

# ANALISIS PENGARUH POLUTAN PADA ISOLATOR KACA TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN ISOLATOR RANTAI

Jones Milan<sup>(1)</sup>, Ir. Syahrawardi<sup>(2)</sup>

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara (USU)  
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA  
e-mail: [jhons.milan@gmail.com](mailto:jhons.milan@gmail.com)

## Abstrak

Penggunaan Isolator rantai pada jaringan transmisi ataupun distribusi cenderung lebih murah dibandingkan isolator pin untuk sistem tegangan lebih dari 33kV. Selain itu isolator rantai memiliki tingkat fleksibel yang tinggi. Salah satu isolator yang banyak digunakan adalah isolator berbahan kaca. Salah satu keuntungannya adalah isolator ini relative lebih murah. Namun isolator kaca memiliki kekurangan yakni memiliki sifat mengkondensir atau mengembun. Hal ini menyebabkan polutan gampang menempel pada isolator kaca. Tulisan ini membahas tentang pengujian terhadap isolator rantai berbahan kaca dengan memberikan polutan buatan. Isolator rantai pada transmisi tegangan tinggi yang terkontaminasi akan mengakibatkan distribusi tegangan di masing-masing isolator berbeda. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh polutan terhadap distribusi isolator rantai berbahan kaca. Pengujian dilakukan terhadap bahan-bahan seperti garam-garaman (NaCl), debu (CaCO<sub>3</sub>), dan Carbon sebagai polutan asap kendaraan bermotor. Berdasarkan pengujian diperoleh hasil antara lain, pengaruh polutan yang konduktif terhadap isolator kaca mengakibatkan penurunan tahanan permukaan isolator. Namun dengan nilai konduktivitas yang sama, karakteristik polutan mempengaruhi terhadap lapisan pengotor yang terbentuk. Semakin tinggi daya rekat dan daya higroskopis dari polutan tersebut, maka semakin merata polutan tersebar di permukaan isolator. Persentase penurunan distribusi tegangan terbesar diketiga bobot polusi yakni ringan, sedang, dan berat diakibatkan oleh polutan CaCO<sub>3</sub>.

**Kata Kunci:** distribusi tegangan, polutan, isolator kaca

## 1. Pendahuluan

Sistem transmisi hantaran udara adalah salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang sangat perlu dijaga keandalannya dalam mencapai kontinuitas pelayanan. Salah satu komponen utama dari sistem transmisi adalah isolator. Isolator ini berfungsi untuk mengisolir konduktor dengan menara atau tiang pendukung.

Isolator yang baik mempunyai bahan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik. Walaupun ada yang sanggup menghantarkan arus listrik namun relative kecil sehingga bisa diabaikan. Salah satu bahan isolator yang banyak digunakan adalah kaca. Bahan ini harganya lebih murah sehingga banyak dijumpai penggunaannya baik di transmisi hantaran udara maupun di distribusi hantaran udara. Namun sifatnya yang mengkondensir (mengembun) kelembapan udara mengakibatkan debu lebih mudah melekat dipermukaan isolator.

Rentengan isolator disebut dengan istilah isolator rantai. Isolator rantai (*string insulator*) digunakan pada sistem tenaga listrik sebagai penopang mekanik dan isolasi listrik antara

konduktor fasa dengan menara. Isolator rantai ini dirangkai dari beberapa isolator yang menyebabkan distribusi tegangan masing-masing isolator berbeda. Jumlah unit isolator yang dirangkai ditentukan oleh beberapa faktor seperti tegangan operasi, kekuatan mekanik, ketinggian di atas permukaan laut, kekuatan petir, dan kontaminasi lingkungan sekitar.

Polutan yang menempel pada isolator berasal dari kontaminasi lingkungan sekitar. Biasanya terbentuk dari keadaan alam dan dari sisa aktivitas makhluk hidup. Keadaan alam seperti daerah pantai, pegunungan dan gurun pasir berpotensi mengakibatkan isolator terpolusi. Sedangkan sisa dari aktivitas makhluk hidup seperti sisa pembakaran, polusi kendaraan bermotor dan lainnya juga berpotensi mengakibatkan terbentuknya lapisan pengotor pada isolator. Hal ini mengurangi tahanan permukaan isolator berkurang, sehingga kekuatan dielektrik isolator berkurang. Jika tegangan yang dipikul isolator lebih besar dibanding kekuatan dielektrik isolator maka akan terjadi peristiwa *flashover* yang mampu mengakibatkan isolator

retak dan pecah. Jika hal ini terjadi maka tegangan yang dipikul isolator rantai akan naik dan satu per satu isolator lainnya retak atau bahkan pecah. Oleh karena itu, perlu adanya perlu adanya perhitungan khusus terhadap pemilihan isolator yang dipengaruhi oleh polutan.

**2. Tinjauan Pustaka**

**2.1. Isolator**

Pada transmisi hantaran udara, suatu konduktor dengan konduktor lain diisolir dengan udara, sedangkan konduktor dengan menara atau tiang pendukung konduktor diisolir dengan bahan isolasi padat yang disebut isolator. Hal ini bertujuan agar tidak terjadi aliran arus yang tidak semestinya ada antara satu bagian dengan lainnya, sehingga bagian yang tidak bertegangan ini harus dipisahkan dari bagian-bagian yang bertegangan.

Isolator jaringan tenaga listrik merupakan alat tempat menopang kawat penghantar jaringan pada tiang-tiang listrik yang digunakan untuk memisahkan secara elektris dua buah kawat atau lebih agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) atau lewat-denyar (*flashover*) sehingga mengakibatkan terjadinya kerusakan pada sistem jaringan tenaga listrik.

Isolator padat yang banyak digunakan biasanya berbahan gelas/kaca. isolator gelas terdiri dari bahan campuran antara pasir silikat, dolomit, dan fosfat. Isolator gelas memiliki sifat mengkonsidrir (mengembun) kelembapan udara, sehingga debu lebih mudah melekat dipermukaan isolator. Kekuatan mekanik dan dielektrik dari isolator gelas bergantung pada kandungan alkali pada isolator tersebut. Kekuatan dielektrik gelas alkali tinggi adalah 17,9 kVrms/mm sedangkan kemampuan dielektrik gelas alkali rendah adalah 48kVrms/mm.[1]

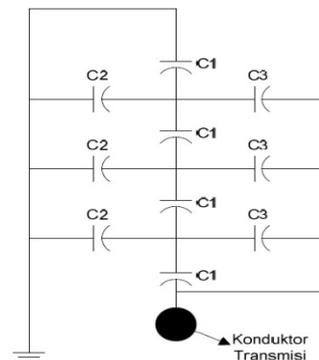
**2.2. Isolator Terpolusi**

Isolator akan dilapisi oleh polutan baik berada pada ruang terbuka maupun tertutup. Polutan ini dapat mempengaruhi konduktivitas permukaan dari isolator tersebut sehingga dapat menyebabkan kegagalan isolasi. Sifat dari polutan yakni konduktif dan inert. Polutan bersifat konduktif adalah 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. Sedangkan polutan bersifat inert

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 SiO<sub>2</sub>, tanah liat (kaolin) dapat membentuk suatu ikatan mekanis untuk mengikat komponen-komponen konduktif.

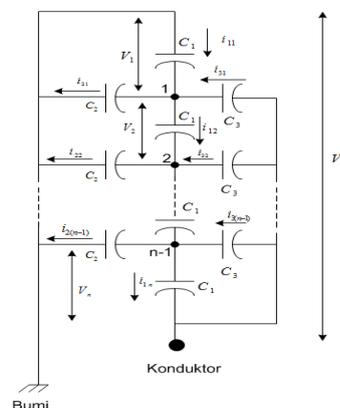
**2.3. Distribusi Tegangan**

Isolator rantai terdiri dari beberapa isolator piring yang disusun menjadi satu rentengan. Dimana setiap unit isolator membentuk suatu susunan “konduktor-dielektrik-konduktor”. Oleh karena itu suatu isolator dapat juga dianggap sebagai suatu kapasitor. Dan jika permukaan isolator kotor, maka akan muncul suatu resistansi yang parallel dengan kapasitansi isolator.[1][2] Sehingga jika isolator dianggap bersih maka akan didapatkan suatu rangkaian kapasitansi seperti pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1 Susunan Isolator piring membentuk kapasitansi

Metode untuk menghitung distribusi tegangan pada isolator rantai, yaitu dengan metode Hukum Kirchoff. Rangkaian ekuivalen isolator rantai untuk menghitung distribusi tegangan diperlihatkan pada Gambar 2



Gambar 2 Rangkaian distribusi tegangan menggunakan metode kirchoff

Hukum kirchoff pada titik (1) adalah sebagai berikut:

$$i_{11} + i_{31} = i_{21} + i_{12} \quad (2.1)$$

Jika tegangan pada suatu kapasitor C adalah V dan frekuensi tegangan itu adalah f, maka arus pada suatu kapasitor adalah  $i_c = 2\pi fCV$ . Dengan demikian, persamaan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$2\pi fC_1 V_1 + j2\pi fC_3 (V_{ln} - V_1) = j2\pi fC_2 V_1 + j2\pi fC_1 V_2 \quad (2.2)$$

$$C_1 V_1 + C_3 (V_{ln} - V_1) = C_2 V_1 \quad (2.3)$$

Maka, Hukum Kirchoff pada titik (n-1) adalah sebagai berikut:

$$i_{1(n-1)} + i_{3(n-1)} = i_{2(n-1)} + i_{1n} \quad (2.4)$$

Atau

$$C_1 V_{(n-1)} + C_3 (V_{ln} - V_1 - V_2 + V_{(n-1)}) = C_2 (V_1 + V_2 + \dots + V_{(n-1)}) + C_1 V_n \quad (2.5)$$

Jika jumlah isolator piring adalah n, maka hukum Kirchoff akan memberikan (n-1) persamaan. Di samping (n-1) persamaan itu masih ada satu persamaan tegangan yang diperoleh, yaitu:

$$V_{ln} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (2.6)$$

Sehingga ada n persamaan dengan n tegangan (V) yang tidak diketahui. Dengan demikian,  $V_1, V_2, V_3, \dots, V_{(n-1)}$  dan  $V_n$  dapat dihitung.

### 3. Metode Penelitian

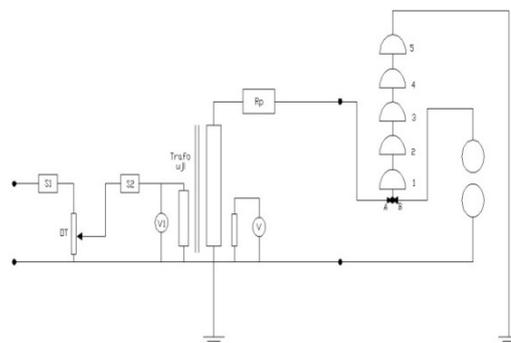
Eksperimen dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara Medan pada bulan Juli - Agustus 2015. Dalam penelitian, data yang diperoleh dengan menggunakan pengujian. Variasi percobaan ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana perubahan distribusi tegangan pada isolator rantai pada keadaan:

1. Kondisi sebelum diberi polutan
2. Kondisi saat diberi polutan NaCl, CaCO<sub>3</sub>, dan C dengan klasifikasi tingkat pengotoran ringan, sedang, dan berat.

Variasi pengujian meliputi variasi antara jumlah isolator piring kaca yang terpolusi yakni dari 5 isolator yang terpolusi hingga tinggal 1 isolator saja yang terpolusi.

Adapun prosedur percobaan yang dilakukan:

1. Isolator yang telah dicuci dan dikeringkan kemudian dilakukan pengujian distribusi tegangan dalam kondisi normal
2. Dibuat rangkaian pengujian seperti pada Gambar 3



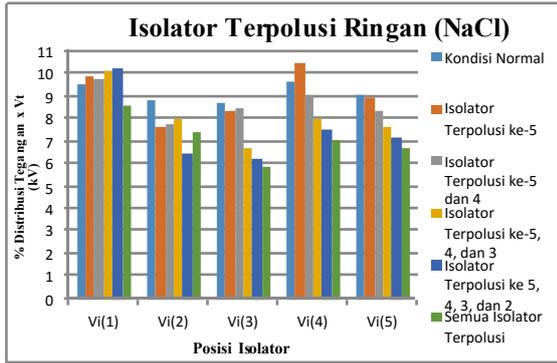
Gambar 3 Rangkaian Percobaan

3. Mengukur temperature dan tahanan pada ruang uji.
4. Jarak sela bola diatur 0.2 cm
5. Lakukan pengujian sehingga diperoleh data tegangan disaat terminal a pada pin 1 dan terminal b pada pin1. Selanjutnya dilakukan dengan memindahkan terminal b ke pin 2 dan seterusnya kemudian dicatat tegangannya.
6. Untuk Percobaan Isolator terpolusi, Isolator yang telah terpolusi ditempatkan pada posisi isolator ke 5 kemudian lakukan pengujian seperti langkah 2 s/d 5.
7. Posisi isolator terpolusi ditambah sehingga isolator terpolusi pada posisi 5 dan 4. Hal ini dilakukan hingga isolator terpolusi seluruhnya.
8. Salah satu isolator terpolusi dicuci dengan larutan pencuci yang kemudian dihitung konduktivitasnya. Hitung nilai ESDD polutan
9. Bila nilai ESDD diluar bobot polusi yang diinginkan maka eksperimen diulang kembali.
10. Percobaan Selesai

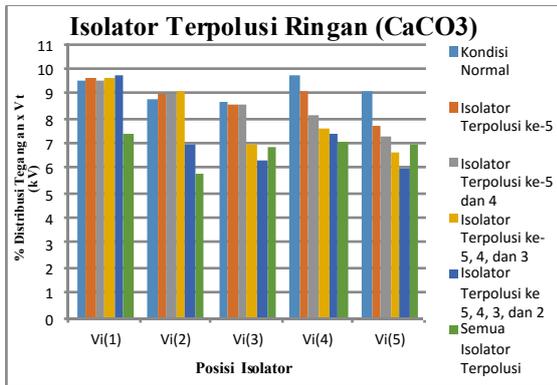
### 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisis distribusi tegangan isolator terpolusi ringan.

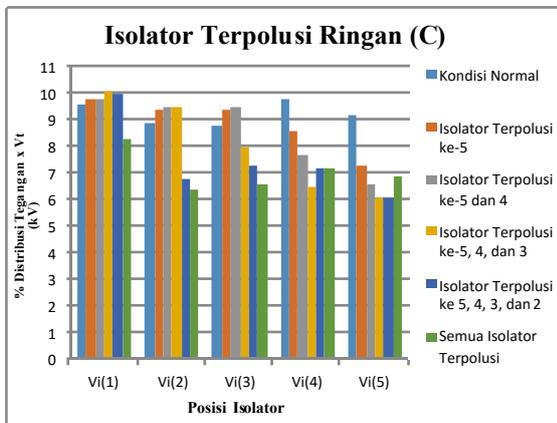
Dari pengujian isolator terpolusi ringan yang dilakukan maka diperoleh perbandingan nilai tegangan isolator yang terpolusi ringan oleh NaCl, CaCO<sub>3</sub>, dan C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.



Gambar 4 Isolator terpolusi ringan NaCl vs isolator bersih



Gambar 5 Isolator terpolusi ringan CaCO<sub>3</sub> vs isolator bersih



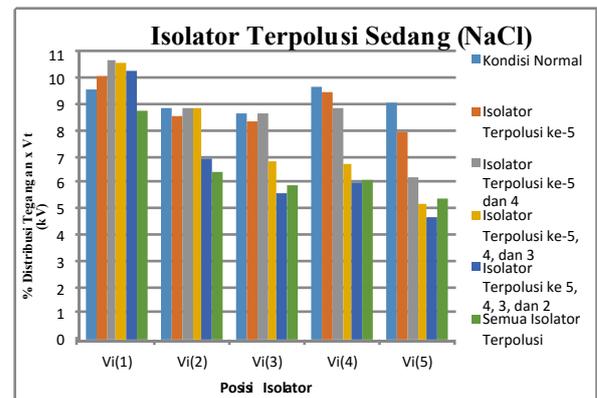
Gambar 6 Isolator terpolusi ringan C vs isolator bersih

Dari Gambar 4 diperoleh persentase penurunan tegangan terbesar terjadi pada isolator urutan ke-3 dengan penurunan tegangan sebesar 32,45% pada kondisi semua isolator terpolusi. Pada Gambar 5 diperoleh persentase penurunan tegangan terbesar pada isolator urutan ke-5 sebesar 34,21% pada kondisi isolator terpolusi ke 5,4,3,2 dan pada Gambar 6 diperoleh persentase penurunan tegangan terbesar terjadi pada isolator urutan ke-5 sebesar 33,4 % pada

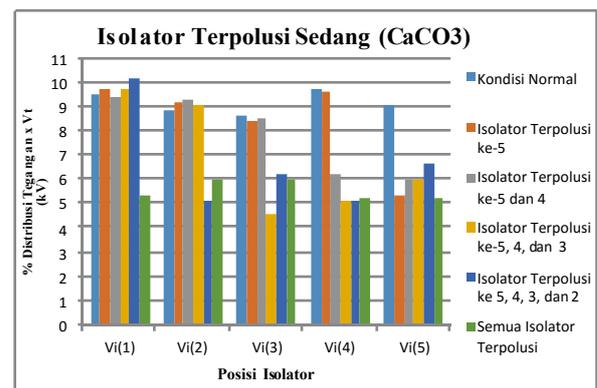
kondisi isolator yang terpolusi ke- 5,4,3,2. Sehingga dapat diperoleh penurunan tegangan terbesar untuk kategori isolator terpolusi ringan terjadi pada isolator yang terpolusi CaCO<sub>3</sub>. Hal ini disebabkan karena CaCO<sub>3</sub> yang menempel pada isolator hampir merata di permukaan isolator karena sifat higrokopis CaCO<sub>3</sub> sangat tinggi namun masih berupa lapisan-lapisan tipis. Sedangkan polutan NaCl dan C menempel tidak merata di permukaan isolator hanya di pinggiran isolator saja.

4.2. Analisis distribusi tegangan isolator terpolusi sedang.

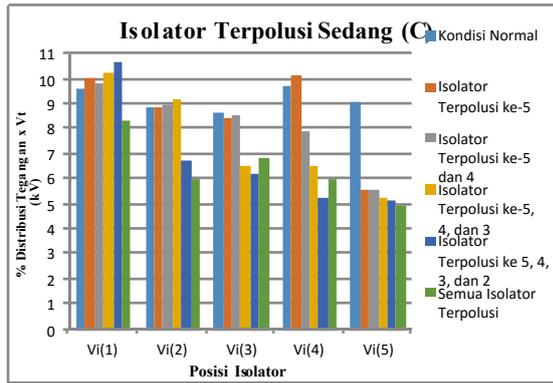
Dari pengujian isolator terpolusi sedang yang dilakukan maka diperoleh perbandingan nilai tegangan isolator yang terpolusi ringan oleh NaCl, CaCO<sub>3</sub>, dan C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.



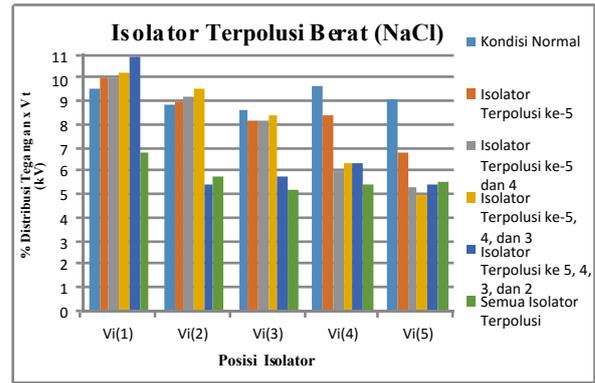
Gambar 7 Isolator terpolusi sedang NaCl vs isolator bersih



Gambar 8 Isolator terpolusi sedang CaCO<sub>3</sub> vs isolator bersih



Gambar 9 Isolator terpolusi sedang C vs isolator bersih

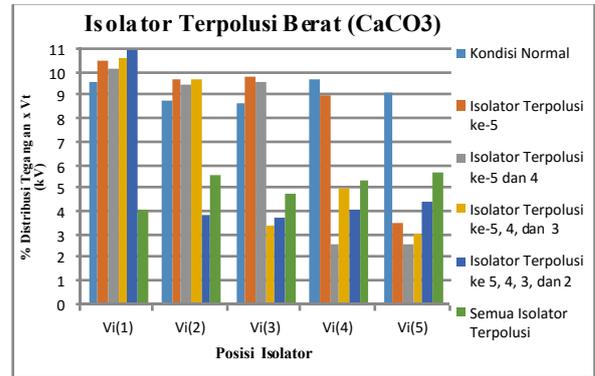


Gambar 10 Isolator terpolusi berat NaCl vs isolator bersih

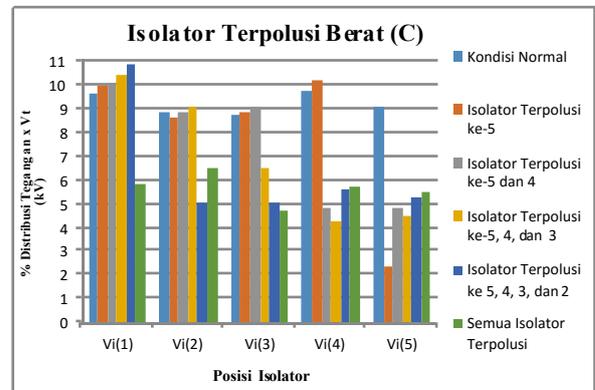
Dari Gambar 7 diperoleh persentase penurunan tegangan terbesar terjadi pada isolator urutan ke-5 dengan penurunan tegangan sebesar 42,13% pada kondisi isolator terpolusi ke- 5,4,3,2. Pada Gambar 8 diperoleh persentase penurunan tegangan terbesar terjadi pada isolator urutan ke-4 sebesar 46,85% pada kondisi isolator terpolusi ke 5,4,3 dan pada Gambar 9 diperoleh persentase penurunan tegangan terbesar terjadi pada isolator urutan ke-4 sebesar 46,15% pada kondisi isolator yang terpolusi ke- 5,4,3,2. Sehingga dapat disimpulkan penurunan tegangan terbesar untuk kategori isolator terpolusi sedang terjadi pada isolator yang terpolusi  $CaCO_3$ . Hal ini disebabkan karena  $CaCO_3$  yang menempel pada isolator hampir merata di permukaan isolator karena sifat higroskopis  $CaCO_3$  sangat tinggi dan juga lapisan yang terbentuk lebih tebal dibandingkan kondisi isolator terpolusi  $CaCO_3$  ringan.. Sedangkan polutan NaCl menempel tidak merata di permukaan isolator hanya di pinggiran isolator saja. Sedangkan polutan C tersebar di bagian permukaan isolator namun belum tersebar merata dibagian atas isolator, namun lapisan yang terbentuk semakin tebal.

4.3 Analisis distribusi tegangan isolator terpolusi berat.

Dari pengujian isolator terpolusi berat yang dilakukan maka diperoleh perbandingan nilai tegangan isolator yang terpolusi ringan oleh NaCl,  $CaCO_3$ , dan C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12.



Gambar 11 Isolator terpolusi berat  $CaCO_3$  vs isolator bersih



Gambar 12 Isolator terpolusi sedang NaCl vs isolator bersih

Dari Gambar 10 diperoleh persentase penurunan tegangan terbesar terjadi pada isolator urutan ke-5 dengan penurunan tegangan sebesar 44,51% pada kondisi isolator terpolusi ke- 5,4,3. Pada Gambar 8 diperoleh persentase penurunan tegangan terbesar terjadi pada isolator urutan ke-4 sebesar 74,76% pada kondisi isolator terpolusi ke-5 dan 4 sedangkan pada Gambar 9 diperoleh persentase penurunan tegangan terbesar terjadi pada isolator urutan ke-5 sebesar 74,01% pada kondisi isolator yang terpolusi ke-5. Sehingga dapat disimpulkan

penurunan tegangan terbesar untuk kategori isolator terpolusi berat terjadi pada isolator yang terpolusi  $\text{CaCO}_3$ . Hal ini disebabkan karena  $\text{CaCO}_3$  yang menempel pada isolator merata di permukaan isolator karena daya rekat dan sifat higroskopis  $\text{CaCO}_3$  sangat tinggi serta lapisan yang terbentuk sangat tebal. Sedangkan polutan  $\text{NaCl}$  menempel hampir merata di permukaan isolator namun masih berupa lapisan-lapisan tipis di permukaan isolator. Sedangkan polutan C tersebar hampir merata di bagian permukaan isolator namun belum tersebar hingga dibagian atas isolator, namun lapisan yang terbentuk sangat tebal.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil analisa data yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tahanan permukaan akan berkurang dengan adanya polutan pada permukaan isolator sehingga menyebabkan penurunan persentase distribusi tegangan.
2. Penurunan tegangan yang terjadi pada isolator selain disebabkan oleh sifat konduktivitas polutan yang menempel juga dipengaruhi oleh daya higroskopis dan daya rekat polutan pada permukaan konduktor.
3. Persentase penurunan distribusi tegangan terbesar untuk masing-masing bobot polusi yaitu ringan, sedang, dan berat adalah  $\text{CaCO}_3$  sedangkan penurunan distribusi tegangan terendah adalah  $\text{NaCl}$ .

## Daftar Pustaka

- [1] Tobing, B.L., Peralatan Tegangan Tinggi, Jakarta: Erlangga, 2012.
- [2] Tobing, B.L., Dasar-Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Edisi Kedua, Jakarta: Erlangga, 2012.
- [3] Kuffel, E., Zaengl, W dan Kuffel, J., High Voltage Engineering Fundamentals, second edition, Butterworth-Heinemann, 2000.
- [4] Holtzhausen, J.P., High Voltage Insulators. IDC Technology, 2004
- [5] "Sediver Toughened Glass Suspension Insulator Catalog," Canada, Sediver.
- [6] Naidu, M. dan Kamaraju, V., High Voltage Engineering, second edition, The McGraw-Hill Companies, Inc, 1996.
- [7] Steven, Rudi Simon, "Pengaruh Polutan Terhadap Tahanan Permukaan Isolator Epoxy Resin", Indonesia: Journal The Institution of Electrical Engineering Departement, University Of Indonesia