

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

**Safarul Azmi  
L2F 002 609**

**Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang**

**Abstrak**

*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. 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 besar, sehingga diperlukan suatu studi untuk memetakan medan listrik dan mengetahui pada jarak berapa meter masyarakat umum diperbolehkan berada pada medan listrik tersebut. Analisis untuk memetakan medan listrik pada tugas akhir ini yaitu dengan menggunakan Finite Element Method.*

*Dari hasil simulasi, maka dapat disimpulkan bahwa perubahan konstruksi tiang listrik pada isolator jenis pin berpengaruh terhadap nilai kuat medan listrik hanya pada arah dari konduktor posisi tengah ke atas. 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. Perbandingan hasil simulasi potensial listrik antara MATLAB dengan ANSYS yang telah dilakukan pada konstruksi tiang listrik C1-A menunjukkan bahwa kedua jenis program menghasilkan medan listrik yang identik.*

*Kata kunci : Medan listrik, Finite Element Method, dan Saluran Udara Tegangan Menengah*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

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.

### 1.2 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk memetakan medan listrik pada isolator jenis pin dan jenis post jaringan 20 kV dan udara disekitarnya, sehingga dapat diketahui penyebaran medan listrik pada isolator dan udara dengan menggunakan Finite Element Method (FEM).

### 1.3 Pembatasan Masalah

Agar penyusunan Tugas Akhir tidak menyimpang dari pokok permasalahan maka Tugas Akhir ini hanya akan membahas masalah-masalah sebagai berikut :

1. Isolator yang dianalisis yaitu isolator jenis pin 20 kV dengan nomor katalog 0304, standard ANSI C29.6 dan Isolator jenis post 20 kV dengan nomor katalog 62155, standard ANSI C57-12 pada keadaan tidak terkontaminasi.
2. Konstruksi tiang listrik yang diaplikasikan yaitu konstruksi tiang listrik C1, C1-A, C2-1, C9, C10, SC1-1, dan SC-1.
3. Analisis dibantu dengan menggunakan program MATLAB 7.0.1 dan ANSYS 9.0 sebagai program pembandingan.

## II. DASAR TEORI

### 2.1 Metode Elemen Hingga

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

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

#### 2.1.1 Sejarah Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (FEM) dimulai dari kebutuhan akan penyelesaian masalah elastisitas yang kompleks, masalah analisis struktural pada teknik sipil dan teknik ilmu penerbangan. Pengembangannya dilakukan dari suatu pekerjaan yang pertama kali dilakukan oleh Alexander Hrennikoff (1941) dibidang analisis struktur dan Richard Courant (1942). Sementara pendekatan yang digunakan oleh kedua pelopor ini berbeda, mereka membagi suatu karakteristik penting yaitu diskretisasi (*discretization*) dari daerah (*domain*) yang berlanjut kedalam satu set sub-domain yang terpisah. Hrennikoff mengerjakan pemisahan domain dengan menggunakan analogi kisi-kisi (*grid*), sementara pendekatan Courant dengan membagi domain kedalam sub-domain segitiga yang terhingga untuk solusi persamaan parsial diferensial (PDE).

Solusi masalah teknik elektro menggunakan metode elemen hingga diperkenalkan pada tahun 1960. Sedangkan aplikasinya dimulai pada tahun 1965.

#### 2.1.2 Diskretisasi

Elemen adalah kumpulan titik (nodal) yang saling terhubung. Sedangkan kumpulan nodal dan elemen didefinisikan sebagai mesh. Proses pembentukan mesh ini disebut diskretisasi atau metode pemisahan (*discretization*). Diskretisasi adalah proses pembentukan suatu benda/body dengan memisahkannya kedalam sebuah sistem yang ekuivalen dari bagian terkecil atau unit (elemen) yang saling berhubungan antar nodal



$$-\nabla \cdot (\epsilon_0 \epsilon_r \nabla V) = -\nabla \cdot (\epsilon \nabla V) = \rho_v$$

atau

$$\nabla \cdot \nabla V = -\frac{\rho_v}{\epsilon} \quad \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

**E** : intensitas medan listrik (volt/meter)

**V** : potensial listrik (volt)

**D** : kerapatan fluks listrik (coloumb/meter<sup>2</sup>)

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

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \mathbf{a}_x + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \mathbf{a}_y + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \mathbf{a}_z = -\frac{\rho_v}{\epsilon} \dots (2.13)$$

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

$$\nabla^2 V = 0 \quad \dots \dots \dots (2.14)$$

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

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \mathbf{a}_x + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \mathbf{a}_y + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \mathbf{a}_z = 0 \quad \dots (2.15)$$

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.

### 2.4.1 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:

$$W = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \iint_s \left[ \left( \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right] ds \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan :

$W_E$  : energi pada medan elektostatik

$s$  : daerah yang akan didiskretisasi (domain)

$\epsilon_r$  : permitivitas relatif

$\epsilon_0$  : permitivitas ruang hampa =  $8,854 \times 10^{-12}$  (farad/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 :

$$W = \sum_{e=1}^{Ne} \iint_{Ae} \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \left[ \left( \frac{\partial V_e}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V_e}{\partial y} \right)^2 \right] ds \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan :

$e$  : elemen segitiga

$Ne$  : jumlah total elemen segitiga

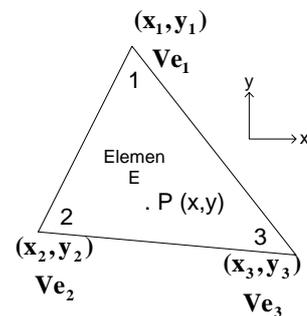
$Ae$  : daerah elemen  $e$  yang fungsinya diintegrasikan

### 2.4.2 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:

$$V = a + bx + cy \quad \dots \dots \dots (2.18)$$



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 :

$$V = \sum_{i=1}^3 V_i \alpha_i(x, y) \quad \dots \dots \dots (2.19)$$

Keterangan  $u_i$  adalah

$$\frac{1}{2A_e} \{ (x_2 y_3 + x_3 y_2) + (y_2 - y_3)x + (x_3 - x_2)y \} \quad \dots \dots \dots (2.20)$$

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:

$$W_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 V_i \int \nabla \alpha_i \nabla \alpha_j ds V_j \quad \dots \dots \dots (2.21)$$

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

$$S_{i,j} = \int \nabla \alpha_i \nabla \alpha_j ds \quad \dots \dots \dots (2.22)$$

Persamaan 2.21 dapat ditulis sebagai matriks kuadrat dalam bentuk energi:

$$W_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{V}^T \mathbf{S} \mathbf{V} \quad \dots \dots \dots (2.23)$$

Keterangan:

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

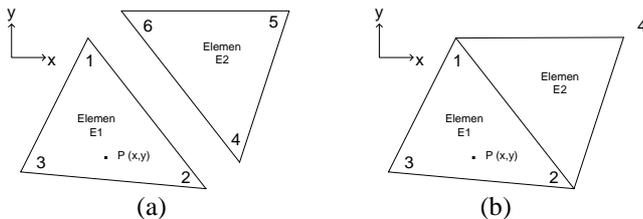
T = transpose matriks V

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

$$\frac{1}{4A} \left\{ (y_2 - y_3)(y_3 - y_1) + (x_3 - x_2)(x_1 - x_3) \right\} \dots \dots \dots (2.24)$$

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

**2.4.3 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:

$$W = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{V}_{con}^T \mathbf{S} \mathbf{V}_{con} \dots \dots \dots (2.25)$$

dengan

$$\mathbf{S} = \mathbf{C}^T \mathbf{S}_{dis} \mathbf{C} \dots \dots \dots (2.26)$$

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

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_{11}^{(1)} + S_{66}^{(2)} & S_{12}^{(1)} + S_{64}^{(2)} & S_{13}^{(1)} & S_{65}^{(2)} \\ S_{21}^{(1)} + S_{46}^{(2)} & S_{22}^{(1)} + S_{44}^{(2)} & S_{23}^{(1)} & S_{45}^{(2)} \\ S_{31}^{(1)} & S_{32}^{(1)} & S_{33}^{(1)} & 0 \\ S_{56}^{(2)} & S_{54}^{(2)} & 0 & S_{55}^{(2)} \end{bmatrix} \dots (2.27)$$

**2.4.4 Solusi Potensial Listrik**

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

$$\frac{\partial F(V)}{\partial V_k} = 0 \text{ untuk } k = 1, 2, \dots N_n \dots \dots \dots (2.28)$$

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

$$\frac{\partial F(V)}{\partial V_k} = \frac{\partial}{\partial [\mathbf{V}_f]_k} \left[ \mathbf{V}_f^T \mathbf{V}_p^T \right] \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{ff} & \mathbf{S}_{fp} \\ \mathbf{S}_{pf} & \mathbf{S}_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_f \\ \mathbf{V}_p \end{bmatrix} = 0$$

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 S ditetapkan

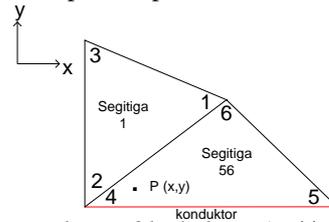
$$\left[ \mathbf{S}_{ff} \quad \mathbf{S}_{fp} \right] \begin{bmatrix} \mathbf{V}_f \\ \mathbf{V}_p \end{bmatrix} = 0 \dots \dots \dots (2.29)$$

Persamaan 2.50 dapat juga dinyatakan sebagai:

$$\mathbf{S}_{ff} \mathbf{V}_f = -\mathbf{S}_{fp} \mathbf{V}_p \dots \dots \dots (2.30)$$

Persamaan ini digunakan untuk mencari potensial listrik pada setiap nodal.

Contoh Perhitungan potensial listrik yang menetapkan 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 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)

**III. Perancangan Simulasi**

**3.3 Konstruksi Tiang Listrik**

Dalam tugas akhir 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.

**3.2 Skala PDE toolbox dan Pengaruhnya Terhadap Satuan Medan Listrik**

Konstruksi tiang listrik dalam tugas akhir 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 tugas akhir ini merupakan ukuran sebenarnya dengan satuan milimeter.

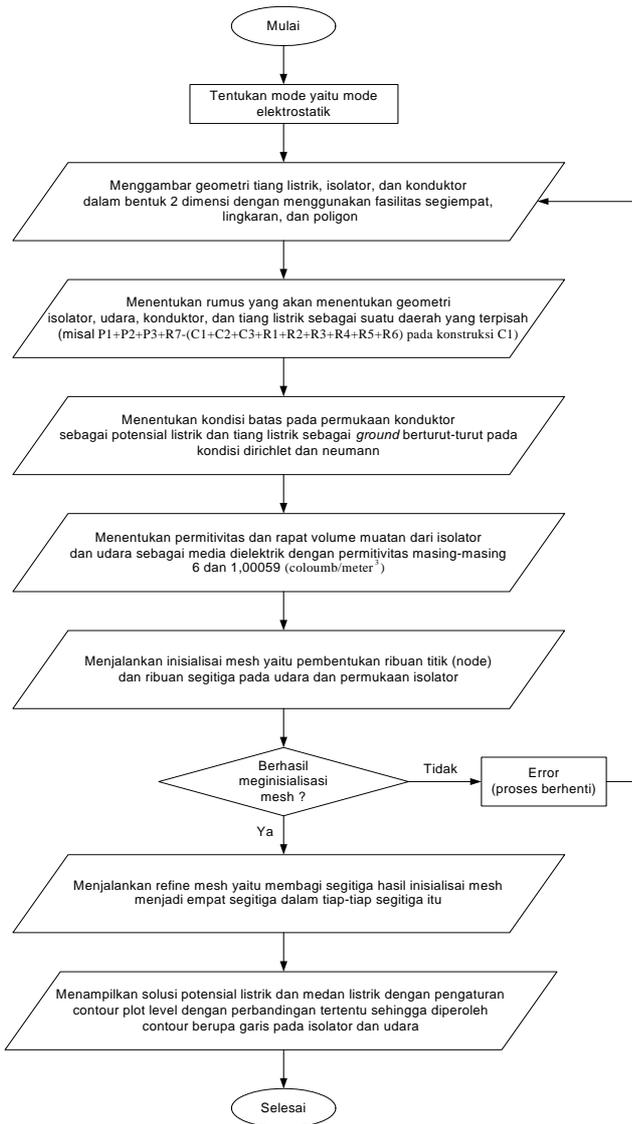
Sehingga jika 1 mm menempati 1 unit skala PDE toolbox maka:

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

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

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

### 3.3 Tahapan Simulasi Berdasarkan FEM



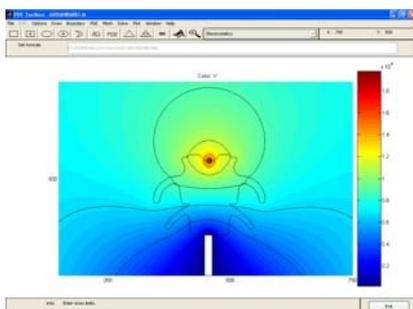
Gambar 3.1 Diagram metodologi analisis pemetaan medan listrik pada permukaan isolator

### 3.4 Validasi Hasil Simulasi

Validasi bertujuan untuk membenarkan atau memastikan hasil solusi pada tiap-tiap konstruksi yang dilakukan memiliki nilai intensitas medan listrik yang sudah sesuai.

#### 3.4.1 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 10 : 2.222 : 20.000



Gambar 3.3 Solusi potensial listrik pada ANSYS 9.0 isolator posisi tengah dari tiang listrik dengan contour plot level 10 : 2.222 : 20.000

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

Tabel 3.1 Potensial listrik pada MATLAB dan ANSYS

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

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

## IV. Analisis dan Hasil Program

Bab IV membahas analisis distribusi medan listrik dan distribusi potensial listrik disekitar isolator dan udara yang melingkupinya. 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.

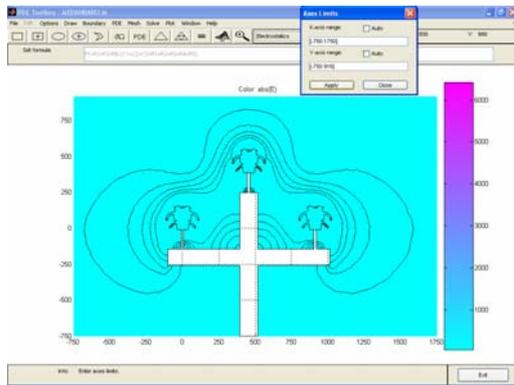
Dalam menganalisis medan listrik dan potensial listrik pada tugas akhir ini, digunakan warna dan *contour*.

Contour medan listrik dan potensial listrik yang pertama, ke-2, ke-3, dan seterusnya, diurutkan dari *contour* yang paling dekat dengan konduktor.

#### 4.1 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.

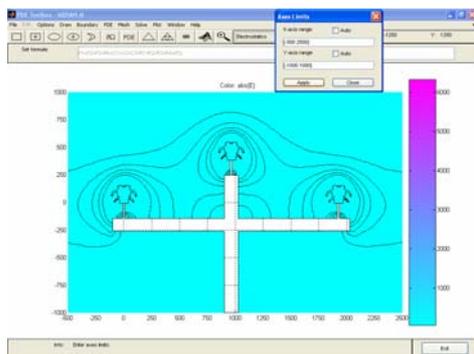
Berikut ini merupakan gambar serta tabel medan listrik pada konstruksi C1-A dan C-1



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

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	0,2 m	0,4 m	0,4 m	0,45 m
5	0,3 m	0,7 m	0,7 m	0,5 m



Gambar 4.2 Penyebaran medan listrik pada konstruksi tiang listrik C1 dengan contour plot level 0 : 5 : 25

Tabel 4.2 Medan listrik pada konstruksi tiang listrik C1

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	0,2 m	0,4 m	0,4 m	0,45 m
5	0,3 m	0,7 m	0,7 m	0,5 m

#### 4.2 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

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

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

#### 4.3 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

### V. Penutup

#### 5.1 Kesimpulan

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

1. Perbandingan hasil pemetaan potensial listrik antara jurnal dengan hasil simulasi menggunakan MATLAB menunjukkan bahwa potensial listrik pada jurnal dan hasil percobaan sudah sesuai.
2. 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.

3. Perubahan konstruksi tiang listrik pada isolator jenis pin berpengaruh terhadap nilai kuat medan listrik hanya pada arah dari konduktor posisi tengah ke atas.
4. 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.

## 5.2 Saran

Untuk keperluan pengembangan tugas akhir ini, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Untuk menghasilkan gambar yang sangat halus diperlukan RAM dan VGA pada komputer dengan spesifikasi yang lebih tinggi sehingga nodal dan segitiga yang dihasilkan lebih banyak.
2. Elemen yang digunakan dalam Tugas Akhir ini dapat diganti dengan elemen kotak (segi empat).
3. Untuk penelitian lebih lanjut, *Finite Element Method* (FEM) dapat menganalisis medan magnet pada motor induksi.

### Daftar Pustaka

- [1] P.P. Silvester, R.L. Ferrari, *Finite Elements For Electrical Engineering*, Cambridge University Pres, 1990.
- [2] Logan Darlyl L., *A First Course In The Finite Element Method*, PWS-KENT Publishing Company, Boston, 1992.
- [3] Hayt William H., *Elektromagnetika Teknologi*, Penerbit Erlangga, 1989.
- [4] Stasa Frank L., *Applied Finite Element Analysis For Engineers*, CBS Publishing Japan Ltd., 1985.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] ---, <http://www.victoriainsulator.com/>, March 2007
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Boyl J. R., *Construction Standards Drawing*, Chas T. Main International, Inc., Boston Massachusetts, USA.



**Safarul Azmi**

Mahasiswa tingkat akhir Teknik Elektro Universitas Diponegoro dengan konsentrasi Sistem Tenaga.

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET  
NIP. 131 668 485

M. Facta, ST. MT  
NIP. 132 231 134