

# ANALISIS DISTRIBUSI POTENSIAL DAN MEDAN LISTRIK PADA ISOLATOR TEGANGAN TINGGI MENGGUNAKAN FINITE ELEMENT METHOD BERBASIS GiD 9.0.2 DAN MATLAB 7.0.4

Andhika Djati Wisesa<sup>1</sup>, Suharyanto<sup>2</sup>, Eny Sukani Rahayu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

## Abstrak

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis distribusi potensial dan medan listrik suatu isolator tegangan tinggi berdasarkan sebuah program yang dirancang dengan mengkombinasikan perangkat lunak GiD 9.0.2 dan MATLAB 7.0.4 untuk menghitung dan menampilkan distribusi potensial dan medan listrik menggunakan metode Metode Elemen Hingga (Finite Element Method). Berdasarkan hasil simulasi, program mampu menghitung dan menampilkan distribusi potensial, vektor medan listrik dalam panah, vektor medan listrik dalam garis dan konsentrasi medan listrik dari isolator yang disimulasikan. Distribusi potensial yang dihasilkan menunjukkan perubahan sesuai dengan bentuk elektroda maupun koefisien dielektris benda yang dilaluinya. Analisis hasil simulasi menunjukkan bahwa umur isolator dengan bentuk geometri tudung bergelombang (alternate shed) akan lebih lama daripada tudung lurus (straight shed) karena distribusi medan listrik isolator tudung lurus yang kurang baik.

**Kata Kunci:** Distribusi Medan Listrik, Isolator Tegangan Tinggi, Finite Element Method, MATLAB 7.0.2, GiD 9.0.4

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang Permasalahan

Sistem tenaga listrik merupakan bagian kehidupan manusia yang tidak dapat terpisahkan lagi dari manusia pada era modern seperti saat ini. Tenaga atau energi yang dipergunakan kuantitasnya sangat besar sehingga diperlukan perlakuan yang tepat agar tidak terjadi kejadian yang fatal dan berdampak luas. Sebagai salah satu bentuk perlakuan yang benar dalam sistem tenaga listrik adalah dengan mempertahankan aliran tenaga mulai dari pembangkitan energi sampai dengan pengguna energi. Untuk menjaga agar aliran tenaga tersebut mengalir sesuai dengan jalur yang dikehendaki maka dipergunakan suatu alat yang mampu untuk mengisolasi aliran tenaga agar selalu berada dalam jalurnya yang disebut dengan isolator tegangan tinggi. Oleh karena itu, sebagai salah satu bagian vital dari sebuah sistem tenaga listrik, isolator merupakan bagian yang harus tepat penggunaan dan pemilihannya agar menghasilkan nilai realibilitas sekaligus nilai ekonomi yang tinggi.

Salah satu aspek yang mempengaruhi kinerja isolator adalah distribusi medan listrik di sekitar isolator. Konsentrasi besar medan listrik yang berlebihan pada salah bagian isolator dapat terus menekan daya tahan bagian tersebut sehingga suatu saat bagian tersebut akan rusak dan mengakibatkan timbulnya jalur arus yang tidak diinginkan. Semakin merata distribusi potensial listrik maka semakin baik

medan listrik yang ada karena tidak terdapat daerah tertentu yang memiliki besar medan yang berbeda jauh dengan daerah lainnya. Dengan demikian, sebuah isolator perlu didesain sedemikian rupa agar terjadi distribusi medan listrik yang lebih merata sehingga umur isolator menjadi lebih lama. Oleh karena itu, diperlukan analisis distribusi potensial dan medan listrik yang tepat untuk menentukan bentuk dan jenis isolator tegangan tinggi yang baik.

Metode elemen hingga (Finite Element Method) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghitung distribusi potensial berdasarkan bentuk geometri dan jenis isolator. Perangkat lunak berupa MATLAB 7.0.4 dan GiD 9.0.2 dapat dikombinasikan untuk membantu menerapkan prinsip metode elemen hingga tersebut. Dengan diketahuinya distribusi potensial suatu isolator, analisis lebih jauh terhadap isolator tersebut terkait distribusi medan listrik dapat diterapkan.

### 1.2 Dasar Teori

Besar medan listrik yang tinggi memberikan kekuatan atau gaya yang lebih besar bagi sebuah muatan untuk melompat melalui media sesuai dengan persamaan  $F=qE$  [1]. Melompatnya satu muatan saja dapat memicu reaksi berantai sehingga terjadi loncatan muatan yang jauh lebih banyak. Untuk menghindari terjadinya konsentrasi medan yang tinggi sehingga berkurangnya probabilitas terjadinya kegagalan serta bertambahnya umur sebuah isolator

diperlukan desain geometris dan pemilihan jenis media yang baik.

Cara sederhana untuk menghitung distribusi medan listrik adalah dengan menghitung distribusi potensial listrik terlebih dahulu. Lalu, distribusi medan listrik dapat dihitung dengan minus gradien distribusi potensial listrik sebagaimana berikut [2]:

$$E = -\text{grad}V = -\nabla V \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan Maxwell:

$$\nabla \cdot \epsilon E = \rho \quad (2)$$

dimana  $\rho$  = rapat muatan  $\text{Cm}^{-2}$

$\epsilon$  = konstanta dielektrik media

Dengan mensubstitusi persamaan (1) terhadap persamaan (2) diperoleh persamaan Poisson.

$$\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\epsilon} \quad (3)$$

Apabila tidak ada rapat muatan ( $\rho = 0$ ), maka persamaan Poisson berubah menjadi persamaan Laplace.

$$\nabla^2 V = 0 \quad (4)$$

Langkah pertama dalam menerapkan metode elemen hingga adalah dengan menentukan *governing equation* dan membuat model. Lalu secara umum metode elemen hingga memiliki empat langkah yaitu [3]:

1. Diskretisasi area menjadi beberapa elemen dengan jumlah berhingga
2. Menurunkan persamaan yang sesuai untuk setiap elemen
3. Menggabungkan seluruh elemen dalam satu persamaan
4. Penyelesaian dari persamaan yang diperoleh

Diskretisasi merupakan suatu proses pembagian area permasalahan menjadi beberapa elemen yang lebih kecil dengan jumlah berhingga. Bentuk elemen yang diciptakan dapat berupa segitiga, kotak, prisma, tetrahedron, prisma, atau bahkan kubus dan terdiri atas *node-node* tertentu.

Jumlah energi pada tiap elemen dengan asumsi tidak terdapat muatan pada area yang dihitung, dapat dihitung berdasarkan persamaan (5).

$$W_e = \frac{1}{2} \int \epsilon^{(e)} |E|^2 dS = \frac{1}{2} \int \epsilon^{(e)} |\nabla V_e|^2 dS \quad (5)$$

dan diubah menjadi

$$W_e = \frac{1}{2} [V_e]^T [C^{(e)}] [V_e] \quad (6)$$

Matriks  $[C^{(e)}]$  biasanya disebut dengan matriks koefisien elemen (*element coefficient matrix*).

Matriks koefisien elemen kemudian dikombinasikan dengan matriks koefisien elemen lainnya untuk membentuk suatu matriks koefisien global sehingga dihasilkan persamaan (7).

$$W = \frac{1}{2} [V]^T [C] [V] \quad (7)$$

Berdasarkan kalkulus variasional, diketahui bahwa persamaan Laplace hanya akan berlaku apabila energi total pada area permasalahan adalah sama dengan nol. Sehingga besarnya turunan parsial  $W$  terhadap tiap tegangan pada *node* adalah sama dengan nol.

$$\frac{\partial W}{\partial V_k} = 0, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

Dengan memisahkan besarnya tegangan yang diketahui  $V_p$  dengan besar tegangan yang tidak diketahui  $V_f$  persamaan (8) dapat diubah menjadi persamaan (9).

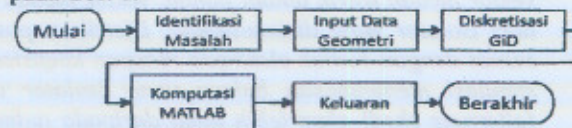
$$W = \frac{1}{2} [V_f \ V_p] \begin{bmatrix} C_{ff} & C_{fp} \\ C_{pf} & C_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_f \\ V_p \end{bmatrix} \quad (9)$$

Dengan mengkombinasikan persamaan (9) dengan persamaan (7) dan dengan asumsi bahwa besarnya tegangan yang diketahui  $V_p$  adalah tetap sehingga differensiasi hanya dilakukan terhadap  $V_f$  maka dapat diperoleh persamaan (10) sebagai penyelesaian untuk mencari distribusi tegangan.

$$[V_f] = [C_{ff}]^{-1} [-C_{fp}] [V_p] \quad (10)$$

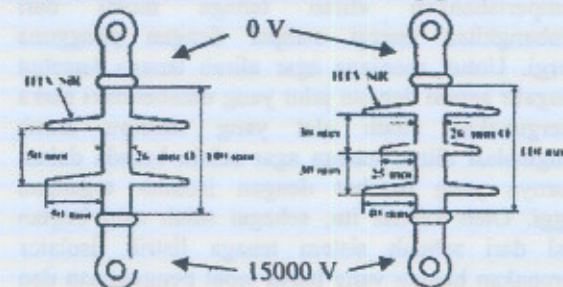
## 2. Perancangan Program

Proses perhitungan meliputi diagram alir seperti pada Gbr. 1.



Gbr. 1 - Diagram alir proses perhitungan

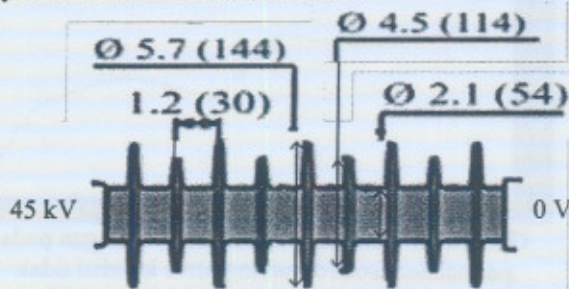
Isolator yang disimulasikan di sini adalah isolator dengan tudung lurus (*straight shed*) dan tudung bergelombang (*alternate shed*). Semua isolator terbuat dari 'high-temperature vulcanized silicone rubber' (HTV SiR) dengan isian berupa alumina trihydrate (ATH:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) dengan isi 50 bagian per 100 terhadap berat (pph). Sebuah inti berupa 'fibre reinforced plastic' (FRP) dengan konstanta dielektrik relatif sebesar 7.1, digunakan sebagai struktur untuk menahan beban mekanis. Sedangkan tudung cuaca terbuat dari HTV SiR dengan konstanta dielektrik relatif sebesar 4.3 terpasang menyelubungi inti. Media di sekeliling isolator adalah udara dengan konstanta dielektrik relatif sebesar 1. Sedangkan air yang dapat menempel pada tudung cuaca memiliki koefisien dielektrik relatif sebesar 80.1. [4]



Gbr. 1 - Bentuk geometri isolator tudung lurus dan tudung bergelombang [4]

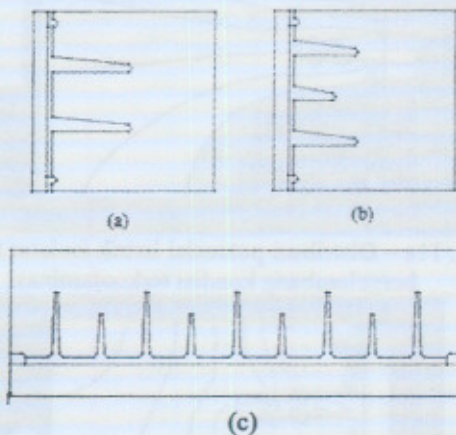
Isolator tegangan tinggi yang diuji adalah isolator dengan nomor katalog LI-SN091-26 yang dikeluarkan oleh NGK-Locke Polymer Insulators, Inc, dihitung dengan geometri dan juga dengan komponen media yang sama dengan media isolator

sebelumnya dalam satuan inch (mm). Sedangkan ukuran inti sudah dispesifikasikan dalam katalog yakni berdiameter sebesar 44 mm.



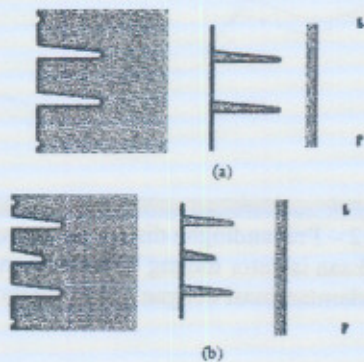
Gbr. 2 - Bentuk geometri isolator tudung lurus dan tudung bergelombang [5]

Gambar pemodelan geometri pada GiD berupa gambar seperti pada Gbr.4.

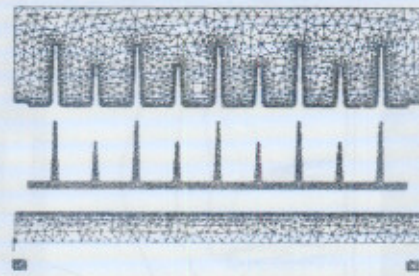


Gbr. 3 - Gambar geometri isolator pada GiD 9.0.2 (a) Tudung lurus tanpa kontaminan (b) Tudung bergelombang tanpa kontaminan (c) Tegangan tinggi

Gambar hasil *mesh* yang dibuat menggunakan elemen segitiga berukuran 3 mm dan berukuran 1 mm pada daerah didekat tudung isolator untuk isolator tudung lurus dan bergelombang sedangkan menggunakan elemen segitiga berukuran 7 mm dan berukuran 1,25 mm pada daerah didekat tudung isolator untuk tegangan tinggi terlihat seperti pada Gbr. 4 dan 5.

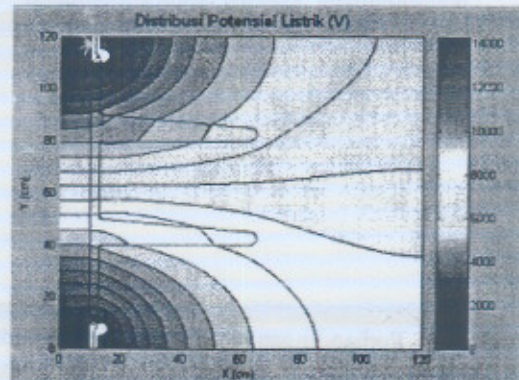


Gbr. 4 - Mesh yang dibangun pada GiD 9.0.2 (a) Tudung lurus (b) Tudung bergelombang



Gbr. 5 - Mesh yang dibangun pada GiD 9.0.2 untuk isolator tegangan tinggi

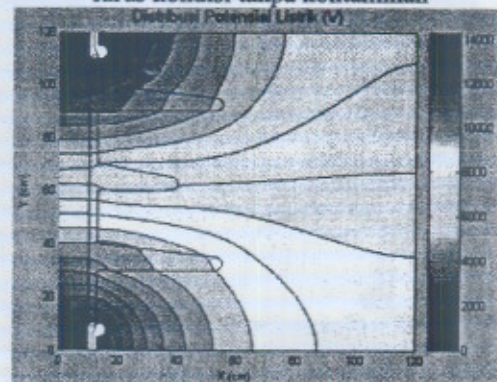
### 3. Hasil dan Pembahasan



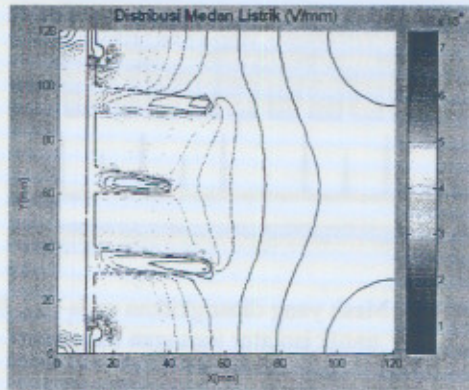
Gbr. 6a - Distribusi potensial listrik isolator tudung lurus kondisi tanpa kontaminan



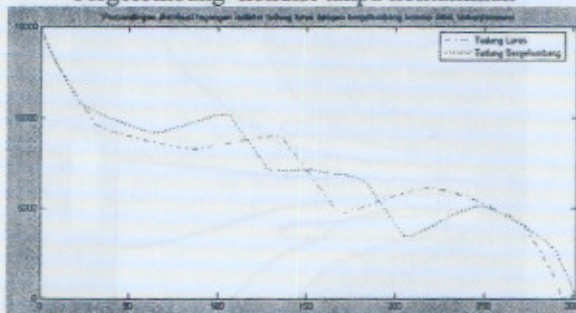
Gbr. 6b - Distribusi medan listrik isolator tudung lurus kondisi tanpa kontaminan



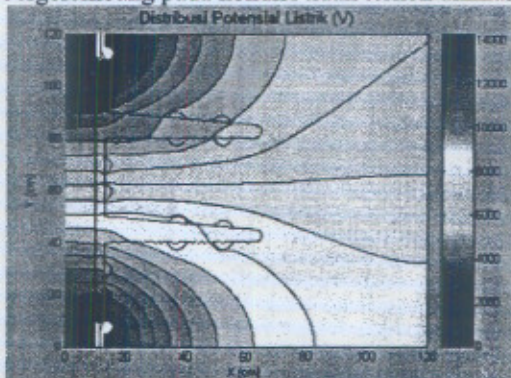
Gbr. 7a - Distribusi potensial listrik isolator tudung bergelombang kondisi tanpa kontaminan



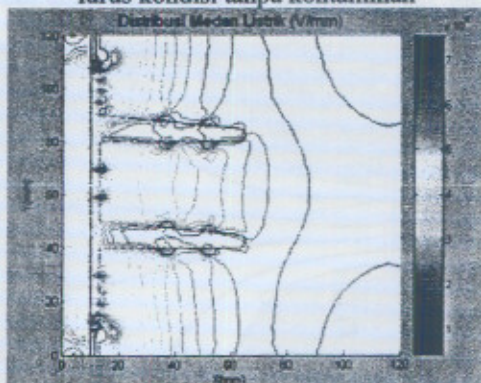
Gbr. 7b – Distribusi medan listrik isolator tudung bergelombang kondisi tanpa kontaminan



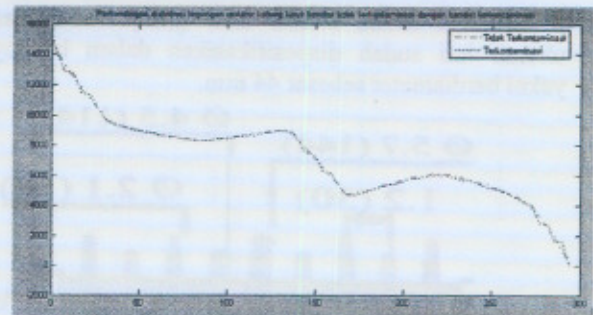
Gbr. 8 – Perbandingan distribusi tegangan pada permukaan isolator tudung lurus dengan tudung bergelombang pada kondisi tidak terkontaminasi



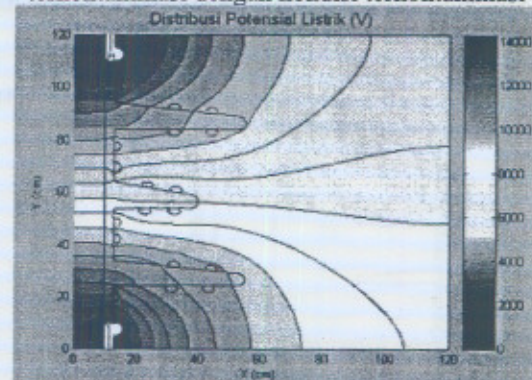
Gbr. 9a – Distribusi potensial listrik isolator tudung lurus kondisi tanpa kontaminan



Gbr. 9b – Distribusi medan listrik isolator tudung lurus kondisi terkontaminasi



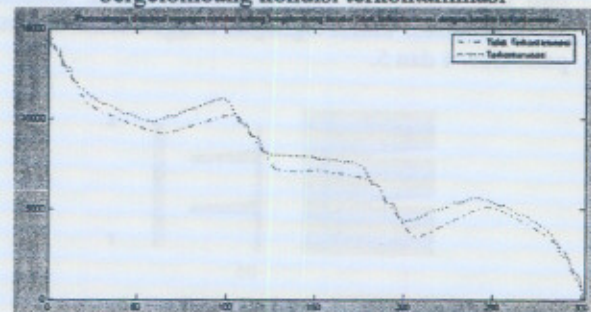
Gbr. 10 – Perbandingan distribusi tegangan pada permukaan isolator tudung lurus kondisi tidak terkontaminasi dengan kondisi terkontaminasi



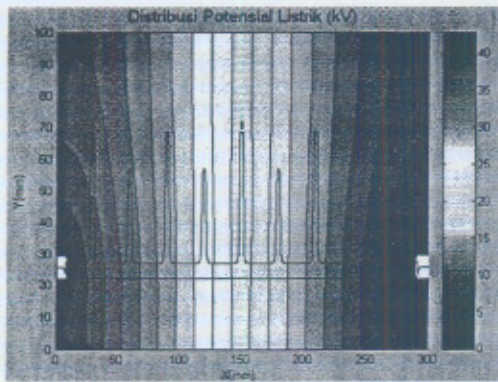
Gbr. 11a – Distribusi potensial listrik isolator tudung bergelombang kondisi terkontaminasi



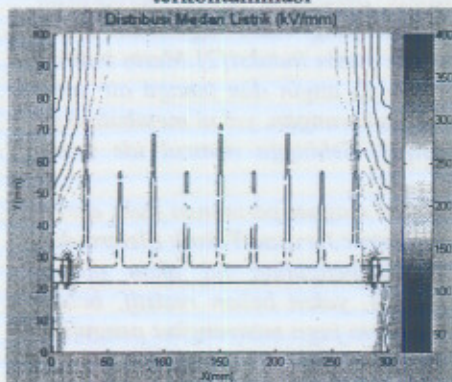
Gbr. 11b – Distribusi medan listrik isolator tudung bergelombang kondisi terkontaminasi



Gbr. 12 – Perbandingan distribusi tegangan pada permukaan isolator tudung bergelombang kondisi tidak terkontaminasi dengan kondisi terkontaminasi



Gbr. 13a – Distribusi tegangan di sepanjang permukaan isolator tudung bergelombang kondisi terkontaminasi



Gbr. 13b – Distribusi tegangan di sepanjang permukaan isolator tudung bergelombang kondisi terkontaminasi



Gbr. 14 – Distribusi tegangan di sepanjang permukaan isolator tudung bergelombang kondisi terkontaminasi

Berdasarkan hasil simulasi baik pada keadaan tanpa kontaminasi maupun terkontaminasi, terdapat distribusi potensial pada permukaan isolator yang lebih tidak linear pada isolator dengan tudung lurus dibandingkan dengan isolator dengan tudung bergelombang. Pengaruh kontaminasi dapat dilihat pada distribusi medan listrik dimana terdapat kuat medan listrik yang cukup tinggi di daerah disekitar kontaminasi.

Hasil perhitungan isolator tegangan tinggi menunjukkan adanya distribusi medan listrik yang cukup seragam dan distribusi potensial listrik pada permukaan isolator yang memiliki tingkat kelinearan

yang tinggi. Hal ini terjadi karena bentuk isolator tegangan tinggi yang seragam.

Besar medan listrik yang lebih tinggi nantinya akan mengakibatkan lebih banyak loncatan muatan pada permukaan isolator. Semakin banyak kegiatan lompatan muatan akan mengakibatkan kerusakan permukaan yang semakin lama akan semakin parah. Meskipun terdapat jarak permukaan dan material yang hampir sama, isolator yang memiliki konfigurasi berbeda memiliki distribusi potensial dan medan listrik yang berbeda pula sehingga terdapat tingkat penuaan yang berbeda.

#### 4. Kesimpulan

1. Program telah dirancang dan berhasil mengambil data, menghitung data, dan menampilkan hasil perhitungan distribusi potensial dan medan listrik statis.
2. Distribusi potensial dan medan listrik tudung bergelombang lebih baik dibandingkan tudung lurus apabila dinilai dari perkiraan besar ketahanan isolator karena terdapat besar medan listrik yang lebih tinggi serta distribusi tegangan yang lebih tidak linear di sepanjang permukaan pada isolator tudung lurus.
3. Isolator pada kondisi terkontaminasi memiliki kualitas yang tidak baik karena terdapat kuat medan listrik yang lebih tinggi pada daerah disekitar tetesan air dan juga distribusi tegangan pada permukaan yang semakin tidak linear.
4. Isolator tegangan tinggi memiliki desain yang baik karena terdapat distribusi medan yang cukup seragam dan distribusi tegangan pada permukaan isolator yang cukup linear.

#### 5. Referensi

- [1] Naidu, M. S., Kamaraju V., 1995. *High Voltage Engineering : Second Edition*. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- [2] Kraus, John D., Fleisch Daniel A., 1999. *ELECTROMAGNETICS WITH APPLICATIONS*. The McGraw-Hill Companies, Inc., Singapore.
- [3] Sadiku, Matthew N. O., 2001. *Elements of Electromagnetics*. Oxford University Press, New York.
- [4] Marungsri, B., Onchantuek W., Oonsivilai A., 2009. Electric Field and Potential Distributions along Surface of Silicone Rubber Polymer Insulators Using Finite Element Method. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems Engineering*. 2:2, pp.91-96.
- [5] NGK-Locke Polymer Insulators, Inc. *Polymer Post Insulators for 46 kV to 500 kV Applications*. [online/catalog] <http://www.ngk-polymer.com/pdf/NGK-Locke-Poly-LinePost.pdf> [Di akses pada tanggal 6 Juli 2010]