

PENGEMBANGAN SIMULASI KOMPUTER POLARISASI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK *OPEN SOURCE*

Christian Nathaniel Lerrick, Madlazim

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya dan
jlc.lerrick@gmail.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan simulasi komputer polarisasi gelombang elektromagnetik menggunakan *open source Easy Java Simulations* dan menganalisis validitas simulasi komputer polarisasi gelombang elektromagnetik menggunakan *open source Easy Java Simulations*. Metode penelitian ini adalah model ADDIE (Analisis, Desain, Development, Implementasi, dan Evaluasi). Tahap analisis menggambarkan proses yang dibutuhkan dalam mengembangkan simulasi komputer gelombang elektromagnetik serta bentuk dasar dari tahap-tahap selanjutnya. Tahap desain melibatkan besaran-besaran fisis dan item-item validasi dalam merancang simulasi polarisasi gelombang elektromagnetik. Tahap pengembangan menjelaskan tentang pembuatan simulasi polarisasi gelombang elektromagnetik serta diagram alir (*flowchart*). Tahap implementasi berhubungan dengan ujicoba terhadap hasil dari penelitian melalui validasi. Tahap evaluasi berhubungan dengan analisa seluruh tahap sebelumnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil simulasi berupa gambar polarisasi linear dan polarisasi lingkaran sudah valid dengan membandingkannya terhadap gambar polarisasi linear dan polarisasi lingkaran dari berbagai referensi.

Kata Kunci: simulasi komputer, polarisasi, gelombang elektromagnetik, *Easy Java Simulations*, ADDIE.

Abstract

The purpose of this research was to develop a computer simulation of electromagnetic wave polarization using open source Easy Java Simulations and computer simulations to analyze the validity of the polarization of electromagnetic waves using open source Easy Java Simulations. This research method is ADDIE model (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation). Analysis phase describes the process needed to develop a computer simulation of electromagnetic waves and form the basis of later stages. The design stage involves physical quantities and items in designing simulation validation polarization of electromagnetic waves. Describes the development stage of making the simulation of electromagnetic wave polarization and the flowchart. Relating to the implementation stage trials on the results of research through validation. Evaluation phase associated with all phases of analysis previously. The results showed that the simulation results in the form of linear polarization and polarization images circumference is valid by comparing it to the linear polarization image and a polarization circumference of the various references.

Keywords: computer simulation, polarization, electromagnetic wave, Easy Java Simulations, ADDIE.

PENDAHULUAN

Pada penelitian ini, diperoleh rumusan masalah sebagai berikut yaitu bagaimana pengembangan simulasi komputer polarisasi gelombang elektromagnetik menggunakan *open source Easy Java Simulations* serta bagaimana validitas simulasi komputer polarisasi gelombang elektromagnetik menggunakan *open source Easy Java Simulations*.

Gelombang elektromagnetik disimulasikan dengan *Easy Java Simulations* dalam bentuk bahasa pemrograman Java yang termasuk dalam perangkat lunak *open source*. Perangkat lunak *open source* merupakan perangkat lunak komputer yang kode sumber dan lisensi sudah tersedia sehingga dapat dipelajari, diubah maupun

didistribusikan untuk berbagai keperluan termasuk penelitian. Simulasi divalidasi untuk menentukan apakah simulasi komputer gelombang elektromagnetik dengan menggunakan perangkat lunak *open source* beserta implementasinya adalah valid atau tidak valid. Berdasarkan perbandingan antara gambar simulasi polarisasi linear dan lingkaran dari berbagai narasumber dengan hasil gambar simulasi polarisasi linear dan lingkaran yang diperoleh, validasi dari simulasi polarisasi gelombang elektromagnetik dapat ditentukan.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut yaitu mengembangkan simulasi komputer polarisasi gelombang elektromagnetik menggunakan *open source Easy Java Simulations* serta menganalisis validitas

simulasi komputer polarisasi gelombang elektromagnetik menggunakan *open source Easy Java Simulations*.

Gelombang elektromagnetik merupakan suatu gelombang transversal berjalan yang terdiri atas perpaduan medan listrik dan medan magnet (Halliday, 2011:2). Medan listrik dan medan magnet masing-masing memiliki persamaan gelombang dalam bentuk sebagai berikut (Sears, 2008:2):

$$\mathbf{E}_{(x,t)} = \hat{j}E_{\max} \cos(kx - \omega t) \quad (1)$$

$$\mathbf{B}_{(x,t)} = \hat{k}B_{\max} \cos(kx - \omega t) \quad (2)$$

Simulasi komputer adalah upaya untuk model kehidupan nyata atau situasi hipotesis pada komputer sehingga dapat dipelajari untuk melihat bagaimana sistem bekerja. Adapun polarisasi (pengutuban) merupakan proses penyerapan gelombang oleh polaroid. Polaroid adalah bahan atau zat yang dapat membentuk maupun menyerap cahaya dengan arah getar ke segala arah menjadi hanya satu arah (Purwanto, 2007:2). Pada polarisasi linear dapat dijelaskan melalui dua persamaan yang saling tegak lurus sebagai berikut (Hecht, 2002:2):

$$\mathbf{E}_x(z,t) = \hat{i}E_{0x} \cos(kz - \omega t) \quad (3)$$

$$\text{dan } \mathbf{E}_y(z,t) = \hat{j}E_{0y} \cos(kz - \omega t + \varepsilon) \quad (4)$$

Apabila ε bernilai nol atau sebuah bilangan bulat berkelipatan $+2\pi$ maka gelombang dikatakan dalam keadaan fase yang sama sehingga diperoleh persamaan polarisasi linear

$$\mathbf{E} = (\hat{i}E_{0x} + \hat{j}E_{0y}) \cos(kz - \omega t) \quad (5)$$

Apabila ε bernilai bilangan bulat ganjil berkelipatan $+\pi$ maka kedua gelombang sekarang 180° keluar dari fase dan persamaannya menjadi sebagai berikut:

$$\mathbf{E} = (\hat{i}E_{0x} - \hat{j}E_{0y}) \cos(kz - \omega t) \quad (6)$$

Pada polarisasi lingkaran terjadi fenomena yang berbeda (Hecht, 2002:2). Ketika kedua gelombang memiliki amplitudo yang sama ($E_{0x} = E_{0y} = E_0$) serta perbedaan fase relatif $\varepsilon = -\pi/2 + 2m\pi$, dimana $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Dengan kata lain, ε dapat bernilai $-\pi/2$ atau nilai lain sebesar $-\pi/2$ yang dijumlahkan maupun dikurangi dengan semua nilai berkelipatan 2π . Berdasarkan persamaan berikut:

$$\mathbf{E}_x(z,t) = \hat{i}E_0 \cos(kz - \omega t) \quad (7)$$

$$\text{dan } \mathbf{E}_y(z,t) = \hat{j}E_0 \sin(kz - \omega t) \quad (8)$$

Gelombang yang terbentuk memiliki persamaan berikut:

$$\mathbf{E} = E_0 [\hat{i} \cos(kz - \omega t) + \hat{j} \sin(kz - \omega t)] \quad (9)$$

Pada waktu tertentu, $t = kz_0/\omega$, $\mathbf{E}_x = \hat{i}E_0$, $\mathbf{E}_y = 0$, dan $\mathbf{E}$ berada disepanjang sumbu x. Hasil resultan vektor medan listrik ($\mathbf{E}$) berputar searah jarum jam dengan kecepatan sudut ω seperti terlihat oleh pengamat dari depan gelombang yang berjalan. Gelombang seperti ini dikatakan terpolarisasi lingkaran ke kanan. Apabila $\varepsilon =$

$\pi/2, 5\pi/2, 9\pi/2$ dan seterusnya (yakni $\varepsilon = \pi/2 + 2m\pi$ dimana $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$) maka

$$\mathbf{E} = E_0 [\hat{i} \cos(kz - \omega t) - \hat{j} \sin(kz - \omega t)] \quad (10)$$

Berdasarkan persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa pada amplitudo tidak terjadi perubahan namun $\mathbf{E}$ sekarang berputar berlawanan arah jarum jam sehingga gelombang seperti ini dikatakan terpolarisasi lingkaran ke kiri.

Easy Java Simulations merupakan suatu program (*Java Code Generator*) yang digunakan khusus untuk membuat simulasi yang menarik dalam bahasa *Java* (Esquembre, 2009:2). *Easy Java Simulations* memiliki beberapa alat-alat program sehingga memudahkan penggunaan perintah dan penulisan algoritma (Esquembre, 2005:2), misalnya *EJS (Easy Java Simulations)* memungkinkan untuk menyelesaikan sistem kompleks persamaan differential lebih mudah dengan menggunakan teknik *multitasking* bagi programmer. *Easy Java Simulations* terdiri atas dua bagian yaitu *EJS console* dan *EJS interface*. The *EJS console* adalah pintu masuk untuk menjalankan *EJS*. The *console* digunakan untuk memulai *EJS* dan untuk menjalankan proses yang membutuhkan lebih dari satu *EJS*. Pada antarmuka pengguna (*EJS Interface*) terdiri atas bagian-bagian yang berbeda dengan beberapa penjelasan. Taksbar di sebelah kanan menyediakan sekumpulan ikon berfungsi dalam menunjukkan panel informasi untuk mensimulasikan, menghapus, membuka, dan menyimpan sebuah file, mencari kode, mengkonfigurasi *EJS*, dan menampilkan bantuan mengenai *EJS*. Selanjutnya, Model *ADDIE* merupakan suatu kerangka dari berbagai proses umum yang digunakan ahli desain instruktur dan pengembang latihan untuk membuat materi kursus instruksional (http://en.wikipedia.org/wiki/ADDIE_Model). Model *ADDIE* pertama kali dikembangkan oleh Royce pada tahun 1970 dan terdiri atas 5 fase, yaitu (<http://www.trainingindustry.com/wiki/entries/addie-model.aspx>):

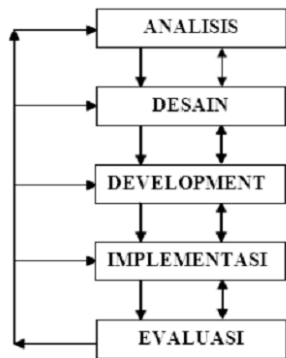
1. Analisis
2. Desain
3. Pengembangan
4. Implementasi
5. Evaluasi

METODE

Model *ADDIE* merupakan suatu kerangka dari berbagai proses umum yang digunakan ahli desain instruktur dan pengembang latihan. Model *ADDIE* yang akan digunakan dalam mengembangkan simulasi gelombang elektromagnetik terdiri atas 5 fase, yaitu:

1. Analisis
2. Desain
3. Pengembangan

4. Implementasi
5. Evaluasi



Gambar 1. ADDIE (Biech, 2008:3)

Pada gambar 3.1.terdapat penjelasan hubungan antara kelima fase dalam model ADDIE yaitu analisis, desain, pengembangan, implementasi dan evaluasi yang digambarkan melalui gambar anak panah. Pada gambar anak panah dengan satu arah dari analisis mengarah ke desain menjelaskan tentang urutan proses tahap analisis menuju ke tahap desain . Hal ini berlaku juga untuk tahap-tahap berikutnya pada model ADDIE yaitu gambar anak panah dengan satu arah dari desain ke pengembangan yang menjelaskan tentang urutan proses tahap desain menuju ke tahap pengembangan dan tahap-tahap berikutnya. Pada gambar anak panah dengan dua arah dari analisis mengarah ke desain dan juga sebaliknya menjelaskan hubungan timbal balik antara analisis dan desain.Tahap analisis merupakan gambaran singkat sebelum memasuki tahap desain dan pada tahap desain berisi juga ringkasan awal dari tahap analisis mengenai persiapan yang dilakukan dalam tahap ini. Hal ini juga berlaku untuk tahap-tahap berikutnya pada model ADDIE yang memiliki hubungan timbal balik.

Pada gambar anak panah dengan satu arah dari evaluasi mengarah ke masing-masing empat tahap lainnya yaitu analisis, desain, pengembangan, dan implementasi menjelaskan bahwa tahap analisis dievaluasi kembali sebelum masuk ke tahap desain dan tahap desain juga dievaluasi kembali sebelum masuk ke tahap pengembangan.Hal ini berlaku juga untuk tahap-tahap selanjutnya. Berikut merupakan tahap-tahap pada model ADDIE yang terlibat dalam proses pengembangan simulasi komputer polarisasi gelombang elektromagnetik(<http://raleighway.com/addie/>):

1. Analisis

Tahap analisis menggambarkan proses yang dibutuhkan dalam mengembangkan simulasi komputer gelombang elektromagnetik serta bentuk dasar dari tahap-tahap selanjutnya. Pada tahap analisis, permasalahan dalam membuat simulasi komputer gelombang elektromagnetik ditentukan serta pemecahannya yang mungkin dalam

menyelesaikan permasalahan dijelaskan secara singkat (<http://www.learning-theories.com/addie-model.html>).Pada konten terdapat penjelasan mengenai polarisasi gelombang elektromagnetik yaitu polarisasi linear dan lingkak.

2. Desain

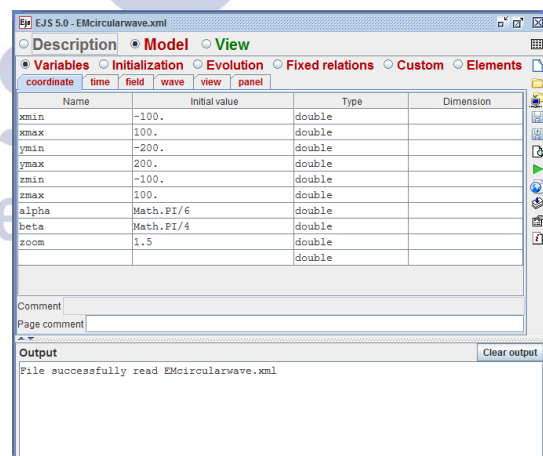
Tahap desain melibatkan besaran-besaran fisis yang terkait dalam polarisasi gelombang elektromagnetik dan item-item validasi dalam merancang simulasi polarisasi gelombang elektromagnetik serta persamaan yang membentuk medan listrik dan medan magnet untuk menjadi kesatuan gelombang.

3. Pengembangan

Tahap pengembangan menjelaskan tentang pembuatan simulasi polarisasi gelombang elektromagnetik serta diagram alir (*flowchart*) yang menggambarkan tentang proses pembuatan simulasi polarisasi melalui perangkat lunak *Easy Java Simulations*. Proses pembuatan simulasi komputer gelombang elektromagnetik menggunakan *Easy Java Simulations (EJS)* dilakukan melalui beberapa tahapan.

Pada halaman antar muka untuk *Introduction* terdapat deskripsi mengenai simulasi yang dijelaskan melalui beberapa paragraf yang berisi definisi-definisi maupun persamaan gelombang elektromagnetik.

Pada halaman sub panel variables di panel model, bagian ini berisi tentang variabel-variabel maupun besaran-besaran fisis yang digunakan untuk membentuk gelombang elektromagnetik. Variabel-variabel maupun besaran-besaran fisis dapat berupa posisi atau jarak (x_{min} , x_{max} , y_{min} , y_{max} dan seterusnya), waktu (t), kecepatan (v_y), medan listrik (E_x , E_z), medan magnet (B_x , B_z) dan seterusnya.



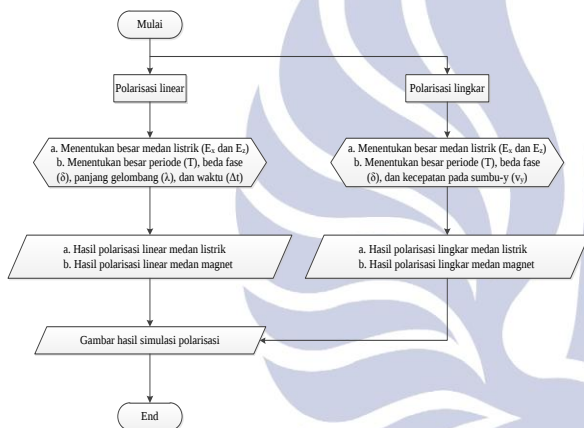
Gambar 2.The EJS Model-Variables

Pada halaman sub panel initialization di panel model merupakan nilai awal yang digunakan dalam model. Nilai awal dituliskan berupa program dalam bahasa *Java*. Pada halaman sub panel evolution pada panel model merupakan *Ordinary Differential Equations (ODE)* berisi

persamaan yang berubah terhadap waktu. Dalam hal ini, hanya terdapat satu persamaan yaitu $t = dt$ pada simulasi yang digunakan. Pada halaman sub panel fixed relations di panel model menjelaskan persamaan yang menyatakan hubungan antar variabel. Pada halaman sub panel custom di panel model berfungsi untuk membuat metode dalam bagian lain dari model dan view.

Pada halaman antar muka panel view merupakan suatu alat menggambar, mendesain dari gejala alam dan plot datanya. Panel view terdiri atas dua bagian yaitu bingkai kiri (*Tree of Elements*) dan bingkai kanan (*Elements for View*) (Madlazim, 2007:4). Properti tiap elements yang terletak pada bingkai kanan (*Elements for View*) dapat dihubungkan dengan subpanel variables pada panel model. Hal ini menciptakan hubungan dua arah yang membuat simulasi mendekati kenyataan pada gejala polarisasi gelombang elektromagnetik.

Berikut diagram alir (*flowchart*) dalam proses pembuatan simulasi.



Gambar 3. Diagram alir (*flowchart*) pembuatan simulasi

4. Implementasi

Tahap implementasi berhubungan dengan ujicoba terhadap hasil dari penelitian melalui validasi mengenai kejelasan dan kebenaran dari hasil simulasi dengan cara membandingkannya terhadap hasil simulasi dari sumber yang sudah ada berupa gambar dari hasil simulasi.

5. Evaluasi

Tahap evaluasi berhubungan dengan analisa seluruh tahap sebelumnya dari tahap analisis hingga implementasi.

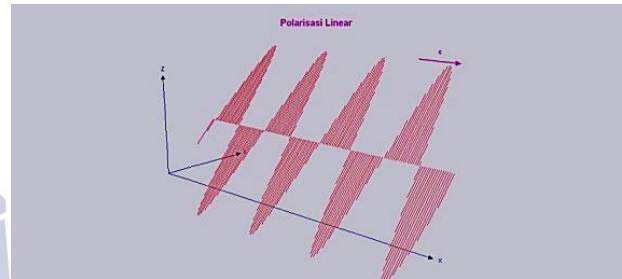
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil yang didapatkan melalui pengembangan simulasi komputer polarisasi gelombang elektromagnetik dengan menggunakan perangkat lunak *Easy Java Simulations* adalah gambar simulasi pada polarisasi linear dan polarisasi lingkaran (<http://www.phy.ntnu.edu.tw/>). Pada polarisasi linear diperoleh empat gambar simulasi yaitu polarisasi linear medan listrik pada kuadran pertama

dan ketiga, polarisasi linear medan listrik pada kuadran kedua dan keempat, polarisasi linear medan magnet pada kuadran pertama dan ketiga, dan polarisasi linear medan magnet pada kuadran kedua dan keempat. Berikut merupakan gambar dari masing – masing polarisasi linear:

1. Polarisasi linear medan listrik pada kuadran pertama dan ketiga



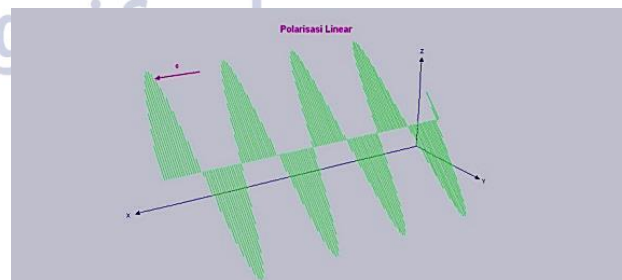
Gambar 4. Polarisasi linear medan listrik pada kuadran pertama dan ketiga

Pada polarisasi linear medan listrik pada kuadran pertama dan ketiga besaran – besaran fisis yang digunakan sebagai nilai awal (input), yaitu sebagai berikut:

- Medan listrik dalam arah sumbu-y (E_y) = 10 skala
- Medan listrik dalam arah sumbu-z (E_z) = 10 skala
- Beda fase (δ) = 0
- Panjang gelombang (λ) = 10 skala
- Tahapan animasi (Δt) = 0,1 frame per sekon

Dengan menggunakan nilai-nilai input di atas, didapatkan hasil output berupa gelombang transversal medan listrik (E) yang memiliki amplitudo sebesar $10\sqrt{2}$ skala serta merambat dengan kelajuan sebesar c pada arah sumbu-x positif. Arah getaran pada gelombang medan listrik (E) adalah sebesar 45° terhadap sumbu-y positif (kuadran I) dan 225° terhadap sumbu-y positif (kuadran III) seperti pada gambar 4.

2. Polarisasi linear medan listrik pada kuadran kedua dan keempat



Gambar 5. Polarisasi linear medan listrik pada kuadran kedua dan keempat

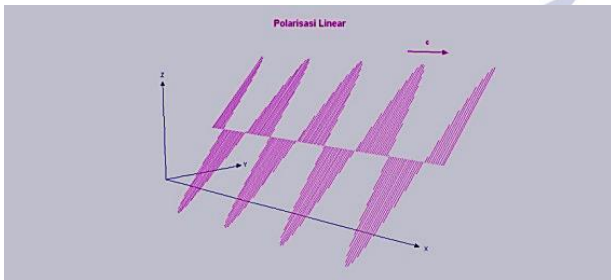
Pada polarisasi linear medan listrik pada kuadran kedua dan keempat besaran – besaran fisis yang digunakan sebagai nilai awal (input), yaitu sebagai berikut:

- Medan listrik dalam arah sumbu-y (E_y) = 10 skala

- b) Medan listrik dalam arah sumbu-z (E_z) = 10 skala
- c) Beda fase (δ) = 0
- d) Panjang gelombang (λ) = 10 skala
- e) Tahapan animasi (Δt) = 0,1 frame per sekon

Dengan menggunakan nilai-nilai input di atas, didapatkan hasil output berupa gelombang transversal medan listrik (E) yang memiliki amplitudo sebesar $10\sqrt{2}$ skala serta merambat dengan kelajuan sebesar c pada arah sumbu-x positif. Arah getaran pada gelombang medan listrik (E) adalah sebesar 135° terhadap sumbu-y positif (kuadran II) dan 315° terhadap sumbu-y positif (kuadran IV) seperti pada gambar 5.

3. Polarisasi linear medan magnet pada kuadran pertama dan ketiga



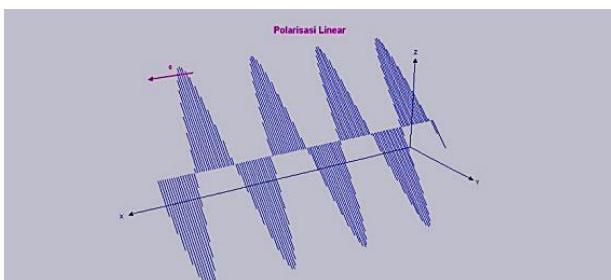
Gambar 6. Polarisasi linear medan magnet pada kuadran pertama dan ketiga

Pada polarisasi linear medan magnet pada kuadran pertama dan ketiga besaran – besaran fisis yang digunakan sebagai nilai awal (input), yaitu sebagai berikut:

- a) Medan listrik dalam arah sumbu-y (E_y) = 10 skala
- b) Medan listrik dalam arah sumbu-z (E_z) = 10 skala
- c) Beda fase (δ) = 0
- d) Panjang gelombang (λ) = 10 skala
- e) Tahapan animasi (Δt) = 0,1 frame per sekon

Dengan menggunakan nilai-nilai input di atas, didapatkan hasil output berupa gelombang transversal medan magnet (B) yang memiliki amplitudo sebesar $10\sqrt{2}$ skala serta merambat dengan kelajuan sebesar c pada arah sumbu-x positif. Arah getaran pada gelombang medan magnet (B) adalah sebesar 45° terhadap sumbu-y positif (kuadran I) dan 225° terhadap sumbu-y positif (kuadran III) seperti pada gambar 6.

4. Polarisasi linear medan magnet pada kuadran kedua dan keempat



Gambar 7. Polarisasi linear medan magnet pada kuadran kedua dan keempat

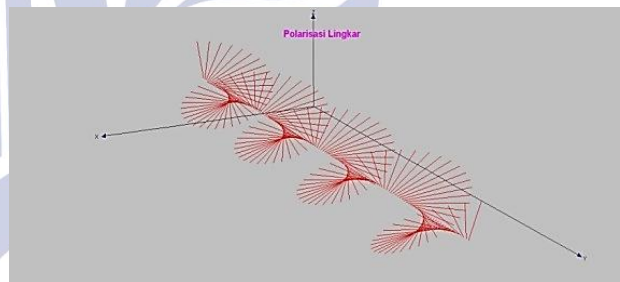
Pada polarisasi linear medan magnet pada kuadran kedua dan keempat besaran – besaran fisis yang digunakan sebagai nilai awal (input), yaitu sebagai berikut:

- a) Medan listrik dalam arah sumbu-y (E_y) = 10 skala
- b) Medan listrik dalam arah sumbu-z (E_z) = 10 skala
- c) Beda fase (δ) = 0
- d) Panjang gelombang (λ) = 10 skala
- e) Tahapan animasi (Δt) = 0,1 frame per sekon

Dengan menggunakan nilai-nilai input di atas, didapatkan hasil output berupa gelombang transversal medan magnet (B) yang memiliki amplitudo sebesar $10\sqrt{2}$ skala serta merambat dengan kelajuan sebesar c pada arah sumbu-x positif. Arah getaran pada gelombang medan magnet (B) adalah sebesar 135° terhadap sumbu-y positif (kuadran II) dan 315° terhadap sumbu-y positif (kuadran IV) seperti pada gambar 7.

Pada polarisasi lingkaran juga diperoleh empat gambar simulasi yaitu polarisasi lingkaran medan listrik ke kanan, polarisasi lingkaran medan listrik ke kiri, polarisasi lingkaran medan magnet ke kanan, dan polarisasi lingkaran medan magnet ke kiri. Berikut merupakan gambar dari masing – masing polarisasi lingkaran:

1. Polarisasi lingkaran medan listrik ke kanan



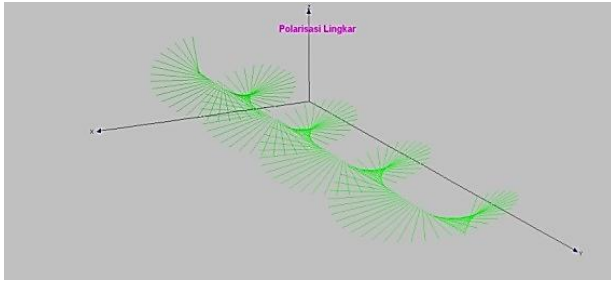
Gambar 8. Polarisasi lingkaran medan listrik ke kanan

Pada polarisasi lingkaran medan listrik ke kanan besaran – besaran fisis yang digunakan sebagai nilai awal (input), yaitu sebagai berikut:

- a) Medan listrik dalam arah sumbu-x (E_x) = 50 skala
- b) Medan listrik dalam arah sumbu-z (E_z) = 50 skala
- c) Beda fase (δ) = 1.6 rad
- d) Periode (T) = 5.0 skala
- e) Kecepatan gelombang pada sumbu-y (v_y) = 20 skala

Dengan menggunakan nilai-nilai input di atas, didapatkan hasil output berupa gelombang medan listrik (E) yang berputar searah jarum jam dengan amplitudo sebesar $50\sqrt{2}$ skala serta merambat dengan kelajuan sebesar v_y pada arah sumbu-y positif. Arah getaran pada gelombang medan listrik (E) yang berputar membentuk bidang lingkaran seperti pada gambar 8.

2. Polarisasi lingkaran medan listrik ke kiri



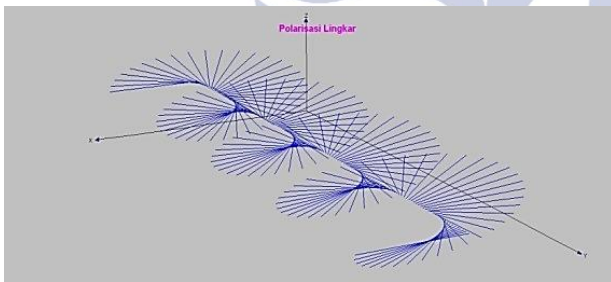
Gambar 9. Polarisasi lingkaran medan listrik ke kiri

Pada polarisasi lingkaran medan listrik ke kiri besaran – besaran fisis yang digunakan sebagai nilai awal (input), yaitu sebagai berikut:

- Medan listrik dalam arah sumbu-x (E_x) = 50 skala
- Medan listrik dalam arah sumbu-z (E_z) = 50 skala
- Beda fase (δ) = 1.6 rad
- Periode (T) = 5.0 skala
- Kecepatan gelombang pada sumbu-y (v_y) = 20 skala

Dengan menggunakan nilai-nilai input di atas, didapatkan hasil output berupa gelombang medan listrik (E) yang berputar berlawanan arah jarum jam dengan amplitudo sebesar $50\sqrt{2}$ skala serta merambat dengan kelajuan sebesar v_y pada arah sumbu-y positif. Arah getaran pada gelombang medan listrik (E) yang berputar membentuk bidang lingkaran seperti pada gambar 9.

3. Polarisasi lingkaran medan magnet ke kanan



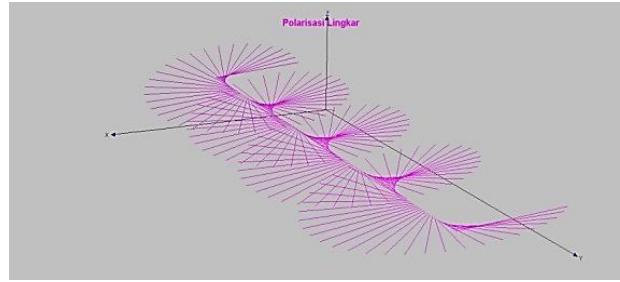
Gambar 10. Polarisasi lingkaran medan magnet ke kanan

Pada polarisasi lingkaran medan magnet ke kanan besaran – besaran fisis yang digunakan sebagai nilai awal (input), yaitu sebagai berikut:

- Medan listrik dalam arah sumbu-x (E_x) = 50 skala
- Medan listrik dalam arah sumbu-z (E_z) = 50 skala
- Beda fase (δ) = 1.6 rad
- Periode (T) = 5.0 skala
- Kecepatan gelombang pada sumbu-y (v_y) = 20 skala

Dengan menggunakan nilai-nilai input di atas, didapatkan hasil output berupa gelombang medan magnet (B) yang berputar searah jarum jam dengan amplitudo sebesar $50\sqrt{2}$ skala serta merambat dengan kelajuan sebesar v_y pada arah sumbu-y positif. Arah getaran pada gelombang medan magnet (B) yang berputar membentuk bidang lingkaran seperti pada gambar 10.

4. Polarisasi lingkaran medan magnet ke kiri



Gambar 11. Polarisasi lingkaran medan magnet ke kiri

Pada polarisasi lingkaran medan magnet ke kiri besaran – besaran fisis yang digunakan sebagai nilai awal (input), yaitu sebagai berikut:

- Medan listrik dalam arah sumbu-x (E_x) = 50 skala
- Medan listrik dalam arah sumbu-z (E_z) = 50 skala
- Beda fase (δ) = 1.6 rad
- Periode (T) = 5.0 skala
- Kecepatan gelombang pada sumbu-y (v_y) = 20 skala

Dengan menggunakan nilai-nilai input di atas, didapatkan hasil output berupa gelombang medan magnet (B) yang berputar berlawanan arah jarum jam dengan amplitudo sebesar $50\sqrt{2}$ skala serta merambat dengan kelajuan sebesar v_y pada arah sumbu-y positif. Arah getaran pada gelombang medan magnet (B) yang berputar membentuk bidang lingkaran seperti pada gambar 11.

Pembahasan

Pada polarisasi yang didapatkan dari berbagai referensi dan hasil pengembangan simulasi komputer polarisasi gelombang elektromagnetik dengan menggunakan perangkat lunak *open source* diperoleh gambar polarisasi linear dan polarisasi lingkaran yang sama. Tingkat kesamaan antara polarisasi yang didapatkan dari berbagai referensi dengan polarisasi dari hasil pengembangan simulasi komputer dapat dianalisis melalui arah dari medan listrik maupun medan magnet pada polarisasi linear dan polarisasi lingkaran. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi berupa gambar polarisasi linear dan polarisasi lingkaran sudah valid dengan membandingkannya terhadap gambar polarisasi linear dan polarisasi lingkaran dari berbagai referensi.

PENUTUP

Simpulan

Simpulan yang didapatkan melalui hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Polarisasi gelombang elektromagnetik telah berhasil dikembangkan dengan menggunakan perangkat lunak *open source Easy Java Simulations*.
- Validitas hasil pengembangan simulasi komputer polarisasi gelombang elektromagnetik dengan menggunakan perangkat lunak *open source Easy*

Java Simulations sudah valid. Hal ini dikarenakan hasil pengembangan simulasi komputer polarisasi gelombang elektromagnetik dengan menggunakan perangkat lunak *open source Easy Java Simulations* dibandingkan terhadap hasil polarisasi gelombang elektromagnetik dengan metode lain hampir sama.

Saran

Supaya hasil simulasi lebih baik lagi, maka tampilan gambar pada hasil simulasi polarisasi linear dan polarisasi lingkaran gelombang elektromagnetik diperbaiki menjadi lebih mudah diamati dan dianalisis melalui penyesuaian ukuran maupun warna hasil gambar simulasi polarisasi linear dan polarisasi lingkaran gelombang elektromagnetik pada perangkat lunak *open source Easy Java Simulations*. Dengan menggunakan *tools* yang ada pada panel view, maka gambar hasil simulasi polarisasi linear dan polarisasi lingkaran gelombang elektromagnetik pada perangkat lunak *open source Easy Java Simulations* dapat diubah sesuai dengan keperluan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Biech, Elaine. 2008. *Handbook for Workplace Learning Professionals*. ASTD.

Esquembre, F. 2005. *Easy Java Simulation The Manual* version 3.4.

Esquembre, F. 2009. <http://www.um.es/fem/EjsWiki/pmwiki.php?n=Main.HomePage>

Halliday, Resnick. 2011. *Fundamentals of Physics* 9th ed. John Wiley & Sons. Jefferson City, US.

Hecht, E. 2002. *Optics* 4th ed. Pearson Addison-Wesley. San Fransisco, US.

Madlazim. 2007. *Metode Praktis Mendesain Simulasi Fisika Interaktif*. UNESA University Press. Surabaya, Indonesia.

Purwanto, B. 2007. *Fisika Dasar Teori dan Implementasinya* 3. Tiga Serangkai. Solo, Indonesia.

Sears, Zemansky's. 2008. *University Physics with Modern Physics* 12th ed. Pearson Addison-Wesley. San Francisco, US.

http://en.wikipedia.org/wiki/ADDIE_Model

<http://raleighway.com/addie/>

<http://www.learning-theories.com/addie-model.html>

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/>

<http://www.trainingindustry.com/wiki/entries/addie-model.aspx>