

ANALISA MEDAN LISTRIK PADA ISOLATOR SUSPENSION DENGAN BERBAGAI TINGKAT KONTAMINASI BUATAN

Engla Harda Arya

Program Studi Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru
Jln. Dirgantara No 4 Arengka Raya Pekanbaru

Corresponding authors : eng_harda@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini menghitung besarnya medan listrik pada isolator keramik jenis suspension pada kondisi bersih dan kondisi terkontaminasi. Perhitungan ini dilakukan karena isolator merupakan bagian penting dalam transmisi dan distribusi daya listrik. Isolator diperlukan untuk mengisolasi bagian bertegangan dengan bagian netral atau tanah serta sebagai pendukung mekanis. Medan listrik sangat menentukan terjadinya korona yang dapat mengakibatkan kegagalan kerja isolator. Untuk mendapatkan kontaminan disimulasikan dengan metode pembentukan *mesh* (*Finite Element Method*) aplikasi program flexPDE. Yaitu dengan memodelkan geometri permukaan isolator. Secara garis besar jenis pengotor dibagi dua yaitu *soluble* (dapat larut) dan *nonsoluble* (tidak dapat larut). Untuk mendapatkan nilai distribusi medan listrik dilakukan simulasi tingkatan kontaminan larutan garam dan kaolin berkonsentrasi 6 mS, 12 mS dan 24 mS dengan aplikasi FlexPDE. Dari analisis yang dilakukan pada isolator suspension, didapatkan kesimpulan dengan kontaminasi 6 mS medan listriknya sebesar 3.9 kV/cm, kontaminasi 12 mS medan listriknya sebesar 4.5 kV/cm, kontaminasi 24 mS medan listriknya sebesar 5.8 kV/cm.

Kata kunci : medan listrik, finite element method

PENDAHULUAN

Isolator merupakan bagian penting dalam transmisi dan distribusi daya listrik. Isolator diperlukan untuk mengisolasi bagian bertegangan dengan bagian netral atau tanah serta sebagai pendukung mekanis. Dalam kenyataan sering terjadi kegagalan sistem sebagai akibat dari kegagalan isolator. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses kegagalan isolator adalah pengotoran pada permukaan isolator. Gangguan pada saluran transmisi antara lain *impuls* petir, *switching* dan *lighting*. Fenomena *flashover* yang disebabkan pengotoran isolator menempati persentase terbesar diantara setiap jenis permasalahan polusi di bidang kelistrikan. Dengan bertambahnya tegangan saluran transmisi, maka penelitian terhadap fenomena pengotoran isolator pun semakin meningkat. Kinerja pengotoran–pengotoran isolator menjadi factor penuntun dalam rangka koordinasi isolasi pada saluran transmisi.

Secara umum tujuan penggunaan isolator pasang luar adalah, sebagai berikut (Berahim, Hamzah. 2000. *Pengaruh Polutan terhadap Kinerja Bahan Isolasi Epoksi Resin untuk Isolator*):

- a. Sebagai penyangga atau penyokong penghantar saluran udara. Untuk

keperluan ini hal yang paling penting yang harus diperhatikan dalam isolator adalah kekuatan mekanisnya. Isolator yang dipakai harus mampu menahan beban mekanis dari saluran udara, seperti gaya berat dari massa penghantar serta gaya-gaya lainnya yang dapat diakibatkan karena angin.

- b. Untuk memisahkan secara elektrik antara penghantar dan penyangganya. Hal terpenting yang harus diperhatikan adalah kekuatan isolasinya, yaitu harus mampu menahan beban listrik pada keadaan normal (tegangan kerja) sehingga tidak terjadi kebocoran arus maupun dalam keadaan gangguan (akibat petir, hubung singkat, dan sebagainya), sehingga tidak terjadi lewat denyar (*flashover*) maupun *sparkover*.

Pada penggunaan sehari-harinya isolator tentu akan menimbulkan medan listrik. Perubahan nilai medan listrik pada isolator dapat mempengaruhi nilai arus bocor (*leakage current*) dan tegangan tembus (*breakdown*). Untuk menganalisis distribusi medan pada isolator akan

digunakan metode yang bernama FEM (Finite Element Method) (Saiful Azmi. 2011). *Penggunaan FEM (Finite Element Method)*

Isolator

a. Isolator Keramik

Keramik adalah material inorganik yang dibuat dengan menggabungkan berbagai macam mineral alam menjadi satu kesatuan material dalam suatu proses peleburan dengan temperature tinggi. Keramik yang digunakan sebagai isolator adalah keramik dengan permitivitas rendah ($\epsilon_r < 12$).

Sedangkan keramik dengan permitivitas tinggi ($\epsilon_r > 12$) digunakan sebagai kapasitor. Jenis keramik yang biasa dipakai sebagai bahan isolasi dalam system ketenagalistrikan adalah keramik ($K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$), steatit, quartz (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3). Keramik dan steatite tidak bereaksi terhadap polutan seperti asam dan alkali. Alumina memiliki kekuatan mekanik dan sifat isolasi yang baik. Isolator keramik memiliki komposisi 50% tanah liat ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$), 25% silika, dan 25% porselen ($K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$). Resistivitas volumenya berkisar $10^{11}-10^{13}$, kekuatan dielektriknya 2-12 kV/mm, konstanta dielektrik sebesar 6 dan factor rugi-rugi 0,06.

b. Isolator Polimer

Polimer berasal dari bahasa Yunani *polymer* yang berarti “terdiri dari beberapa bagian”. Berdasarkan cara pembuatannya, polimer dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu thermoplastic dan termoset. Salah satu contoh polimer yang dapat digunakan sebagai bahan dasar isolator pasang luar dalam bidang ketenagalistrikan adalah resin epoksi. Resin epoksi termasuk jenis termoset (Gorur, R.S., Cherney, E.A., dan Burnham, J.T. 1999. *Outdoor Insulator*).

Perhitungan medan listrik dan distribusi potensial listrik dengan persamaan Maxwell bentuk differensial (Iskander, Magday F. 1992. *Electromagnetic Field and Wave*):

$$\text{Div } \epsilon_0 E = \nabla \cdot \epsilon_0 E = \rho_s \quad (2.1)$$

$$\text{Div } B = \nabla \cdot B = 0 \quad (2.2)$$

$$\text{Curl } E = \nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.3)$$

$$\text{Curl } \frac{B}{\mu_0} = \nabla \times \frac{B}{\mu_0} = J + \frac{\partial \epsilon_0 E}{\partial t} \quad (2.4)$$

Untuk medan listrik dan medan magnet dibawah Saluran Udara Tegangan Extra Tinggi

(SUTET), pendekatan yang dilakukan adalah pendekatan kuasi statik, sehingga:

$$\nabla \cdot \epsilon_0 E = \rho_s \quad (2.5)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2.6)$$

$$\nabla \times E = 0 \quad (2.7)$$

$$\nabla \times \frac{B}{\mu_0} = J \quad (2.8)$$

Dengan,

$$E = -\nabla u \quad (2.9)$$

$$D = \epsilon E \quad (2.10)$$

Dengan mensubstitusikan (2.9) kedalam persamaan (2.10) sehingga diperoleh:

$$\nabla^2 u = -\frac{\rho_s}{\epsilon} \quad (2.11)$$

Persamaan (2.11) merupakan persamaan Poisson, dan jika $\rho_s = 0$ maka akan diperoleh:

$$\nabla^2 u = 0 \quad (2.12)$$

Persamaan (2.12) merupakan persamaan Laplace. Dengan menggunakan analogi, untuk medan magnetik maka diperoleh:

$$\nabla \times A = \mu J \quad (2.13)$$

$$\nabla \times A = 0 \quad (2.14)$$

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk menganalisis nilai distribusi medan pada studi ini adalah metode element hingga (FEM). Prinsip dasar dari metode elemen hingga adalah proses diskretisasi. Dalam proses diskretisasi, suatu benda atau daerah yang dianalisis dibagi kedalam bentuk mesh (kumpulan elemen) yang saling terhubung, dan kemudian dimodelkan kedalam bentuk satu, dua atau tiga dimensi

Metode yang digunakan adalah dengan cara memodelkan isolator dengan membaginya menjadi berapa nodes dengan menggunakan aplikasi software flexPDE. Isolator yang digunakan adalah isolator keramik milik PLN yang dipasang pada saluran 500 kV. Dengan spesifikasi teknis isolator suspension uji dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Spesifikasi teknis isolator suspension uji

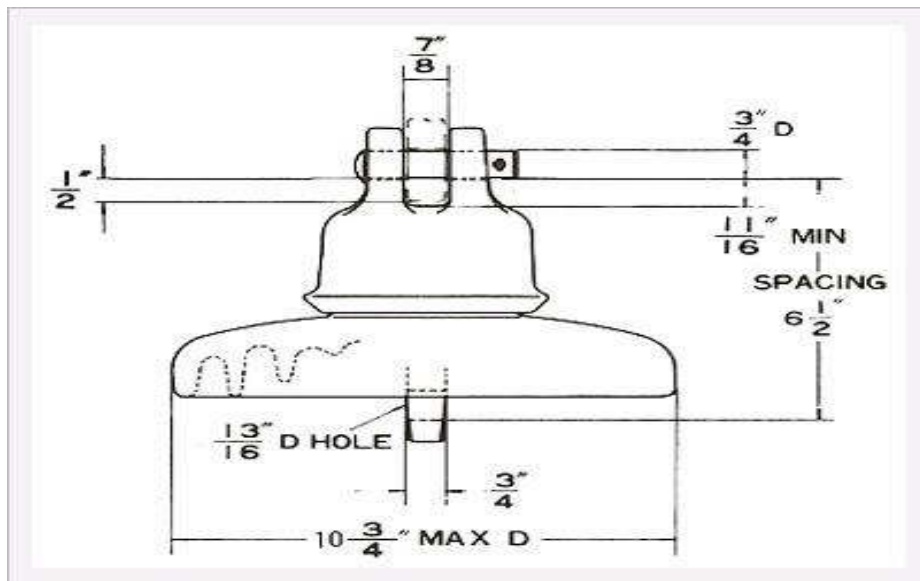
Beban gagal mekanis	160 Kn
Diameter nominal maksimum	280 mm
Spasi nominal	146 mm
Jarak rambat nominal minimum	315 mm
Kopling standar sesuai IEC 120	20
Tegangan ketahanan frekuensi kerja basah	45 kv
Tegangan ketahanan impuls petir kering	110 kv
Tegangan tembus minimum	130 kv

Tegangan yang diaplikasikan adalah tegangan kerja maksimum isolator dari fasa ke netral yaitu:

$$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3} \times \text{jumlah isolator}} \times V_{LL} \text{ isolator}$$

$$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3} \times 15} \times 500 \text{ kV} = 27.45 \text{ kV}$$

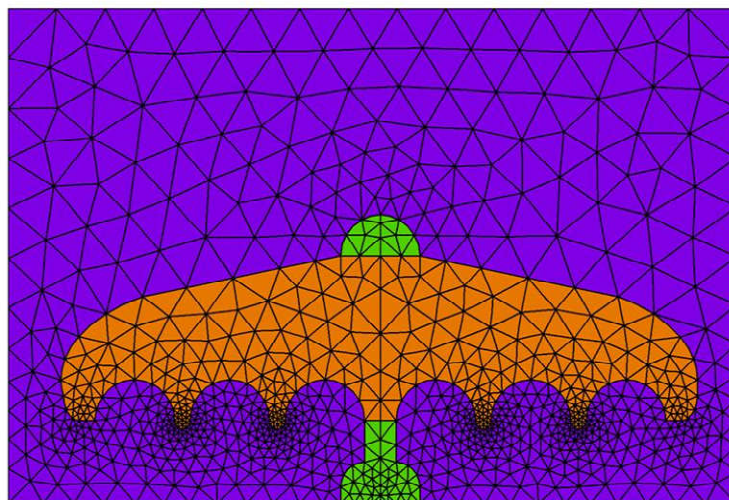
Sudut phasa pengamatan adalah 0°. Pengaruh medan listrik dan medan magnet bumi diabaikan. Pada gambar 1 dapat dilihat dimensi isoator suspension.



Gambar1. Dimensi isolator suspension

Gambar isolator tersebut kemudian dimodelkan dengan FEM pada software flexPDE. Model yang dihasilkan memiliki nodes 3669 dan 1798

element. Hasil pemodelan isolator dapat dilihat pada gambar 2.

Gambar 2. Model isolator suspension keramik pada *Finite Elemen Method*

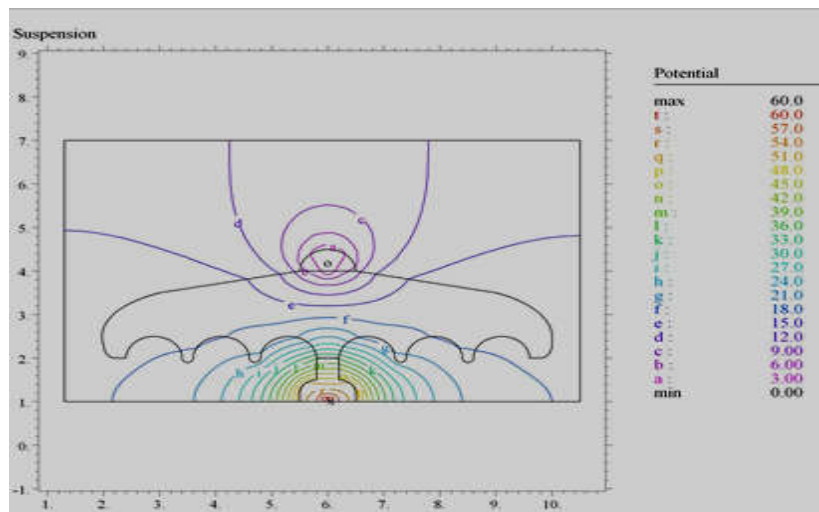
Pada simulasi untuk kondisi permukaan terkontaminasi, ditambahkan dengan menyesuaikan permitivitas relatif konsentrasi kontaminan. Dengan variasi konduktivitas 6 mS, 12mS dan 24 mS.

HASIL SIMULASI

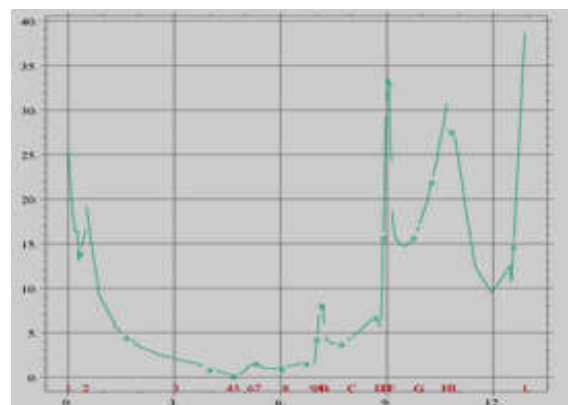
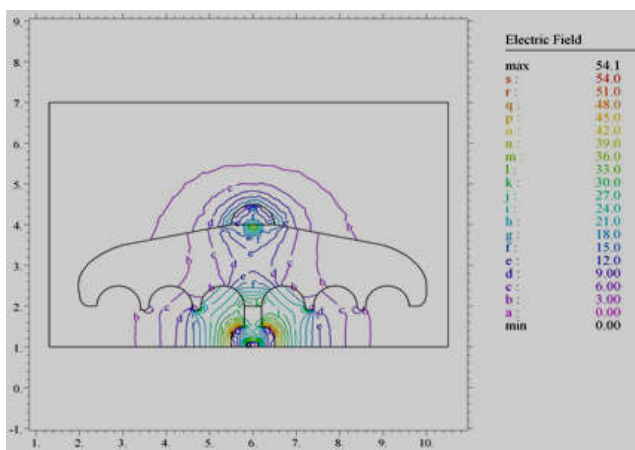
Pada penelitian ini, isolator yang diuji adalah isolator jenis suspension bahan keramik. Dari hasil simulasi tingkat kontaminasi yang berbeda, maka didapat hasil berikut :

Isolator Suspension Bersih Tanpa Kontaminan

Simulasi isolator suspension bersih tanpa kontaminasi buatan. Nilai tahanan permukaan yang terukur pada isolator adalah sebesar $5 \times 10^{11} \Omega$ atau 0.5 M Ω . Isolator dalam keadaan bersih memiliki nilai tahanan permukaan yang konstan yaitu $5 \times 10^{11} \Omega$ atau 0.5 M Ω pada setiap kenaikan tegangan. Hal ini dikarenakan kondisi permukaan yang bersih sehingga tidak ada terjadi perubahan atau pengeringan kontaminasi pada permukaan yang dapat mengakibatkan perubahan nilai tahanan permukaan isolator.



Gambar 3.a. Simulasi tegangan isolator suspension bersih



Gambar 3.b. Simulasi distribusi medan listrik isolator suspension bersih

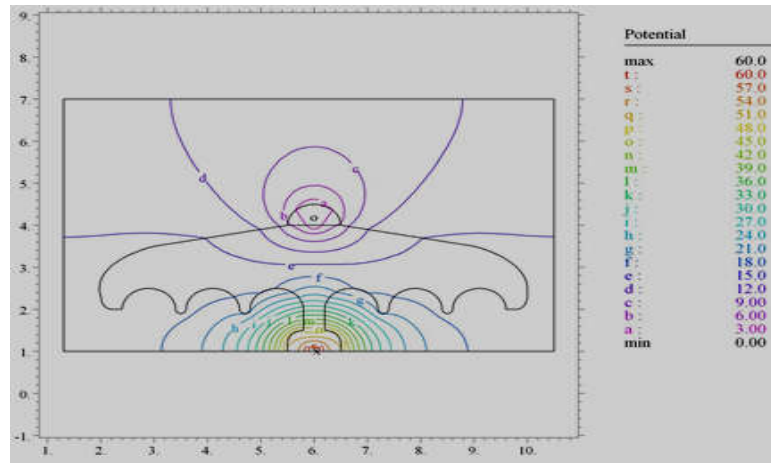
Isolator disimulasikan dalam kondisi bersih. Medan listrik terbesar pada permukaan isolator terdapat didaerah dekat konduktor sebesar 4.3 kV/cm. pada permukaan isolator lainnya medan bervariasi pada nilai 0-3.7 kV/cm.

Dari hasil simulasi gambar 3.b dapat dilihat bahwa medan listrik terbesar terdapat pada isolator yang mengalami distribusi tegangan listrik terbesar.

Isolator Suspension kontaminasi Kaolin dan NaCl 6 mS

Simulasi distribusi medan listrik dan tegangan listrik pada isolator suspension yang

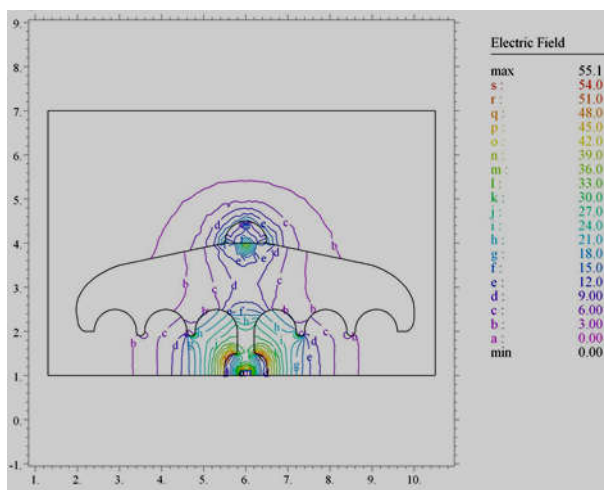
diberikan kontaminasi larutan Kaolin dan NaCl pada permukaannya dengan konduktivitas 6 mS.



Gambar 4.a. Simulasi tegangan isolator suspension kontaminasi 6 mS

Pada isolator suspension dengan kontaminasi 6 mS tegangan maksimal yang bisa diberikan pada isolator adalah sebesar 60 kV. Dari gambar simulasi 4.a dapat dilihat bahwa medan

listrik terbesar berada pada bagian pin (bertegangan isolator dan medan listrik terkecil berada pada bagian permukaan isolator).

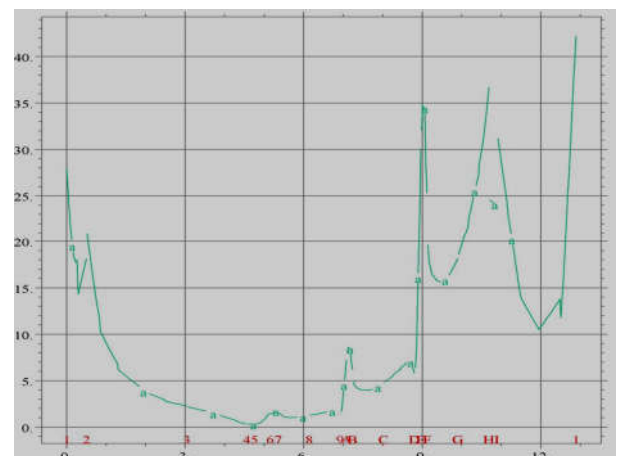


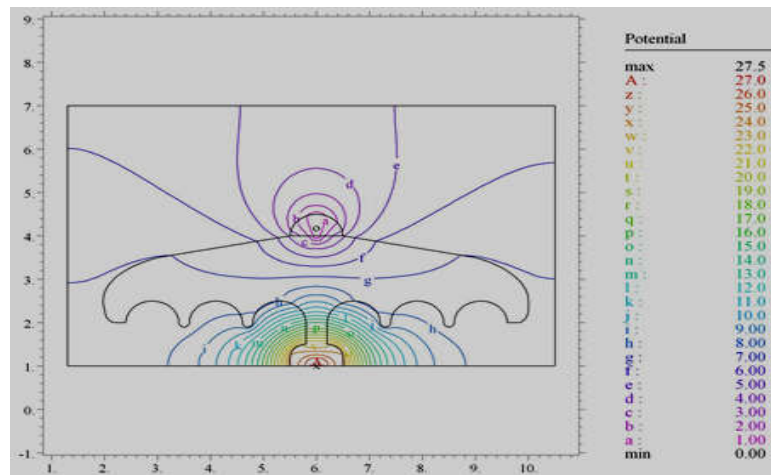
Gambar 4.b. Simulasi distribusi medan listrik isolator suspension kontaminasi 6 mS

Dari gambar 4.b simulasi distribusi medan listrik tegangan maksimal isolator suspension kontaminasi 6 mS dapat dilihat bahwa distribusi medan listrik sebesar 3.9 kV/cm pada bagian I yaitu bagian pin isolator. Sedangkan bagian terendah terjadi pada bagian ujung isolator.

Isolator Suspension kontaminasi Kaolin dan NaCl 12 mS.

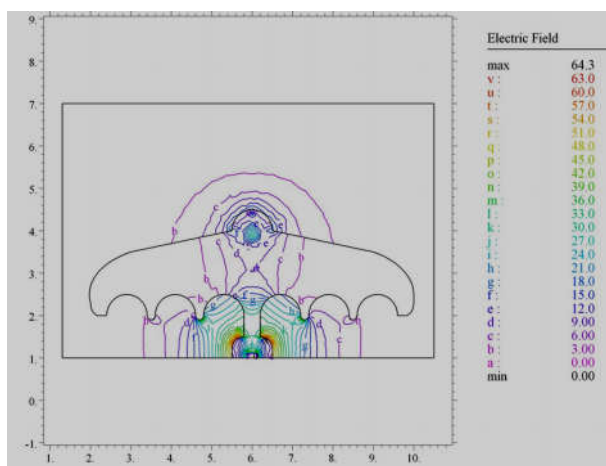
Simulasi distribusi medan listrik dan tegangan listrik pada isolator suspension yang diberikan kontaminasi larutan Kaolin dan NaCl pada permukaannya dengan konduktivitas 12 mS.





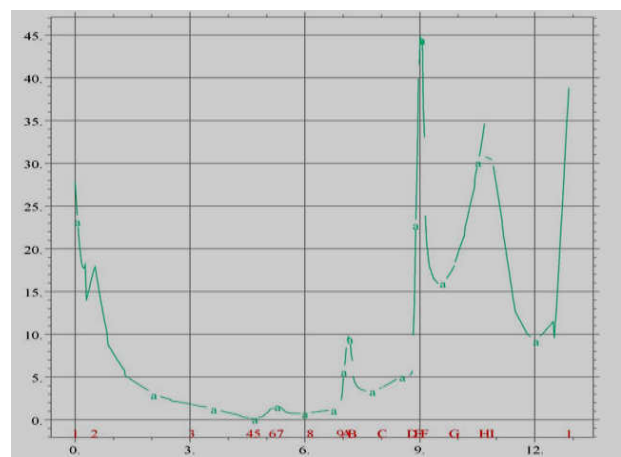
Gambar 5.a. Simulasi tegangan isolator suspension kontaminan 12 mS

Pada isolator suspension dengan kontaminasi 12 mS tegangan maksimal yang bisa diberikan pada isolator adalah sebesar 27.6 kV



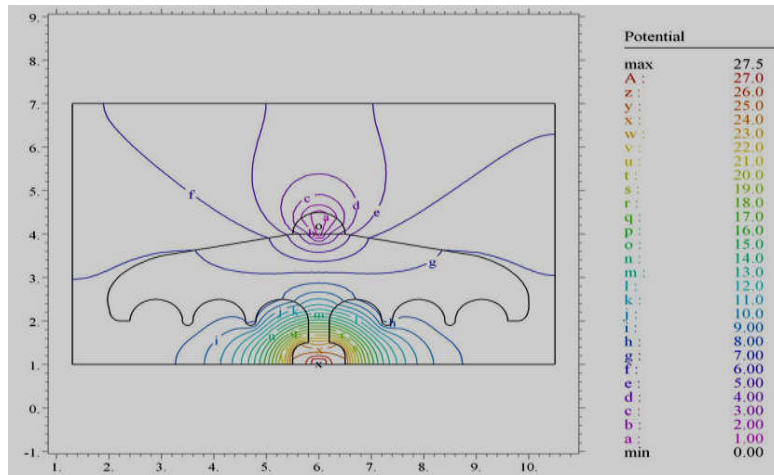
Gambar 5.b. Simulasi distribusi medan listrik isolator suspension kontaminan 12 mS

Dari simulasi gambar 5.b. dapat dilihat distribusi medan listrik maksimal sebesar 4.5 kV/cm. Makin besar tegangan yang diberikan pada isolator maka medan listrik juga mengalami peningkatan.



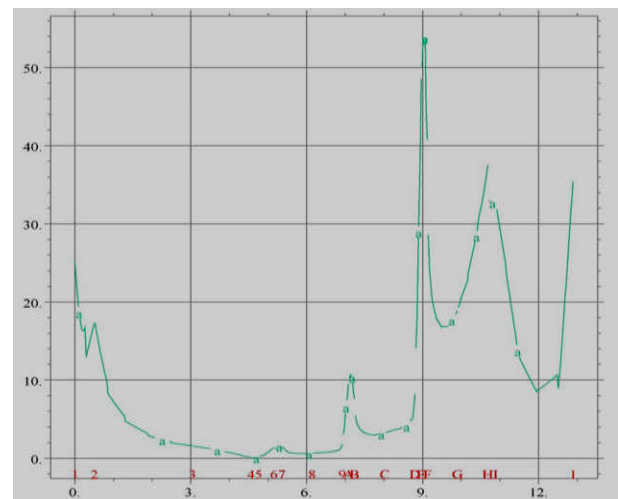
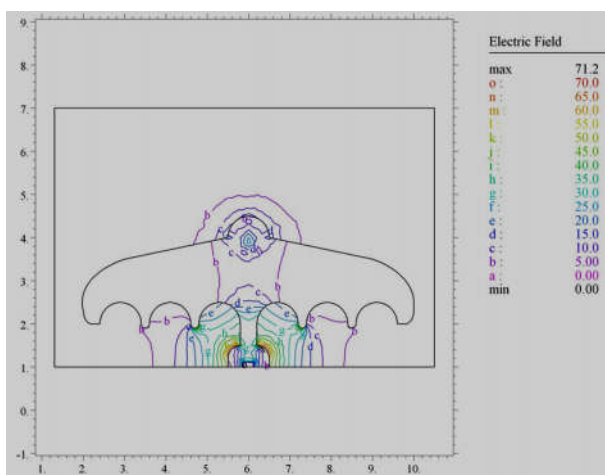
Isolator Suspension kontaminasi Kaolin dan NaCl 24 mS

Pada isolator suspension yang dikontaminasi oleh larutan Kaolin dan NaCl dengan konduktivitas larutan 24 mS.



Gambar 6.a. Simulasi tegangan isolator suspension kontaminan 24 mS

Pada isolator suspension dengan kontaminasi 12 mS tegangan maksimal yang bisa diberikan pada isolator adalah sebesar 27.5 kV.



Gambar 6.b. Simulasi distribusi medan listrik isolator suspension kontaminan 24 mS

Medan listrik terbesar terdapat pada daerah dekat konduktor yaitu sebesar 5.8 kV/cm. Pada permukaan isolator lainnya medan bervariasi pada nilai 0 – 3.8 kV/cm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil simulasi pada isolator jenis suspension nilai medan listrik pada kontaminasi 6 mS adalah 3.9 kV/cm, kontaminasi 12 mS medan listriknya sebesar 4.5 kV/cm, kontaminasi 24 mS medan listriknya sebesar 5.8 kV/cm. Dengan

demikian, semakin besar konsentrasi polutan maka medan listrik pada permukaan isolator semakin besar.

2. Medan listrik terbesar terdapat bagian yang dekat dengan konduktor. Untuk isolator dengan kontaminasi 6 mS medan listrik pada bagian dekat konduktor sebesar 3.9 kV/cm, pada permukaan isolator sebesar 0 – 3.7 kV/cm. Untuk isolator dengan kontaminasi 12 mS medan listrik pada bagian dekat konduktor sebesar 4.5 kV/cm, pada permukaan isolator sebesar 0 – 4 kV/cm. Untuk isolator dengan kontaminasi 24 mS medan listrik pada bagian dekat konduktor sebesar 5.8 kV/cm, pada permukaan isolator sebesar 0 – 5 kV/cm.

3. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa medan terbesar terdapat pada bagian dekat konduktor kemudian semakin kecil pada bagian ujung isolator. Sedangkan medan listrik dipengaruhi oleh besarnya tingkat kontaminasi pada permukaan isolator. Makin besar kontaminasi maka semakin besar medan listrik pada permukaan isolator.

Setelah melakukan simulasi, maka disarankan kepada penguji berikutnya tentang beberapa hal, yaitu :

1. Simulasi FlexPDE sangat baik digunakan untuk simulasi perhitungan medan listrik. Untuk hasil yang lebih baik, model isolator dibuat semirip mungkin.
2. Sebelum melakukan simulasi menggunakan software FlexPDE, harus diketahui terlebih dahulu parameter – parameter mengenai bahan yang diujikan.

DAFTAR ACUAN

- Berahim, Hamzah. 2000. Pengaruh Polutan terhadap Kinerja Bahan Isolasi Epoksi Resin untuk Isolator. Seminar Nasional dan Workshop Tegangan Tinggi III.
- Besztercey, Gyula and Karady, George G. 2000. An Artificial Contamination Method for Composite Insulation, Transactions on Power Delivery. Vol 15 No 2.
- B Marungsri, W. Onchantuek, and A. Oonsivilai. 2009. Electric Field and Potential Distributions along Surface of Silicone Rubber Polymer Insulators Using Finite Element Method, International Journal of Electrical and Electronics Engineering.
- Gorur, R.S., Cherney, E.A., dan Burnham, J.T. 1999. Outdoor Insulator, Ravi S Gorur, Inc.
- Hayt, W.H. 1981. Engineering Electromagnetics. McGraw Hill, International Book Company, Edisi 3, Erlangga, Jakarta.
- Iskander, Magday F. 1992. Electromagnetic Field and Wave. Waveland Press, Illinois.
- Izumi, Kunikazu and Kadotami, Kenzo. 1999. Application of Polymeric Outdoors Insulation in Japan, IEEE Transactions of Dielectric and Electrical Insulation. Vol 6 No 5.
- Jin, Jianming. 2002. The Finite Element Method in Electromagnetics. John Wiley & Sons, Inc.
- Kim, S.H., Cherney, E.A., dan Hackam, R. 1992. Hydrophobic Behaviour of Insulator CoATED with RTV Silicone Rubber. IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 27 No. 3, 610 – 622.
- Kuntman, Aytendan Ersoy, Aysel. 3D Model of Artificial Surface Degradation Test Using Finite Element Model. The Online Journal on Power and Energy Engineering (OJPEE) Vol. 1 – No. 1.
- Liang Chi Shen and Jim Au Kon. 1995. Aplikasi Elektromagnetik. Jilid kedua. Edisi 3, Erlangga Jakarta.
- Que, Wei quodan Sebo. A. Stephen : Electric Field and Potential Distributions along Non-Ceramic Insulators with Water Droplets, Department of Electrical Engineering The Ohio State University.
- Sundararajan, R. dan Gorur, R.S. 1993. Dynamic Arc Modeling of pollution flashover of insulator under DC Voltage. IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol 28 Issue 2, 209 – 218.
- SPLN 10-1A. 1996. Isolator Renteng Jenis Kapdan Pin, Departemen Pertambangan dan Energi - Perusahaan Umum Listrik Negara, 1.
- Vitkovitchi, D. 1966. Field Analysis Experimental and Computational Methods. Van Nostrand Company Ltd.
- Saiful Azmi. 2011. Penggunaan FEM (Finite Element Method) Dalam Memetakan Medan Listrik pada Permukaan Isolator Jenis Pin dan Post 20KV dan Udara Disekitarnya. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Yusrizal Afif. 2014. Analisis Distribusi Medan Listrik Pada Isolator Gantung Bahan Polimer Menggunakan Finite Element Method. Institut Teknologi Sepuluh November.