

**PENGGUNAAN FEM (FINITE ELEMENT METHOD)
DALAM MEMETAKAN MEDAN LISTRIK PADA
PERMUKAAN ISOLATOR JENIS PIN DAN POST 20 KV
SERTA UDARA DI SEKITARNYA**

**Agung Warsito
M. Facta
Safarul Azmi**

Abstract. Electric field is the area which still be influenced electricity from certain electric charge. Based on WHO recommendation in 1990, electric field limits which is allowed at public during 24 hours per day is 5 kV/m. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) has big electric field intensity. Therefore, required a study to map the electric field and know the distance that a man is enabled to stay at that electric field limits.

The analysis to map the electric field at this final report is by using the Finite Element Method (FEM). FEM is a numerical method for solving problems of engineering and mathematical physics. The analysis is assist by using MATLAB 7.0.1 and ANSYS 9.0 as benchmarking program.

From the result of simulation, the transformation of electric mast construction at pin type insulator had an effect on the electric field intensity value only at the direction from middle position of conductor upward. The electric mast construction using post type insulator has bigger electric field intensity than the electric mast construction using pin type insulator if evaluated from the same distance.

Keywords : electric field, finite element method, and distribution line

Medan listrik merupakan daerah yang masih dipengaruhi sifat kelistrikan dari muatan tertentu. Menurut standard WHO tahun 1990, batas medan listrik yang diperbolehkan pada masyarakat umum selama 24 jam per hari adalah 5 kV/m.

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV memiliki medan listrik yang cukup besar sehingga diperlukan suatu analisis untuk mengetahui pada jarak berapa meter masyarakat umum boleh berada pada batas yang ditentukan oleh WHO itu.

FEM adalah metode numerik untuk memecahkan masalah matematika dan teknik. FEM merupakan bidang ilmu baru dalam memetakan medan listrik. Untuk itu perlu adanya suatu penerapan pada bidang ilmu ini khususnya dalam memecahkan masalah medan listrik.

Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik problem matematika dari suatu gejala fisika. Masalah yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisis struktur dan kelompok analisis non-struktur.

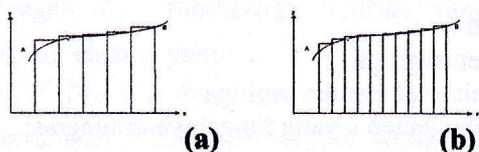
Dalam makalah ini analisis yang digunakan adalah analisis untuk masalah non-struktur dan distribusi potensial listrik dan medan listrik.

Elemen adalah kumpulan titik (nodal) yang saling terhubung. Sedangkan kumpulan nodal elemen didefinisikan sebagai mesh. Pada pembentukan mesh ini disebut diskritisasi metode pemisahan (*discretization*). Diskret adalah proses pembentukan suatu benda/l dengan memisahkannya kedalam sebuah sistem

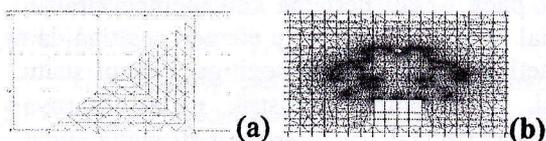
A. Warsito, M. Facta (a_warsito_facta@elektro.ft.undip.ac.id), adalah dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Jl. Prof. Sudharto, S.H. Tembalang, Semarang 50275
Safarul Azmi adalah mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Jl. Prof. Sudharto, S.H. Tembalang, Semarang 50275

yang ekuivalen dari bagian terkecil atau unit (elemen) yang saling berhubungan antar nodal sehingga menjadi dua atau lebih element dengan garis batas dan permukaan.

Ide dasar dari FEM adalah membagi struktur, badan (*body*), atau daerah yang dianalisis menjadi jumlah yang sangat besar dari suatu elemen hingga (*finite element*)^[4]. Dengan kata lain ide dasar dari FEM adalah proses diskretisasi. Elemen ini bisa dalam bentuk satu, dua, atau tiga dimensi.



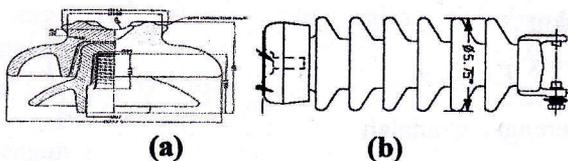
Gambar 2.2 Diskretisasi garis lengkung dengan elemen kotak
 (a) menghasilkan 5 elemen segi empat
 (b) menghasilkan 10 elemen segi empat



Gambar 2.3 Diskretisasi menurut kelengkungan domain
 (a) daerah yang memiliki ukuran segitiga yang ukuran sama pada setiap permukaan (sebagai contoh bangun segitiga yang terdiri dari 128 segitiga).
 (b) daerah yang memiliki ukuran segitiga yang ukurannya berbeda menurut kelengkungan benda (sebagai contoh permukaan isolator yang terdiri dari 11.970 segitiga).

Isolator dan Tegangan Kerja

Isolator merupakan alat untuk memisahkan konduktor yang dialiri arus listrik dengan tiang transmisi tenaga listrik atau tiang distribusi tenaga listrik yang tidak dialiri arus listrik dan berhubungan langsung dengan konduktor yang dialiri arus listrik. Pada analisis distribusi medan listrik ini digunakan isolator pin dengan tegangan kerja 20 kV dan isolator jenis post.



Gambar 2.4 Jenis Isolator
 (a) Isolator jenis pin 20 kV
 (b) Isolator jenis post 20 kV

Medan Listrik dan Gaya Coloumb

Coulomb menyelidiki gaya tarik menarik atau tolak menolak antara dua muatan titik atau partikel bermuatan yaitu gaya antara benda bermuatan yang ukurannya kecil dibandingkan dengan jarak antara keduanya. Ia menemukan bahwa gaya tersebut besarnya:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{R^2} \mathbf{a}_{12} \tag{1}$$

Medan listrik merupakan daerah yang masih dipengaruhi sifat kelistrikan dari muatan tertentu. Medan listrik dapat juga didefinisikan sebagai gaya bertumpu pada muatan uji satuan pada titik yang ingin didapatkan harga medan vektornya.

Bila ditulis gaya yang bertumpu pada satu satuan muatan, maka :

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \mathbf{a}_R \tag{2}$$

Gradien Potensial Listrik

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

$$\nabla V = \frac{\partial V}{\partial x} \mathbf{a}_x + \frac{\partial V}{\partial y} \mathbf{a}_y + \frac{\partial V}{\partial z} \mathbf{a}_z \tag{3}$$

sehingga

$$E = -\nabla V \tag{4}$$

Energi Medan Listrik

Untuk memperoleh rumusan energi yang tersimpan pada distribusi muatan digunakan rumus:

$$W_E = \frac{1}{2} \int_{vol} \rho_v V dv \tag{5}$$

persamaan ini untuk mencari energi potensial total dalam sistem muatan titik atau pada kerapatan muatan ruang dengan ρ_v :kerapatan volume yang menghasilkan medan potensial (coloumb/meter³), dan V :potensial listrik pada titik (V).

Total energi W yang tersimpan pada medan elektrostatik dalam suatu volum V adalah

$$W_E = \frac{1}{2} \int \epsilon (\nabla V)^2 dv \tag{6}$$

Perhitungan Metode Elemen Hingga

Pada mode elektrostatik, potensial listrik (V) berkaitan erat dengan medan listrik (E) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$E = -\nabla V \tag{7}$$

Dengan menggunakan persamaan Maxwell,

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v \quad (8)$$

dan hubungan,

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E} \quad (9)$$

dimana polarisasinya dianggap nol, sehingga diperoleh persamaan :

$$\nabla \cdot \nabla V = -\frac{\rho_v}{\epsilon} \quad (10)$$

Keterangan :

\mathbf{E} : intensitas medan listrik (volt/meter)

V : potensial listrik (volt)

\mathbf{D} : kerapatan fluks listrik (coloumb/meter²)

Persamaan 2.12 merupakan persamaan *Poisson*, Gradien potensial listrik ganda pada persamaan 2.12 dapat diuraikan menjadi persamaan berikut ini:

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \mathbf{a}_x + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \mathbf{a}_y + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \mathbf{a}_z = -\frac{\rho_v}{\epsilon} \quad (11)$$

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

$$\nabla^2 V = 0 \quad (12)$$

Persamaan 2.14 merupakan persamaan *Laplace*. Pada koordinat cartesius, bentuk persamaan *Laplace* adalah:

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \mathbf{a}_x + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \mathbf{a}_y + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \mathbf{a}_z = 0 \quad (13)$$

Dengan menerapkan persamaan *Laplace* pada daerah yang mempunyai kerapatan muatan ruang nol, persamaan tersebut menyatakan bahwa konfigurasi konduktor akan menimbulkan medan yang memenuhi persamaan $\nabla^2 V = 0$. masing-masing medan tersebut berbeda menurut potensial dan laju perubahan terhadap koordinat. Tiap medan listrik memenuhi persamaan *Laplace* jika $\rho_v = 0$. yang digunakan untuk mendapatkan nilai potensial listrik dan medan listrik.

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 dan membatasi distribusi potensial yang terjadi pada kondisi batas yang telah ditetapkan. Bentuk dua dimensi dari energi dapat diuraikan menjadi:

$$W = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \iint_s \left[\left(\frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right] ds \quad (14)$$

Keterangan :

W_E : energi pada medan elektrostatik

s : daerah yang akan didiskretisasi (domain)

ϵ_r : permitivitas relatif

ϵ_0 : permitivitas ruang hampa = $8,854 \times 10^{-12}$ (F/m)

Untuk menentukan solusi masalah dengan menggunakan FEM, domain s didiskretisasi menjadi segitiga-segitiga kecil. Tiap segitiga kecil ini disebut sebagai elemen. Sehingga diperoleh rumus :

$$W = \sum_{e=1}^{N_e} \iint_{A_e} \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \left[\left(\frac{\partial V_e}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_e}{\partial y} \right)^2 \right] ds \quad (15)$$

Keterangan :

e : elemen segitiga

N_e : jumlah total elemen segitiga

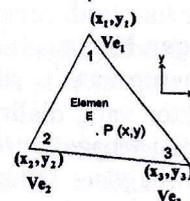
A_e : daerah elemen e yang fungsinya diintegrasikan

Elemen Segitiga Sebagai Potensial Listrik

Untuk menyelesaikan suatu solusi dengan FEM yang sederhana, domain dibagi kedalam bentuk elemen segitiga. Pokok dari metode ini terletak pada waktu pertama kali memperkirakan potensial listrik (V) pada tiap elemen segitiga dan pada setiap nodal dalam segitiga dalam suatu aplikasi. Nilai potensial listrik pada dasarnya terletak pada nodal yang terdapat di sudut-sudut segitiga. Setelah itu potensial listrik yang berada pada elemen segitiga dihubungkan antara satu dengan yang lain dengan bentuk dan ukuran segitiga yang berbeda sehingga dapat diketahui potensial listrik pada tiap-tiap nodal.

Fungsi V di titik $P(x,y)$ dalam sebuah segitiga dapat diperkirakan sebagai masalah linear:

$$V = a + bx + cy \quad (16)$$



Gambar 2.5 Sebuah elemen segitiga pada suatu domain

Oleh karena $i, i1$ dan $i2$ adalah siklus permutasi dari 1, 2, dan 3, maka didapatkan persamaan berikut :

$$V = \sum_{i=1}^3 V_i \alpha_i(x, y) \quad (17)$$

Keterangan α_i adalah

$$\frac{1}{2A_e} \{ (x_2 y_3 + x_3 y_2) + (y_2 - y_3)x + (x_3 - x_2)y \}$$

Energi yang bersesuaian dengan sebuah segitiga pada gambar 2.5 dapat diaplikasikan pada persamaan 2.19 dalam area lokal (hanya sebuah segitiga). Gradien potensial listrik dapat diaplikasikan pada persamaan 2.17 pada sebuah segitiga yaitu:

$$W_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \int |\nabla V|^2 ds$$

Sehingga energinya menjadi:

$$W_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 V_i \int \nabla \alpha_i \nabla \alpha_j ds V_j \quad (18)$$

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

$$S_{i,j} = \int \nabla \alpha_i \nabla \alpha_j ds \quad (22)$$

Persamaan 2.21 dapat ditulis sebagai matriks kuadrat dalam bentuk energi:

$$W_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{V}^T \mathbf{S} \mathbf{V} \quad (23)$$

Keterangan:

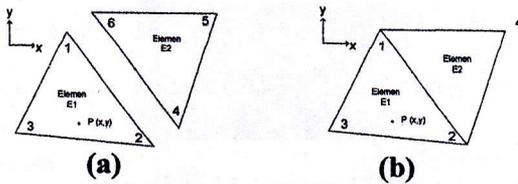
\mathbf{V} = matriks kolom dari potensial listrik pada titik V_{e1} , V_{e2} , dan V_{e3} .

Untuk setiap elemen segitiga lain, matriks \mathbf{S} dapat diaplikasikan dengan mensubstitusi persamaan 2.19 ke dalam persamaan 2.22. Sebagai contoh yaitu koneksi antara nodal 1 dan nodal 2 menghasilkan S_{12} :

$$\frac{1}{4A} \{(y_2 - y_3)(y_3 - y_1) + (x_3 - x_2)(x_1 - x_3)\} \quad (24)$$

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 Penyatuan Elemen Segitiga

(a) dua elemen segitiga yang belum terhubung (dua elemen, 6 nodal)

(b) dua elemen segitiga yang saling terhubung (dua elemen 4 nodal)

Energi pada elemen yang saling terhubung adalah:

$$W = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{V}_{con}^T \mathbf{S} \mathbf{V}_{con} \quad (25)$$

dengan

$$\mathbf{S} = \mathbf{C}^T \mathbf{S}_{dis} \mathbf{C} \quad (26)$$

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

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_{11}^{(1)} + S_{66}^{(2)} & S_{12}^{(1)} + S_{64}^{(2)} & S_{13}^{(1)} & S_{65}^{(2)} \\ S_{21}^{(1)} + S_{46}^{(2)} & S_{22}^{(1)} + S_{44}^{(2)} & S_{23}^{(1)} & S_{45}^{(2)} \\ S_{31}^{(1)} & S_{32}^{(1)} & S_{33}^{(1)} & 0 \\ S_{56}^{(2)} & S_{54}^{(2)} & 0 & S_{55}^{(2)} \end{bmatrix} \quad (27)$$

Solusi Potensial Listrik

Solusi FEM berkenaan dengan nilai-nilai pada tiap nodal, dengan cara penurunan (*differential*) dari persamaan (2.45). maka:

$$\frac{\partial F(V)}{\partial V_k} = 0 \text{ untuk } k = 1, 2, \dots, N_n \quad (28)$$

Dalam penulisan nodal, maka nodal yang nilainya akan dicari ditulis dahulu, kemudian nodal yang terletak pada kondisi batas (nodal pada konduktor).

$$\frac{\partial F(V)}{\partial V_k} = \frac{\partial}{\partial [V_r]_k} [\mathbf{V}_f^T \mathbf{V}_p^T] \begin{bmatrix} S_{ff} & S_{fp} \\ S_{pf} & S_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_f \\ V_p \end{bmatrix} = 0$$

Simbol f merupakan penulisan pada nodal yang nilainya akan dicari. Sedangkan simbol p merupakan simbol nodal pada potensial dan *ground* yang sudah ditentukan. Simbol p pada elemen matriks kotak \mathbf{S} ditetapkan

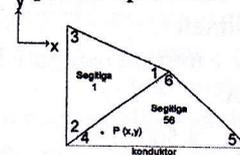
$$[S_{ff} \quad S_{fp}] \begin{bmatrix} V_f \\ V_p \end{bmatrix} = 0 \quad (29)$$

Persamaan 2.50 dapat juga dinyatakan sebagai:

$$S_{ff} V_f = -S_{fp} V_p \quad (30)$$

Persamaan ini digunakan untuk mencari potensial listrik pada setiap nodal.

Contoh Perhitungan potensial listrik yang merupakan nilai pada tiap nodal



Gambar 2.7 penggabungan 2 buah elemen (segitiga 1 dan segitiga 56).

Gambar 2.7 merupakan segitiga 1-2-3 (segitiga 1) dan segitiga 4-5-6 (segitiga 56). Pada gambar 2.7 nodal 1 dan 6 terletak di koordinat (-9,3, -5,3), nodal 2 dan 4 terletak di koordinat (-10, -6), nodal 3 terletak di koordinat (-10, -5), dan nodal 5 terletak di koordinat (-8,9, -6). Dengan menggunakan persamaan 2.24 maka \mathbf{S} ($S_{11} - S_{66}$) memiliki nilai tertentu yang dapat dilihat pada hasil persamaan matriks 2.27 berikut:

$$= \begin{bmatrix} 0,7143 + 0,78571 & -0,214 - 0,285 & -0,5 & -0,5 \\ -0,214 - 0,285 & 0,414 + 0,422 & -0,2 & -0,1364 \\ -0,5 & -0,2 & 0,7 & 0 \\ -0,5 & -0,1364 & 0 & 0,6364 \end{bmatrix}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.30 dan dengan menggunakan aturan nodal *free* (nodal yang akan ditentukan) dan nodal *prescribe* (nodal pada konduktor) maka akan diperoleh nilai potensial listrik pada setiap nodal (titik).

Konstruksi Tiang Listrik

Dalam makalah ini dilakukan beberapa percobaan untuk menganalisis kuat medan listrik dan potensial listrik. Analisis dilakukan pada konstruksi tiang listrik buku *Chas T. Main International, Inc.* yang diaplikasikan pada beberapa jenis konstruksi. Konstruksi tiang listrik yang diaplikasikan yaitu konstruksi tiang listrik C1, C1-A, C2-1, C9, C10, SC1-1, dan SC-1.

Skala PDE toolbox dan Pengaruhnya Terhadap Satuan Medan Listrik

Konstruksi tiang listrik dalam makalah ini digambarkan sesuai dengan ukuran pada buku *Chas T. Main International, Inc.* Ukuran isolator pada jurnal “*Numerical Study on Electric Field and Potential Distributions Due to Effects of Water Drop on Outdoor Insulator Surface*” memiliki ukuran sebenarnya yaitu 100 mm menempati 100 unit skala pada PDE toolbox. . Inti dari skala PDE toolbox ini, yaitu jika ukuran sebenarnya yang digunakan dalam skala memiliki satuan dalam milimeter (mm), maka akan didapatkan kuat medan listrik sebesar 1 kV/m. Oleh karena itu, skala yang digunakan pada makalah ini merupakan ukuran sebenarnya dengan satuan milimeter.

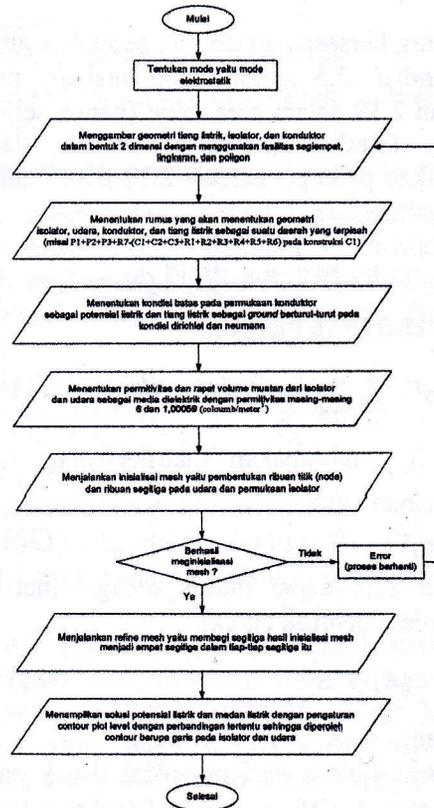
Sehingga jika 1 mm menempati 1 unit skala PDE toolbox maka:

$$\frac{E_{sebenarnya}}{E_{PDEtoolbox}} = \frac{4.500}{4.500} = \frac{1}{1}$$

Jika 100 mm menempati 1 unit skala pada PDE toolbox maka :

$$\frac{E_{sebenarnya}}{E_{PDEtoolbox}} = \frac{4.500}{450.000} = \frac{1}{100}$$

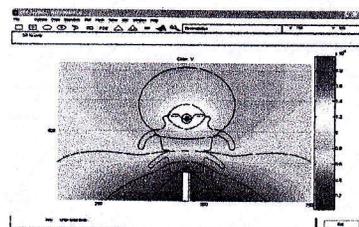
Tahapan Simulasi Berdasarkan FEM



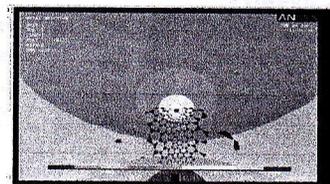
Gambar 3.1 Diagram metodologi analisis pemetaan medan listrik pada permukaan isolator

Validasi Potensial Listrik

Dalam membuktikan hasil program MATLAB 7.0.1, telah dilakukan percobaan pada program ANSYS 9.0, kemudian dibandingkan pula dengan jurnal ITB.



Gambar 3.2 Solusi potensial listrik pada MATLAB 7.0.1 isolator posisi tengah dengan contour plot level 0 : 2.222 : 20.000



Gambar 3.3 Solusi potensial listrik ANSYS 9.0 isolator posisi tengah dari listrik dengan contour plot level 0 : 2.2000

Dari perbandingan potensial listrik pada MATLAB dan ANSYS didapatkan tabel berikut:

Tabel 3.1 Potensial listrik pada MATLAB dan ANSYS (jarak dalam mm)

Potensial listrik contour ke-	MATLAB Jarak dari kond. posisi kiri ke kiri	MATLAB Jarak dari kond. posisi tengah ke atas	ANSYS Jarak dari Kond. posisi kiri ke kiri	ANSYS Jarak dari Kond. posisi tengah ke atas
6 (8.000 V)	27	27	25	30
7 (6.000 V)	83	83	70	140
8 (4.000 V)	250	> 1000	120	600
9 (2.000 V)	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000
10 (0 V)	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000

Dari perbandingan potensial listrik pada percobaan dan jurnal dengan MATLAB didapatkan tabel berikut:

Tabel 3.2 Perbandingan potensial listrik tegangan 11.500 V pada jurnal dan hasil percobaan.

Nilai potensial listrik (V)	Daerah potensial listrik pada jurnal ITB ditinjau dari konduktor	Daerah potensial listrik pada hasil percobaan ditinjau dari konduktor
10.000 – 11.500	0-25 mm arah atas	0-30 mm arah atas
8.000 – 10.000	25-100 mm arah atas	30-100 mm arah atas
6.000 – 8.000	75-150 mm arah kiri	80-250 mm arah kiri
4.000 – 6.000	0-150 mm arah bawah	0-120 mm arah bawah
2.000 – 4.000	150-200 mm arah bawah	120-140 mm arah bawah
0 – 2.000	200-250 mm arah bawah	140-165 mm arah bawah

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Setelah mengetahui distribusi medan listrik tersebut, didapatkan medan listrik disekitar konduktor, isolator, dan tiang listrik sebagai tumpuan isolator mempunyai kuat medan listrik yang berbeda-beda sesuai dengan konstruksi tiang listrik.

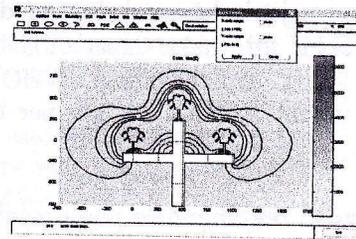
Dalam menganalisis medan listrik dan potensial listrik pada makalah ini, digunakan warna dan *contour*. *Contour* medan listrik dan potensial listrik yang pertama, ke-2, ke-3, dan

seterusnya, diurutkan dari *contour* yang paling dekat dengan konduktor.

Medan Listrik Pada Konstruksi Tiang Listrik C1-A dan C1

Konstruksi tiang listrik C1-A dan C1 memiliki tata letak yang mirip. Oleh karena itu kedua jenis konstruksi ini dikelompokkan sehingga mempermudah menganalisis gambar.

Berikut ini merupakan gambar serta tabel medan .listrik pada konstruksi C1-A dan C-1



Gambar 4.1 Penyebaran medan listrik pada konstruksi tiang listrik C1-A dengan contour plot level 0 : 5 : 25

Tabel 4.1 Medan listrik pada konstruksi tiang listrik C1-A

Con to ur ke-	Jarak dari konduktor posisi tengah ke atas	Jarak dari konduktor posisi kiri ke kiri	Jarak dari konduktor posisi kanan ke kanan	Jarak dari konduktor paling rendah ke bawah
1	0,1 m	0,2 m	0,2 m	0,3 m
2	0,11 m	0,25 m	0,25 m	0,35 m
3	0,15 m	0,3 m	0,3 m	0,4 m
4	0,2 m	0,4 m	0,4 m	0,45 m
5	0,3 m	0,7 m	0,7 m	0,5 m

Potensial Listrik dan Medan Listrik Pada Konstruksi Tiang Listrik C2-1 dan SC1-1

Konstruksi tiang listrik C2-1 memiliki tata letak yang berkebalikan dengan konstruksi tiang listrik SC1-1. Oleh karena itu kedua jenis konstruksi ini dikelompokkan sehingga mempermudah menganalisis gambar.

Berikut ini merupakan tabel medan .listrik pada konstruksi C2-1 dan SC1-1

Tabel 4.3 Medan listrik pada konstruksi tiang listrik C2-1

Con to ur ke-	Jarak dari konduktor posisi tengah ke atas	Jarak dari konduktor posisi kiri ke kiri	Jarak dari konduktor posisi kanan ke kanan	Jarak dari konduktor paling rendah ke bawah
1	0,1 m	0,2 m	0,2 m	0,3 m
2	0,11 m	0,25 m	0,25 m	0,35 m
3	0,15 m	0,3 m	0,3 m	0,4 m
4	0,25 m	0,4 m	0,4 m	0,45 m
5	0,4 m	0,7 m	0,7 m	0,5 m

Tabel 4.4 Medan listrik pada konstruksi tiang listrik SC1-1

Contour ke-	Jarak dari konduktor posisi tengah ke atas	Jarak dari konduktor posisi kiri ke kiri	Jarak dari konduktor posisi kanan ke kanan	Jarak dari konduktor paling rendah ke bawah
1	0,1 m	0,2 m	0,2 m	0,3 m
2	0,11 m	0,25 m	0,25 m	0,35 m
3	0,15 m	0,3 m	0,3 m	0,4 m
4	0,25 m	0,4 m	0,4 m	0,45 m
5	0,4 m	0,7 m	0,7 m	0,5 m

Jarak Rekomendasi WHO

Dari semua jenis konstruksi yang dibahas pada tugas akhir ini, maka dapat dibuat suatu tabel jarak yang diperbolehkan WHO pada masyarakat umum selama 24 jam per hari (5 kV/m).

Tabel 4.5 Jarak rekomendasi pada masing-masing jenis konstruksi

Jenis Konstruksi	Jarak yang diperbolehkan WHO pada masyarakat umum selama 24 jam per hari (5 kV/m)			
	Jarak dari konduktor posisi tengah ke atas	Jarak dari konduktor posisi kiri ke kiri	Jarak dari konduktor posisi kanan ke kanan	Jarak dari konduktor paling rendah ke bawah
C1-A	0,3 m	0,7 m	0,7 m	0,5 m
C1	0,3 m	0,7 m	0,7 m	0,5 m
C2-1	0,4 m	0,7 m	0,7 m	0,5 m
SC1-1	0,4 m	0,7 m	0,7 m	0,5 m
C9	0,55 m	0,7 m	0,7 m	0,5 m
C10	0,6 m	0,8 m	0,7 m	0,5 m
SC-1	0,25 m	1 m	1 m	1,75 m

KESIMPULAN

Dari analisa dan pembahasan pada makalah ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Pertama, perbandingan hasil pemetaan potensial listrik antara jurnal dengan hasil simulasi menggunakan MATLAB menunjukkan bahwa potensial listrik pada jurnal dan hasil percobaan sudah sesuai.

Kedua, perbandingan hasil simulasi antara MATLAB dengan ANSYS yang telah dilakukan pada konstruksi tiang listrik C1-A menunjukkan bahwa kedua jenis program menghasilkan potensial listrik dan medan listrik yang identik.

Ketiga, perubahan konstruksi tiang listrik pada isolator jenis pin berpengaruh terhadap nilai kuat medan listrik hanya pada arah dari konduktor posisi tengah ke atas.

Keempat, pada konstruksi tiang listrik yang menggunakan isolator jenis post memiliki kuat medan listrik yang lebih besar dari pada

konstruksi tiang listrik yang menggunakan isolator jenis pin jika ditinjau dari jarak yang sama.

DAFTAR RUJUKAN

- P.P. Silvester, R.L. Ferrari, *Finite Elements For Electrical Engineering*, Cambridge University Pres, 1990.
- Logan Darlyl L., *A First Course In The Finite Element Method*, PWS-KENT Publishing Company, Boston, 1992.
- Hayt William H., *Elektromagnetika Teknologi*, Penerbit Erlangga, 1989.
- Stasa Frank L., *Applied Finite Element Analysis For Engineers*, CBS Publishing Japan Ltd., 1985.
- Peng, Y., Ren, P.Z., Li, C., Peng, L. and Xuan, Z.P., *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.
- Dong, Y. F., Shan, X. W. and Yu, F. Z., *Simulation of Electric Field Distribution of Composite Insulator*, Proceedings of the XIVth International Symposium on High Voltage Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, pp.A.34.1-3, 2005.
- , *Insulator*, March 2007
<http://www.victoriainsulator.com>
- 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.
- Waluyo, Pakpahan M. Parouli, Suwarno, *Numerical Study on Electric Field and Potential Distributions due to Effects of Water Drop on Outdoor Insulator Surface*, School of Electrical Engineering and Informatics, ITB, Bandung.
- Boyl J. R., *Construction Standards Drawing*, Chas T. Main International, Inc., Boston Massachusetts, USA.