

MEDAN LISTRIK DAN MEDAN MAGNET DI SEKITAR KONDUKTOR

Supurwoko

Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan PMIPA FKIP Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36 A Kington Surakarta 57126

Abstrak

Konduktor merupakan bahan yang mudah menghantarkan listrik karena mengandung muatan – muatan bebas. Muatan – muatan bebas inilah yang membedakan konduktor dengan bahan – bahan lain apabila berada dalam medan listrik dan medan magnet. Karena itulah dalam penelitian ini diselidiki karakteristik medan listrik dan magnet di sekitar konduktor.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa kajian teori yang disertai dengan perhitungan numerik baik untuk fungsi maupun untuk deret tak hingga sebagai akibat dari penyelesaian persamaan diferensial yang berlaku. Adapun konduktor yang digunakan mempunyai bentuk lempeng, bola dan susunan beberapa lempeng konduktor. Dari penelitian diperoleh hasil sebagai berikut : (1) Keberadaan konduktor yang berbentuk lempeng dan berbentuk bola yang ditanahkan di dekat muatan listrik bentuk titik memberikan sumbangan yang signifikan terhadap medan listrik di dekat konduktor, (2) Pada susunan lempeng konduktor I, medan listrik E nilainya ditentukan oleh jaraknya relatif terhadap potensial V_0 kecuali pada titik – titik di dekat konduktor, (3) Pada susunan lempeng konduktor II, medan listrik E mempunyai bentuk grafik yang simetris terhadap bidang tengahnya. Sedangkan didekat potensial V_1 arahnya selalu tegak lurus dengan lempeng dengan potensial V_1 , (4) Pada susunan lempeng konduktor III, medan listrik E mempunyai bentuk grafik yang simetris terhadap bidang tengahnya. Sedangkan besarnya berbanding terbalik dengan jarak relatif terhadap lempeng dengan potensial V_0 , dan (5) Medan (gelombang) elektromagnetik yang melewati konduktor akan mengalami penurunan besar (nilai) medan listrik dan medan magnet berbanding terbalik dengan fungsi eksponensial jarak relatif terhadap permukaan konduktor.

PENDAHULUAN

Konduktor merupakan bahan utama yang ada di alam, penamaannya didasarkan pada sifat muatan listrik yang terkandung didalamnya. Muatan listrik dalam konduktor yang berupa elektron mudah bergerak bebas jika ada medan elektrostatik sekecil apapun yang mempengaruhinya. Hal inilah yang menentukan sifat medan listrik di sekitar konduktor. Dengan memahami sifat medan listrik di sekitar konduktor diharapkan dapat dibuat berbagai perangkat yang bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Sifat – sifat kelistrikan konduktor secara umum dapat dijelaskan dengan persamaan Maxwell yang dilengkapi dengan penetapan syarat batas. Hasil yang diperoleh sering kali berupa rumusan yang kompleks atau dalam bentuk deret yang sulit dipahami seketika. Oleh karena itu akan dibuat visualisasi sifat kelistrikan bahan tersebut dengan menggunakan komputer.

Penelitian ini merupakan langkah awal untuk membuat software yang melukiskan keadaan medan listrik dan medan magnet disekitar sembarang (bentuk maupun bahannya) konduktor. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah gambaran awal berupa grafik yang melukiskan medan listrik dan medan magnet di sekitar konduktor dengan bentuk dan susunan tertentu.

Berbagai model telah dibuat untuk menjelaskan sifat konduktor maupun dielektrik

diantaranya dengan menggunakan *resistor mesh models*, pemodelan aliran daya dan lain – lain. Ini menunjukkan begitu pentingnya pemahaman tentang sifat – sifat kelistrikan dan kemagnetan bahan – bahan konduktor.

Untuk memahami sifat kelistrikan dan kemagnetan konduktor dapat digunakan persamaan Maxwell sebagai berikut :

$$1. \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho_t}{\epsilon_0}$$

$$2. \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$3. \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$4. \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 J_f + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Dengan menerapkan persamaan

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} V$$

Persamaan Maxwell 1 menghasilkan

$$\nabla^2 V = -\frac{\rho_t}{\epsilon_0} \text{ yang disebut persamaan}$$

Poisson. Jika diterapkan pada ruang yang tidak mengandung muatan listrik diperoleh persamaan Laplace

$$\nabla^2 V = 0$$

Persamaan – persamaan tersebut diterapkan bersama dengan syarat batas bahan akan dihasilkan penyelesaian yang diharapkan.

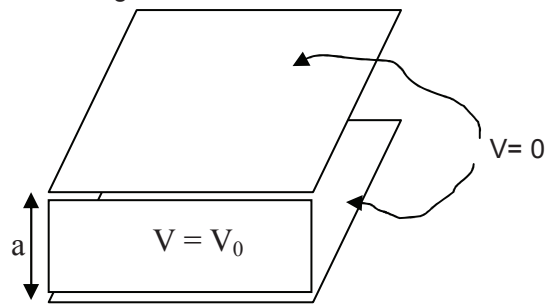
METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa kajian teori yang disertai dengan perhitungan numerik baik untuk fungsi maupun untuk deret tak hingga sebagai akibat dari penyelesaian persamaan diferensial yang berlaku.

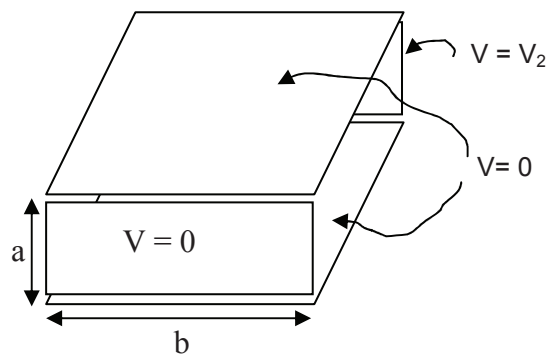
Obyek Uji

Obyek uji dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

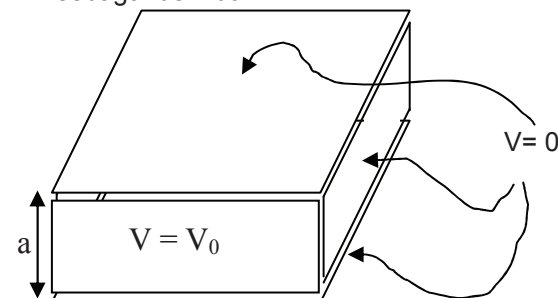
1. Muatan titik di dekat lempeng semi takhingga yang ditanahkan.
2. mianan titik di dekat bola konduktor pejal yang ditanahkan
3. Lempeng konduktor I dengan susunan sebagai berikut



4. Lempeng konduktor II dengan susunan sebagai berikut



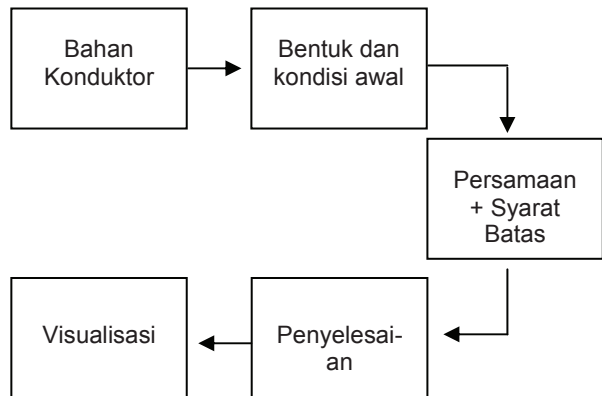
5. Lempeng konduktor III dengan susunan sebagai berikut



6. Gelombang elektromagnetik yang merambat masuk konduktor.

Cara Melakukan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan dapat dilukiskan dalam Gambar 1.



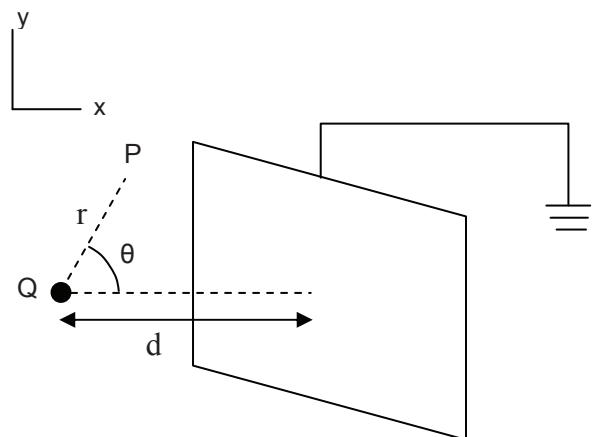
Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Langkah awal yang yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menetapkan bentuk konduktor yang akan diselidiki sifat kelistrikannya. Bahan tersebut secara simulasi diletakkan dalam medan yang diketahui besar maupun arahnya. Pada keadaan ini dilakukan proses dengan menerapkan persamaan dan syarat batas yang berlaku, lalu hasilnya dihitung dengan menggunakan visual – basic di Excell untuk dibuat visualisasinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. muatan titik di dekat lempeng konduktor yang ditanahkan



Medan listrik di titik P untuk sistem seperti ini dalam koordinat polar hasilnya adalah

$$E_r = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r^2} - \frac{r-2d\cos\theta}{r^3} \right)$$

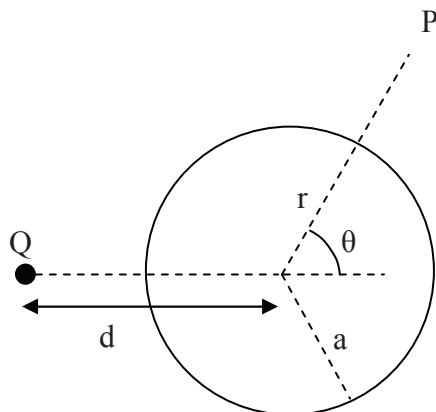
$$E_\theta = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{2d\sin\theta}{r^3}$$

dengan

$$r' = \sqrt{r^2 + 4d^2 - 4rd\cos\theta}$$

Grafik yang telah dibuat oleh penulis menunjukkan bahwa :a) Efek konduktor akan nampak pada jarak yang tidak terlalu dekat dengan titik muatan. b) Nilai medan listrik E di dekat konduktor ditentukan oleh nilai E_x yaitu nilai medan listrik yang arahnya tegak lurus permukaan.

2. muatan titik di dekat bola konduktor pejal yang di tanahkan.



Medan listrik di titik P untuk sistem seperti ini dalam koordinat polar hasilnya adalah

$$E_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q}{r_3^3} (r + d\cos\theta) - \frac{(a/d)Q}{r_4^3} \left(r + \frac{a^2}{d} \cos\theta \right) \right)$$

$$E_\theta = \frac{Qd\sin\theta}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_3^3} - \frac{1}{r_4^3} \left(\frac{a}{d} \right)^3 \right)$$

dengan

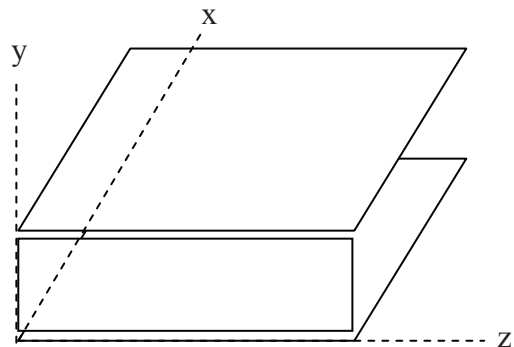
$$r_3 = \sqrt{r^2 + d^2 - 2rd\cos\theta}$$

$$r_4 = \sqrt{\left(\frac{a}{d} \right)^2 + r^2 - 2 \frac{a^2}{d} r \cos\theta}$$

Grafik yang telah dibuat oleh penulis menunjukkan bahwa : a) pada titik – titik yang jauh dari konduktor, keberadaan konduktor hanya mengubah arah medan listrik. Sedangkan untuk titik – titik yang berada dekat konduktor nilai medan listriknya dipengaruhi secara signifikan oleh keberadaan konduktor. b) nilai medan listrik di dekat konduktor ditentukan oleh nilai E_r yaitu medan listrik arah tegak lurus permukaan konduktor.

3. Susunan lempeng konduktor I

Susunan lempeng konduktor I digambarkan dalam koordinat kartesian adalah sebagai berikut



Medan listrik di dalam ruang di antara lempeng konduktor dituliskan sebagai

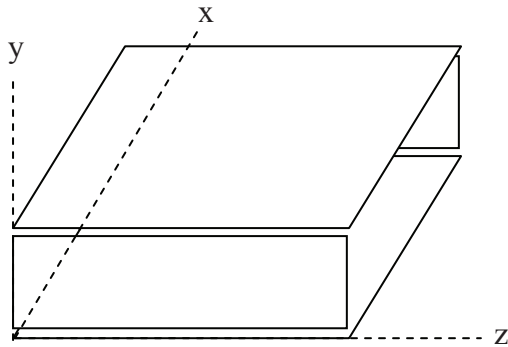
$$E_x = \frac{4V_0}{a} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} e^{-\frac{n\pi}{a}x} \sin \frac{n\pi}{a} y$$

$$E_x = -\frac{4V_0}{a} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} e^{-\frac{n\pi}{a}x} \cos \frac{n\pi}{a} y$$

Grafik yang telah dibuat oleh penulis menunjukkan bahwa : 1) di dekat lempeng konduktor yang potensialnya V_0 medan listrik E_x hanya ditentukan oleh E_x saja, hal ini berarti arahnya sejajar dengan arah sumbu x 2) Pada daerah yang jauh dari lempeng V_0 , nilai E praktis ditentukan oleh nilai E_x sedangkan medan listrik E_y hanya memberi sumbangan pada arahnya saja. 3) di dekat lempeng konduktor dengan potensial 0, medan listrik E hanya ditentukan oleh E_y saja, hal ini berarti arah medan listriknya sejajar dengan arah sumbu y.

4. Susunan lempeng konduktor II

Susunan lempeng konduktor II digambarkan dalam koordinat kartesian adalah sebagai berikut



Medan listrik di dalam ruang di antara lempeng konduktor untuk nilai $a = b = \pi$ dituliskan sebagai

$$E_x = -\frac{4V_2}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{\cosh nx}{\sinh n\pi} \sin ny$$

$$E_y = -\frac{4V_2}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{\sinh nx}{\sinh n\pi} \cos ny$$

Medan listrik di dalam ruang di antara lempeng konduktor dituliskan sebagai

$$E_x = \frac{16V_0}{\pi^2} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{\sqrt{\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2}}{nm} e^{-\sqrt{\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2} x} \sin\left(\frac{n\pi}{a} y\right) \sin\left(\frac{m\pi}{b} z\right)$$

$$E_y = -\frac{16V_0}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{m} e^{-\sqrt{\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2} x} \cos\left(\frac{n\pi}{a} y\right) \sin\left(\frac{m\pi}{b} z\right)$$

$$E_z = -\frac{16V_0}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-\sqrt{\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2} x} \sin\left(\frac{n\pi}{a} y\right) \cos\left(\frac{m\pi}{b} z\right)$$

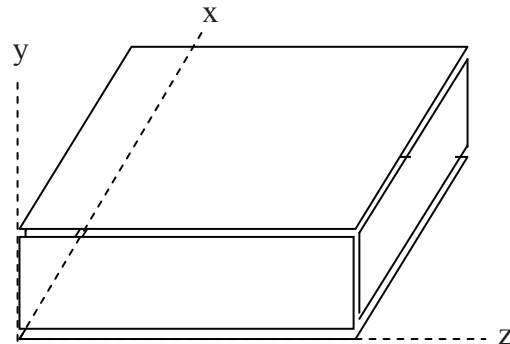
Grafik yang telah dibuat oleh penulis menunjukkan bahwa : 1) medan listriknya simetri terhadap $y = \pi / 2$ atau $z = \pi / 2$. 2) Pada daerah dekat konduktor nilainya E hanya tergantung pada nilai E_x saja, hal ini berarti arahnya sejajar dengan arah sumbu x.

6. Gelombang elektromagnetik yang merambat masuk konduktor.

Grafik yang telah dibuat oleh penulis menunjukkan bahwa : 1) di dekat lempeng konduktor yang potensialnya V_1 atau lempeng konduktor yang potensialnya V_2 , medan listrik E hanya ditentukan oleh E_x saja, hal ini berarti arahnya sejajar dengan arah sumbu x. 2) Pada daerah $y = \pi / 2$, nilai medan listriknya tetap tetapi arahnya ditentukan oleh nilai E_x dan E_y . 3) di dekat lempeng konduktor dengan potensial 0, medan listrik E hanya ditentukan oleh E_y saja, hal ini berarti arah medan listriknya sejajar dengan arah sumbu y.

5. Susunan lempeng konduktor III

Susunan lempeng konduktor III digambarkan dalam koordinat kartesian adalah sebagai berikut



Gelombang elektromagnetik dalam konduktor diperoleh dengan menggunakan persamaan Maxwell. Penggabungan persamaan Maxwell menghasilkan persamaan gelombang

$$\nabla^2 \vec{B} = \mu \epsilon \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Menghasilkan penyelesaian dalam bentuk

$$\tilde{E}(x,t) = \tilde{E}_0 e^{-K_- x} e^{i(K_+ x - \omega t)}$$

$$\tilde{B}(x,t) = \tilde{B}_0 e^{-K_- x} e^{i(K_+ x - \omega t)}$$

Hal ini berarti, bahwa amplitudo medan listrik dan medan magnet semakin menurun ketika semakin masuk dalam konduktor.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Keberadaan konduktor yang berbentuk lempeng dan berbentuk bola yang ditanahkan di dekat muatan listrik bentuk titik memberikan sumbangan yang signifikan terhadap medan listrik di dekat konduktor.
2. Pada susunan lempeng konduktor I, medan listrik E nilainya ditentukan oleh jaraknya relatif terhadap potensial V_0 kecuali pada titik – titik di dekat konduktor.
3. Pada susunan lempeng konduktor II, medan listrik E mempunyai bentuk grafik yang simetris terhadap bidang tengahnya. Sedangkan didekat potensial V_1 arahnya selalu tegak lurus dengan lempeng dengan potensial V_1 .

4. Pada susunan lempeng konduktor III, medan listrik E mempunyai bentuk grafik yang simetris terhadap bidang tengahnya. Sedangkan besarnya berbanding terbalik dengan jarak relatif terhadap lempeng dengan potensial V_0 .
5. Medan (gelombang) elektromagnetik yang melewati konduktor akan mengalami penurunan besar (nilai) medan listrik dan medan magnet berbanding terbalik dengan fungsi eksponensial jarak relatif terhadap permukaan konduktor.

DAFTAR PUSTAKA

- Franceries, X., dkk., 2003, Solution Of Poisson's equation in a volum conductor using resistor mesh models : Aplication to event related imaging, Journal of Applied Physics, Vol 93 (6), pp. 3578 – 3588, USA.
- Markus Zahn, 1987, Electromagnetic Field Theory, Robert E. Krieger Publising Company, Florida.
- Wangsness, R.K., 1986, Electromagnetic Fields, John Wiley & Sons, Singapore.