoxy Resin with tests Analysis.Iwa Garniwa, Rudy Setiabudy

Critical Flashover Voltage Mechanism and prediction of resin Epoxy Insulator on temperature Change.Iwa Garniwa.

“Effect of pollutant type and concentration on harmonic characteristic of leakage current on resin epoxy Insulator”Iwa Garniwa,et al. Electrical Engineering Department, University of Indonesia, Indonesia

Unjuk kerja permukaan Isolator pasangan luar Polimer Epoxy Resin 20 kV pada berbagai kondisi lingkungan. Asep Andang, Suwarno

Pengaruh Polutan terhadap kinerja Bahan Isolasi Epoxy Resin untuk Isolator, Hamzah Berahim

## DAFTAR PUSTAKA

1. Arismunandar, Artono, Prof. Dr., "Teknik Tegangan Tinggi", Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1987.
2. Soemartojo, N, Prof. Dra., "Kalkulus Dasar", LPFE – UI Edisi dua, 1992
3. Internasional Electrotechnical Commission: IEC 507 "Artificial Pollutant Test on High Voltage Insulator to be used on AC system", Second Edition 1991
4. International Electrotechnical Commission: IEC 815 "Guide for the Selection of Insulator in Respect of polluted Condition", 1986.