

SIMULASI DISTRIBUSI TEGANGAN DAN MEDAN LISTRIK PADA ISOLATOR SUSPENSII 20 KV 3 SIRIP DENGAN 4 TIPE UKURAN SIRIP

Harri Benu Saris^{*)}, Hermawan, and Abdul Syukur

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH. Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail:harri_undip@yahoo.com

Abstrak

Distribusi tegangan dan medan listrik pada isolator merupakan daerah yang masih dipengaruhi sifat kelistrikan dari muatan tertentu. Paparan medan listrik pada suatu bahan isolator mempengaruhi usia kerja dari isolator tersebut. Untuk mengetahui distribusi tegangan dan medan listrik dilakukan pemetaan daerah distribusi pada permukaan isolator yang masih dipengaruhi oleh tegangan maupun medan listriknya agar diperoleh tipe isolator dengan nilai distribusi tegangan terkecil pada ujung-ujung siripnya. Distribusi tegangan dan medan listrik dilakukan pada permukaan isolator tiga sirip dengan empat tipe ukuran sirip. Pemetaan dilakukan pada saat isolator dalam kondisi bersih dan kering. Analisis untuk memetakan distribusi tegangan dan medan listrik pada tugas akhir ini dengan menggunakan Metode Elemen Hingga (Finite Element Method) dan PDE toolbox Matlab 7.6. Hasil simulasi diperoleh bahwa tegangan pada ujung-ujung sirip isolator tipe long leakage nilainya lebih kecil dibandingkan isolator tipe compact, tipe standar, dan tipe extra long leakage. Kuat medan listrik cenderung terpusat pada sambungan isolator dengan konduktor, sambungan isolator dengan besi ground, dan pada ujung-ujung sirip isolator. Tegangan dan medan listrik terdistribusi pada ujung-ujung sirip isolator dengan konduktor digantung lebih besar dari isolator dengan konduktor disanggah, hal ini disebabkan sirip isolator memiliki kemiringan, sudut permukaan atas sirip membentuk sudut lebih dari 5° . Besar nilai distribusi tegangan dan medan listrik dipengaruhi bentuk dan ukuran sirip isolator.

Kata kunci : Isolator, Tegangan Listrik, Medan listrik, dan Metode Elemen Hingga

Abstract

Voltage distribution and electric fields on the insulator is an area that still influenced the electrical properties of a particular charge. Exposure to electric fields on the insulator material affects the working age of the insulator. To determine the voltage distribution and electric field mapping distribution on the insulator surface areas which is still influenced by the voltage or electric field in order to obtain the type of insulator with the smallest value of the voltage distribution at the ends of the fins. Voltage distribution and electric fields on the surface of an insulator three fin with four types of fin size. Mapping done when insulators in clean and dry conditions. Analysis to mapping of voltage and electric field in this thesis by using Finite Element Method (Finite Element Method) and PDE toolbox of Matlab 7.6. The simulation results obtained that the voltage at the ends of fin type insulator long leakage value is less than the insulator type compact, standard, and type extra long of leakage. Strong electric fields tend to be concentrated at the junction with the conductor insulator, insulator to metal ground connection, and the ends of the insulator fin. Voltage and distributed electric field at the ends of the insulator fin with the conductor hung larger than the insulator conductor proped, this is due to an insulator fin has a slope, the angle of the top surface of the fin at an angle of more than 5° . Great value voltage distribution and electric field influenced the shape and size of the fins insulator.

Keywords: Isolator, Voltage, Electric Field, and Finite Element Method

1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik dirancang untuk dapat menyalurkan energi listrik secara aman dan efisien kepada konsumen. Salah satu peralatan listrik yang memegang peranan dalam proses penyaluran energi listrik adalah isolator. Isolator berfungsi untuk mengisolasi bagian yang

bertegangan dengan bagian tidak bertegangan. Pada saat tegangan dialirkan maka akan menimbulkan medan listrik. Paparan medan listrik pada bahan isolator mempengaruhi usia kerja dari isolator tersebut, sehingga diperlukan suatu analisis untuk mengetahui pendistribusian tegangan dan medan listrik pada

permukaan isolator agar diperoleh tipe isolator yang optimum untuk menahan paparan tersebut.

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Methode*) adalah metode numerik untuk memecahkan masalah matematika dan teknik. FEM merupakan bidang ilmu baru dalam memetakan penyebaran suatu muatan. Untuk itu perlu adanya suatu penerapan pada bidang ilmu ini khususnya dalam memecahkan masalah distribusi tegangan dan medan listrik. Penelitian menggunakan FEM yang sudah dilakukan diantaranya yaitu pada isolator jenis pin dan post yang sudah terpasang pada tiang, penelitian ini hanya meneliti distribusi medan listrik, penggambaran distribusi medan masih dapat menembus isolator yang diteliti. Penelitian ini dikhususkan untuk melihat pengaruh medan listrik serta mengukur batas aman isolator terhadap lingkungan sekitarnya [1].

Pada tugas akhir ini penelitian dikhususkan pada permukaan isolator suspensi tiga sirip dengan empat tipe ukuran sirip dan menggunakan tegangan terapan 20 kV, penelitian ini untuk mempelajari dampak paparan tegangan dan medan listrik pada keempat tipe isolator, sehingga diperoleh bentuk isolator yang optimum.

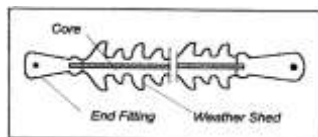
2. Metode

2.1 Isolator

Isolasi adalah sifat atau bahan yang dapat memisahkan secara elektrik dua buah penghantar (atau lebih) yang berdekatan sehingga tidak terjadi kebocoran arus atau terjadi lompatan bunga api (*flashover*). Isolator adalah alat listrik yang dipakai untuk menjalankan tugas mengisolasi.

A. Desain sederhana isolator polimer

Gambar 1 memperlihatkan desain dasar isolator polimer, terdiri dari inti (*core*) dan pembungkus (*shed*), kedua ujungnya dihubungkan dengan *fitting* terbuat dari logam. *Fitting* isolator polimer dirancang untuk mampu menahan beban isolator, sedangkan inti (*core*) isolator polimer berguna untuk memperkuat atau menambah kekuatan mekanik dari isolator. Inti (*core*) terbuat dari bahan *fiberglass*, resin epoksi yang kemudian dibungkus *shed* [3].

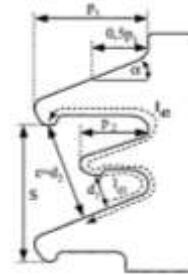


Gambar 2.1 Desain isolator polimer

B. Parameter geometris isolator

Parameter geometris yang terdapat pada isolator yaitu, jarak minimum antar sirip (*c*), perbandingan jarak antar

sirip dengan rentangan sirip (*s/p*), perbandingan l_d/d , di mana l_d adalah jarak rambat dan d adalah jarak bebas, sirip selang – seling, kemiringan *shed*, faktor profil dan Faktor jarak rambat digunakan jika isolator berupa rantai, seperti terlihat pada gambar 2.2 [10].



Gambar 2.2 Profil dan parameter suatu isolator

2.2. Metode Perhitungan Tegangan dan Medan Listrik

Medan listrik merupakan daerah yang masih dipengaruhi sifat kelistrikan, dan juga sebagai gaya yang bertumpu pada muatan uji pada titik yang ingin didapatkan harga medan vektornya [6]. Bila ditulis medan yang bertumpu pada satu satuan muatan :

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} a_R \quad \dots\dots (2.1)$$

Medan listrik dapat pula dihitung apabila suatu potensial listrik *V* diketahui, melalui perhitungan gradiennya.

$$\nabla V = \frac{\partial V}{\partial x} a_x + \frac{\partial V}{\partial y} a_y + \frac{\partial V}{\partial z} a_z$$

Sehingga,

$$E = -\nabla V = -\left(\frac{\partial V}{\partial x} a_x + \frac{\partial V}{\partial y} a_y + \frac{\partial V}{\partial z} a_z\right) \quad \dots\dots (2.2)$$

Dengan menggunakan persamaan Maxwell,

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$$

dan hubungan

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E}$$

dimana polarisasinya dianggap nol, sehingga diperoleh persamaan :

$$\nabla \cdot \nabla V = -\frac{\rho_v}{\epsilon} \quad \dots\dots (2.3)$$

Jika ρ_v merupakan kerapatan muatan ruang sama dengan nol, dengan kondisi bahwa kerapatan muatan permukaan, sebagai sumber medan, maka:

$$\nabla^2 V = 0 \quad \dots\dots (2.4)$$

Persamaan 2.4 merupakan persamaan *laplace*. Pada koordinat cartesian, bentuk persamaan *laplace* adalah:

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} a_x + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} a_y + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} a_z = 0 \quad \dots\dots (2.5)$$

Dengan menerapkan persamaan *laplace* pada daerah yang mempunyai kerapatan muatan ruang nol, masing-masing medan tersebut berbeda menurut potensial dan laju perubahan terhadap koordinat. Energi yang tersimpan pada distribusi muatan digunakan rumus:

$$W_E = \frac{1}{2} \int_{vol} \rho_v \cdot V \, dv \quad \dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

ρ_v :kerapatan volume yang menghasilkan medan potensial (coloumb/meter³)

V :potensial listrik pada titik (V)

Energi yang tersimpan pada medan elektostatik adalah

$$W_E = \frac{1}{2} \int_v \epsilon (\nabla V)^2 \, dv \quad \dots\dots (2.7)$$

2.3. Metode elemen hingga

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematika. Tipe masalah yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu :

Tipe-tipe permasalahan stuktur meliputi :

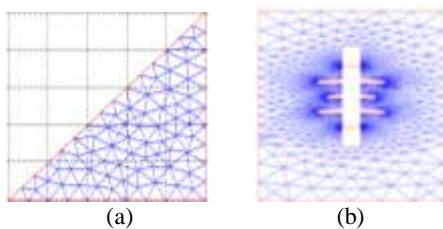
- a. Analisis tegangan (*strees*)
- b. Kelengkungan (*bucking*)
- c. Analisa getaran

Tipe-tipe permasalahan non-stuktur meliputi :

- a. Perpindahan panas dan massa
- b. Mekanika fluida
- c. Distribusi potensial listrik dan medan listrik

Ide dasar dari FEM adalah membagi struktur, badan (*body*), atau daerah yang dianalisis menjadi jumlah yang sangat besar dari suatu elemen hingga (*finite element*). Elemen adalah kumpulan titik (nodal) yang saling terhubung. Sedangkan kumpulan nodal dan elemen didefinisikan sebagai mesh.

Diskretisasi adalah proses pembentukan suatu benda/body dengan memisahkannya kedalam sebuah sistem yang ekuivalen dari bagian terkecil (elemen) yang saling berhubungan antar nodal. Dengan kata lain ide dasar dari FEM adalah proses diskretisasi. Elemen ini bisa dalam bentuk satu, dua, atau tiga dimensi [8].



Gambar 2.4 Diskretisasi menurut kelengkungan benda (dua dimensi)

- (a) Daerah yang memiliki ukuran segitiga yang ukurannya sama pada setiap permukaan (terdiri dari 151 segitiga)
- (b) Daerah yang memiliki ukuran segitiga berbeda menurut kelengkungan benda (terdiri dari 4.589 segitiga).

2.4. Perhitungan Numerik Elemen Segitiga

Metode numerik ini dengan memperkirakan potensial listrik (V) di dalam tiap-tiap elemen yang telah didiskretisasi. Setelah itu, dengan menghubungkan distribusi potensial pada elemen-elemen dalam suatu daerah pada kondisi batas yang telah ditetapkan. Bentuk dua dimensi dari energi dapat diuraikan menjadi:

$$W = \sum_{e=1}^{N_e} \iint_{A_e} \left[\left(\frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right] dS \quad \dots\dots (2.8)$$

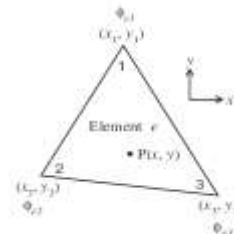
Keterangan :

- e : elemen segitiga
- N_e : jumlah total elemen segitiga
- A_e : daerah elemen e yang fungsinya diintegrasikan

Elemen Segitiga Sebagai Potensial Listrik

Untuk menyelesaikan suatu solusi dengan FEM. Pokok dari metode ini terletak pada waktu pertama kali memperkirakan potensial listrik (V). Fungsi di titik $V(x,y)$ dalam sebuah segitiga dapat diperkirakan sebagai masalah linear:

$$V = a + bx + cy \quad \dots\dots (2.9)$$



Gambar 2.5 Sebuah elemen segitiga pada suatu domain

Gambar 2.5 menunjukkan segitiga dengan nilai V yang menunjukkan fungsi linear dan nilai koordinat tertentu. Dengan menggunakan persamaan 2.9 dan menggunakan koordiant gambar 2.5, maka didapat :

$$V_1 = a + bx_1 + cy_1 \quad \dots\dots (2.10)$$

$$V_2 = a + bx_2 + cy_2 \quad \dots\dots (2.11)$$

$$V_3 = a + bx_3 + cy_3 \quad \dots\dots (2.12)$$

Ketiga persamaan diatas dapat dituliskan dalam bentuk metrik:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad \text{inversnya dapat ditulis :}$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix}$$

Dimana,

$$a = \frac{1}{2A} [(x_2y_3 - x_3y_2)V_1 + (x_3y_1 - x_1y_3)V_2] + (x_1y_2 - x_2y_1)V_3$$

$$b = \frac{1}{2A} [(y_2 - y_3)V_1 + (y_3 - y_1)V_2 + (y_1 - y_2)V_3]$$

$$c = \frac{1}{2A} [(x_3 - x_2)V_1 + (x_1 - x_3)V_2 + (x_2 - x_1)V_3]$$

Maka didapatkan persamaan berikut:

$$V_1 = \sum_{i=1}^2 V_i \cdot u_i(x, y) \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan,
 $u_i = a_i + b_i x + c_i y$, $u_j = a_j + b_j x + c_j y$, $u_k = a_k + b_k x + c_k y$

Keterangan

$$u_i = a_i + b_i x + c_i y$$

$$= \frac{1}{2A_i} \{ (x_2 y_3 - x_3 y_2) + (y_2 - y_3)x + (x_3 - x_2)y \} \dots(2.14)$$

Gradien potensial listrik dapat diaplikasikan pada persamaan 2.8 pada sebuah segitiga, Sehingga energinya menjadi:

$$W_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 V_i \cdot V_j \int \nabla u_i \nabla u_j ds \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan $S_{i,j}$ merupakan matriks pada sebuah elemen yaitu:

$$S_{i,j} = \int \nabla u_i \nabla u_j ds \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

Persamaan 2.16 dapat ditulis sebagai matriks kuadrat dalam bentuk energi:

$$W_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r V^T S V$$

Keterangan:

V: matriks kolom dari potensial listrik pada titik V_{e1}, V_{e2}, V_{e3}

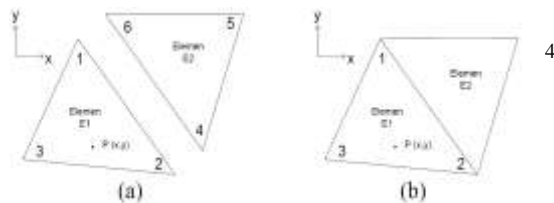
T: transpose matriks V

Untuk setiap elemen segitiga lain, matriks S dapat diaplikasikan dengan mensubstitusi persamaan 2.14 ke dalam persamaan 2.16. Sebagai contoh yaitu koneksi antara nodal 1 dan nodal 2 menghasilkan S_{12} :

$$S_{12} = \frac{1}{4A_2} \{ (y_2 - y_3)(y_3 - y_1) + (x_3 - x_2)(x_1 - x_3) \} \dots(2.17)$$

Demikian juga untuk koneksi nodal 1-1, 1-3, 2-1, 2-2, 2-3, 3-1, 3-2, dan 3-3.

Penyatuan Elemen Segitiga



Gambar 2.6 Penggabungan elemen segitiga

- (a). Dua elemen segitiga yang belum terhubung
- (b). Dua elemen segitiga yang terhubung

Energi pada elemen yang saling terhubung adalah:

$$W = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r V_{con}^T S V_{con} \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan

$$S = C^T S_{dis} C$$

merupakan matriks koefisien dari segitiga yang saling terhubung. Untuk penggabungan pada gambar 2.6, maka matriks koefisiennya adalah:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11}^{(1)} + S_{66}^{(2)} & S_{12}^{(1)} + S_{64}^{(2)} & S_{13}^{(1)} & S_{65}^{(2)} \\ S_{21}^{(1)} + S_{46}^{(2)} & S_{22}^{(1)} + S_{44}^{(2)} & S_{23}^{(1)} & S_{45}^{(2)} \\ S_{31}^{(1)} & S_{32}^{(1)} & S_{33}^{(1)} & 0 \\ S_{56}^{(2)} & S_{54}^{(2)} & 0 & S_{55}^{(2)} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

Solusi FEM berkenaan dengan nilai-nilai pada tiap nodal, dengan cara penurunan (*differential*) dari persamaan (2.18). maka:

$$\frac{\partial W(v)}{\partial V_k} = 0 \quad \text{untuk } k = 1, 2, 3 \dots N_n$$

$$\frac{\partial W(v)}{\partial v_k} = \frac{\partial}{\partial [v_r]_k} [V_f V_p]^T \begin{bmatrix} S_{ff} & S_{fp} \\ S_{pf} & S_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_f \\ V_p \end{bmatrix} = 0 \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

Simbol f merupakan nodal yang nilainya akan dicari. Simbol p merupakan nodal pada potensial dan *ground* yang sudah ditentukan.

$$[S_{ff} \ S_{fp}] \begin{bmatrix} V_f \\ V_p \end{bmatrix} = 0 \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

Persamaan 2.21 dapat juga dinyatakan sebagai:

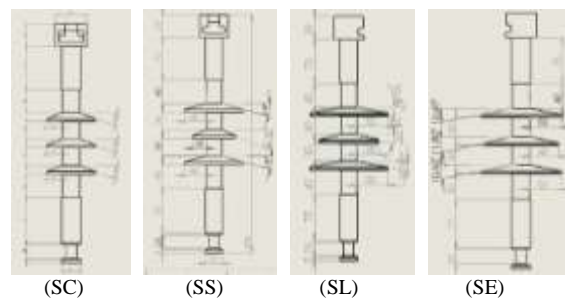
$$S_{ff} V_f = - S_{fp} V_p \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

Persamaan ini digunakan untuk mencari potensial listrik pada setiap nodal.

2.5. Metodologi Pemograman

2.5.1 Kontruksi Isolator

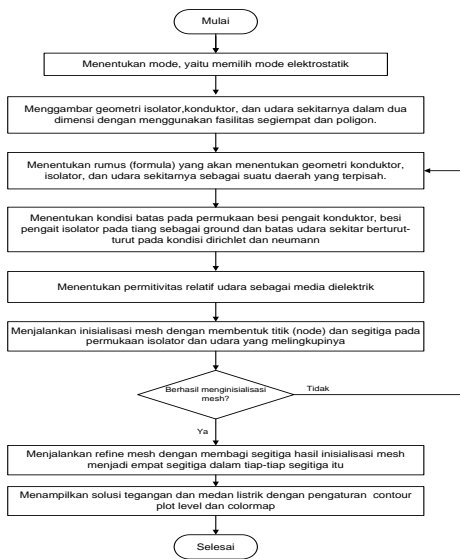
Dalam pengujian ini, isolator yang digunakan adalah isolator dengan variasi tiga sirip, yaitu tipe SC, tipe SS, tipe SL, dan tipe SE. Berikut adalah bentuk isolator yang diuji.



Gambar 3.1 Isolator tipe SC, SS, SL, dan SE

2.5.2. Tahapan Simulasi

Langkah-langkah proses pemograman yang dilakukan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.2 Diagram alir pemrograman

Langkah-langkah simulasi dilakukan berdasarkan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) dengan program Matlab 7.6, menggunakan fasilitas PDE toolbox, yaitu:

a. Bentuk Geometri

Isolator, besi konduktor dan ground digambar dalam bentuk dua dimensi sesuai dengan bentuk aslinya. Isolator digambar dalam bentuk polygon, besi konduktor, ground dan udara yang melingkupinya digambar berbentuk segiempat (*rectangle/square*).



Gambar 3.3 Geometri isolator tipe standar

b. Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

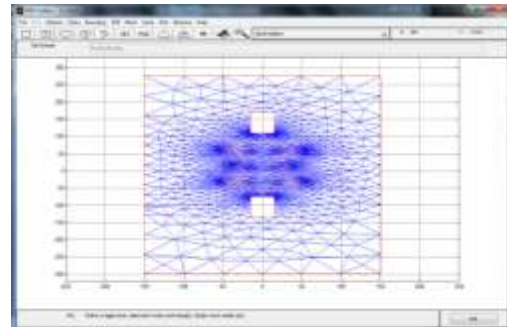
Kondisi batas dibagi menjadi dua jenis kondisi, yaitu kondisi *dirichlet* dan kondisi *Neumann*. Kondisi *dirichlet* diset pada tegangan 20.000 volt sumber dan 0 volt untuk *ground*.

c. PDE Mode

Mode untuk menentukan parameter dari permitivitas relatif udara dengan mengubah nilai pada PDE *specification*, permitivitas relative udara bernilai 1,00059 sedangkan nilai rho diisikan nol.

d. Mesh

Mesh mode untuk membagi seluruh permukaan pada PDE mode menjadi ribuan titik (*nodal*) dan ribuan segitiga yang disebut proses *discretization* yang memiliki kualitas berbeda pada tiap-tiap segitiga sesuai dengan bentuk geometri.



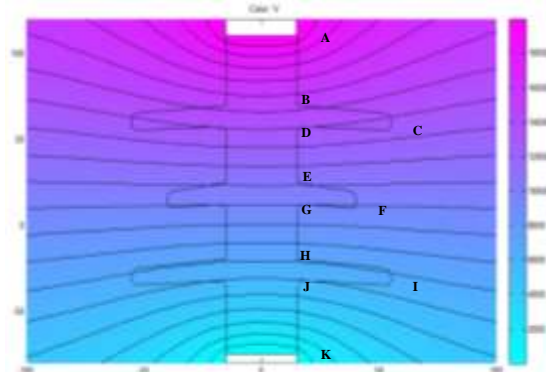
Gambar 3.4 Mesh mode pada isolator tipe standar

e. Solusi

Solve mode, yaitu mode untuk menampilkan pendistribusian tegangan dan medan listrik pada permukaan isolator dan udara yang melingkupinya. Pengaturan untuk perubahan dengan mengubah parameter *plot mode*.

3. Hasil Dan Analisa

3.1 Distribusi tegangan listrik pada isolator tipe SC, SS, SL, SE.



Gambar 4.1 Penentuan titik-titik pengukuran tegangan pada isolator tipe standar

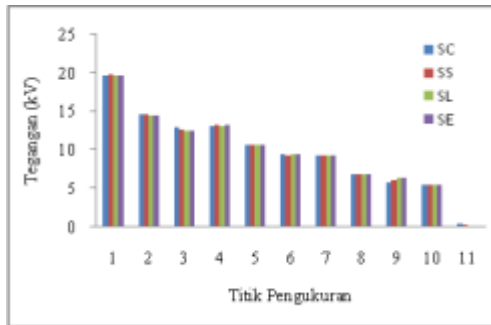
Gambar 4.1 merupakan penentuan titik-titik pengukuran tegangan pada isolator tipe standard, penentuan titik-titik pengukuran pada isolator tipe lainnya dilakukan dengan cara yang sama, dan diperoleh data pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Distribusi tegangan pada isolator tipe SC, SS, SL, SE.

Titik pengukuran	V_{SC} (kV)	V_{SS} (kV)	V_{SL} (kV)	V_{SE} (kV)
------------------	---------------	---------------	---------------	---------------

A	19,69	19,77	19,72	19,72
B	14,57	14,59	14,53	14,53
C	12,89	12,71	12,51	12,52
D	13,13	13,21	13,14	13,19
E	10,61	10,62	10,6	10,61
F	9,39	9,37	9,42	9,45
G	9,34	9,36	9,36	9,36
H	6,81	6,83	6,85	6,87
I	5,85	6,14	6,41	6,41
J	5,42	5,43	5,42	5,43
K	0,398	0,232	0,191	0,195

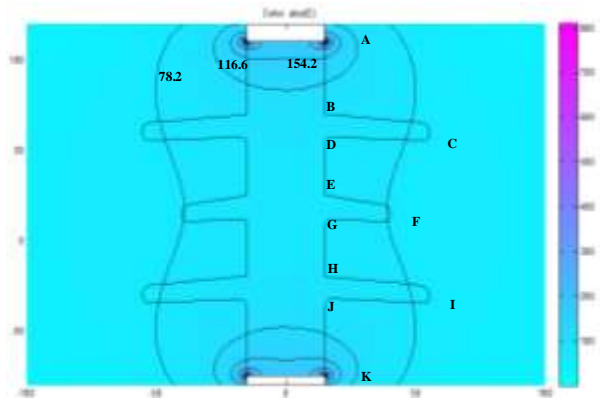
Berdasarkan data hasil distribusi tegangan pada tabel 4.1 maka dapat digambar grafik gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik hasil distribusi tegangan pada isolator tipe SC, SS, SL, SE

Berdasarkan gambar 4.2 terlihat bahwa tegangan sepanjang permukaan isolator tersebar secara merata, nilai pengukuran akan semakin turun jika jarak pengukuran semakin jauh dari sumber tegangan atau konduktor. Penyebaran garis ekwipotensial sama pada tiap tipe isolator, posisi tiap garis bergantung dari konstruksi isolator tersebut, sehingga nilai tegangan akan semakin kecil pada ujung sirip yang lebih panjang, hal ini disebabkan sudut kemiringan sirip lebih kecil pada sirip yang lebih panjang. Hasil simulasi distribusi tegangan pada keempat tipe isolator dengan empat tipe ukuran sirip menunjukkan bahwa, semakin pendek sirip sebuah isolator maka tegangan yang terdistribusi pada permukaannya juga akan semakin kecil.

3.2. Distribusi medan listrik pada isolator tipe SC, SS, SL, SE.



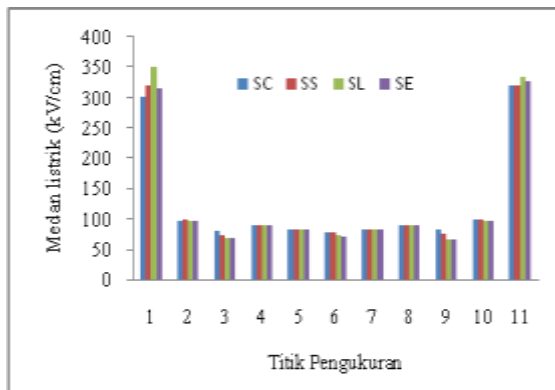
Gambar 4.3 Penentuan titik-titik pengukuran medan listrik pada isolator tipe standar

Gambar 4.3 merupakan penentuan titik-titik pengukuran medan listrik pada isolator tipe standard, penentuan titik-titik pengukuran pada isolator tipe lainnya dilakukan dengan cara yang sama, dan diperoleh data pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Distribusi medan listrik pada isolator tipe SC, SS, LS, ES.

Titik pengukuran	E_{SC} (kV/cm)	E_{SS} (kV/cm)	E_{SL} (kV/cm)	E_{SE} (kV/cm)
A	300,22	320,59	349,43	314,7
B	97,57	97,77	97,14	97,19
C	80,44	73,9	68,03	68,07
D	89,44	89,85	89,14	89,5
E	83,44	83,48	83,06	83,16
F	77,8	77,79	73,09	70,14
G	83,42	83,47	83,13	83,19
H	89,73	89,69	89,21	89,16
I	83,27	74,2	66,79	66,85
J	98,06	97,73	97,27	97,21
K	319,37	320,25	333,34	327,43

Berdasarkan data hasil distribusi tegangan pada tabel 4.2 maka dapat digambar grafik gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik hasil distribusi medan listrik pada isolator tipe SC, SS, SL, SE

Berdasarkan grafik 4.4 terlihat bahwa distribusi medan listrik terbesar pada titik-titik sambungan (isolator-konduktor dan isolator-ground), hal ini dikarenakan medan listrik cenderung menyebar ke daerah dengan muatan ruang nol ($\rho_v=0$) atau memilih jalur dengan hambatan kecil.

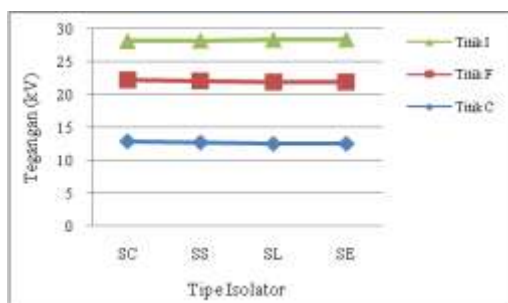
3.2 Perbandingan distribusi tegangan pada sirip-sirip isolator

Penentuan titik-titik pengambilan nilai distribusi tegangan listrik pada sirip pertama.

Tabel 4.3 Perbandingan distribusi tegangan pada sirip-sirip isolator tipe SC, SS, SL, SE.

Tipe isolator	$V_{Titik\ C}$ (kV)	$V_{Titik\ F}$ (kV)	$V_{Titik\ I}$ (kV)
SC	12,89	9,39	5,85
SS	12,71	9,37	6,14
SL	12,51	9,42	6,41
SE	12,52	9,45	6,41

Berdasarkan data hasil distribusi tegangan pada tabel 4.3 maka dapat digambar grafik gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik hasil perbandingan tegangan listrik pada isolator tipe SC, SS, SL, SE

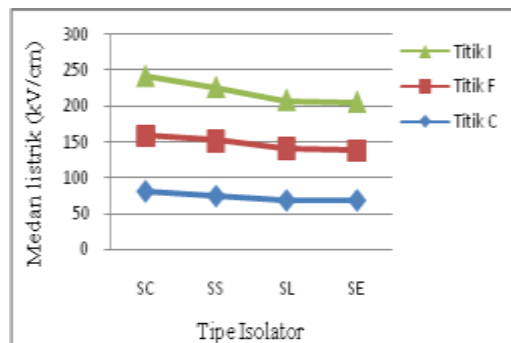
Berdasarkan grafik 4.5 di atas terlihat bahwa penurunan nilai tegangan pada masing-masing tipe isolator cenderung sama dimana tegangan terbesar pada sirip pertama (titik C), sirip ini merupakan sirip terdekat dengan sumber tegangan. Nilai tegangan akan semakin menurun pada sirip dengan jarak semakin jauh dari konduktor.

3.4 Perbandingan distribusi medan listrik pada sirip-sirip isolator

Tabel 4.4 Perbandingan distribusi medan listrik pada sirip-sirip isolator tipe SC, SS, SL, SE.

Tipe Isolator	$E_{Titik\ C}$ (kV/cm)	$E_{Titik\ F}$ (kV/cm)	$E_{Titik\ I}$ (kV/cm)
SC	80,44	77,8	83,27
SS	73,9	77,79	74,2
SL	68,03	73,09	66,79
SE	68,07	70,14	66,85

Berdasarkan data hasil distribusi medan listrik pada tabel 4.4 maka dapat digambar grafik gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik hasil perbandingan distribusi medan listrik pada isolator tipe SC, SS, SL, SE

Berdasarkan grafik 4.5 terlihat bahwa nilai medan listrik cenderung besar pada sirip pertama (titik C) jika dibandingkan dengan sirip tengah (titik F). Nilai medan terbesar yaitu pada sirip-sirip isolator SC, ini disebabkan isolator ini memiliki ukuran sirip pendek sehingga terpaan medan cenderung besar pada titik ini. Sedangkan pada isolator SL dan SE nilainya cenderung rendah ini dikarenakan sirip-sirip pada isolator ini panjang sehingga lebih jauh dari sumber medan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diambil kesimpulan yaitu, perbandingan hasil pemetaan tegangan pada ujung-ujung sirip isolator tipe compact nilainya lebih kecil dibandingkan isolator tipe standar, tipe long leakage dan tipe extra long leakage. Hasil simulasi

distribusi medan listrik menunjukkan bahwa kuat medan terbesar cenderung pada titik-titik sambungan, hal ini dikarenakan medan listrik cenderung menyebar ke daerah dengan muatan ruang nol ($\rho_v=0$), sehingga kuat medan berkonsentrasi pada sambungan isolator-konduktor dan sambungan isolator - *ground*.

Ukuran sirip sebuah isolator akan mempengaruhi pendistribusian tegangan dan medan listrik pada permukaan dan ujung-ujung isolator tersebut, semakin panjang sirip isolator akan semakin besar menahan distribusi tegangan dan distribusi medan listrik yang mengalir.

Untuk pengembangan selanjutnya diberikan saran-saran sebagai berikut, dapat dikembangkan untuk pemetaan isolator dengan bentuk dan tipe yang berbeda. Dapat dikembangkan untuk pemetaan isolator dalam keadaan basah dan dengan kontaminan yang berbeda. Pada saat pembuatan isolator disarankan sehomogen mungkin dan permukaan isolator diperhalus agar mengurangi *void* dan juga titik-titik runcing permukaan.

Referensi

Journal:

- [1] Azmi, Safarul, *Penggunaan FEM (Finite Element Method) Dalam Memetakan Medan Listrik Pada Permukaan Isolator Jenis Pin Dan Post 20 kV Dan Udara Disekitarnya*, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang 2007.
- [2] Haldar M.K., *Introducing the Finite Element Method in Electromagnetics to Undergraduates Using MATLAB*, Department of Electrical and Computer Engineering, National University of Singapore, Singapore.
- [3] Marungsri, Dkk, *Analysis Of Electric Field And Potential Distributions Along Surface Of Silicone Rubber insulators Under Various Contamination Conditions Using Finite Element Method*, World Academy Of Science, Engineering And Technology 53, Thailand, 2009.
- [4] Latief, Melda dan Suwarno, *Unjuk Kerja Permukaan Isolator Pasangan Luar Polimer Epoxy Resin 20 kV pada Berbagai Kondisi Lingkungan*, Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan, 2005.
- [5] Kalatiku, Protus P. dan Asmi R., Yuli, *Analisa Distribusi Tegangan Pada Permukaan Insulator Gantung Dengan Menggunakan Simulasi Matlab*, Teknik Elektro, Universitas Tadulako, Palu, 2007.
- [6] Satriyadi, I., dkk, *Study Perbandingan Pengukuran Dan Pemetaan Distribusi Medan Dan Potensial Listrik Pada Isolator Tegangan Menengah Dengan Finite Element Method*, JAVA Journal, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2008.
- [7] Peng, Y., dkk, *Finite Element Calculation on Electric Field of Composite Insulator Used in 330 kV Compacted Transmission*, Proceedings of the XIVth International Symposium on High Voltage Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, pp. A.53.1-4, 2005.

Disertation:

- [8] Berahim, Hamzah, 2005, *Metodologi untuk Mengkaji Kinerja Isolasi Polimer Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tegangan Tinggi di Daerah Tropis*,

Disertasi S-3 Fakultas Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Textbooks:

- [9] Gurur, Ravi S., E.A. Cherney dan J.T Burnham, 1999, *Outdoor Insulators*, USA.
- [10] Hanselman Duane, dan Littlefield Bruce, *MATLAB Bahasa Komputasi Teknis*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2000.
- [11] Hayt William H., *Elektromagnetika Teknologi*, Penerbit Erlangga, 1989.
- [12] P.P. Silvester, R.L. Ferrari, *Finite Elements For Electrical Engineering*, Cambridge University Pres, 1990.
- [13] Susatio Yerri, *Dasar-dasar Metode Elemen Hingga*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2004.
- [14] Syakur, Abdul, teori dan hasil eksperimen partial discharge pada bahan isolasi, universitas diponegoro, 2009.
- [15] Tobing, Bonggas L, 2003, *Peralatan Tegangan Tinggi*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.