



Simulasi Gelombang Elektromagnetik Pada *Waveguide* Menggunakan Metode *Finite Difference Time Domain* Untuk Aplikasi Radar

Teguh Puja Negara¹, Erniyati², Agus Ismangil³,

¹ Departemen Ilmu Komputer, FMIPA, Universitas Pakuan, Bogor, Indonesia

^{1,2,3}Departemen Fisika, FMIPA, Intitut Pertanian Bogor, Indonesia

e-mail : teguhpuja795@gmail.com

Abstrak— Electromagnetic wave simulation on waveguide has been carried out using the FDTD method. The electric field is reflected when it hits the dielectric rod and is transmitted over the canal. for metal rods, the electric field is blocked on the rod and dominant over the canal. The energy density transmitted at the end of the computational domain has been calculated and has different values according to the material used on the rod. These results can be applied to radar to detect objects using waves

Kata Kunci— FDTD, Elektromagnetik, Waveguide, Simulasi gelombang

I. PENDAHULUAN

K

omputasi elektromagnetik (CEM) telah berkembang pesat selama dekade terakhir untuk penyelesaian berbagai masalah elektromagnetik, termasuk hamburan penampang lintang radar, desain antena dan divais microwave. Secara umum, metode CEM yang umum digunakan saat ini dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori. Yang pertama didasarkan pada metode persamaan diferensial, seperti Finite Difference, sedangkan yang kedua didasarkan pada metode persamaan integral, yaitu Finite Element. Metode Finite Difference Time Domain (FDTD) adalah teknik simulasi numerik yang sangat berguna untuk menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan elektromagnetisme [1]. Metode FDTD, seperti yang pertama kali diusulkan oleh Yee pada tahun 1966 untuk menganalisa medan listrik-magnet [2]. Metode ini kemudian dikembangkan untuk permasalahan hamburan medan listrik-magnet, analisa antena, planar circuit, aplikasi penginderaan jarak jauh (*remote sensing*), aplikasi biomedis, dan lain-lain. Salah satu alasan metode ini banyak diterapkan adalah kemudahan untuk menganalisa permasalahan yang didasarkan persamaan integral yang sulit dipecahkan dengan menggunakan metode lain.

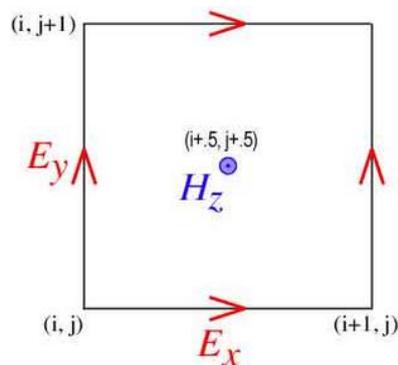
Metode FDTD dapat diterapkan pada struktur waveguide untuk melihat perambatan gelombang elektromagnetik pada stuktur dengan mempertimbangkan geometri dan bahan yang digunakan pada struktur waveguide [3]. Analisis dapat dilakukan untuk mengukur parameter dari gelombang setelah melewati struktur seperti densitas energi. Nilai densitas energi yang berubah

sesuai dengan material yang digunakan pada waveguide dapat digunakan pada aplikasi sensor dan radar untuk identifikasi material atau objek

II. LANDASAN TEORI

A. Metode FDTD

Finite Difference Time Domain (FDTD) adalah metode yang menggunakan pendekatan pada domain ruang dan waktu. Metode FDTD diperkenalkan pertama kali oleh Kane Yee pada tahun 1966 untuk menganalisis medan elektromagnet. Metoda ini sekarang banyak diterapkan sebagai metoda analisis yang utama. Salah satu alasan pemilihan metode ini adalah mudah untuk menganalisis permasalahan yang didasarkan pada persamaan integral yang sangat sulit dilakukan bila dipecahkan dengan Moment Method dan lain-lain. Selain itu untuk menggunakan metode ini tidak memerlukan dasar-dasar pengetahuan yang mendalam .



Gambar 1. Step FDTD dua dimensi

Untuk gelombang EM 2 dimensi, dikenal dua mode dari komponen medan listrik dan medan magnet, yaitu polarisasi TE dan polarisasi TM. Untuk medan magnet memiliki komponen pada arah sumbu-z, sedangkan medan listrik mempunyai komponen pada arah sumbu-x dan sumbu-y, maka disebut mode Transverse Electric (TE). Untuk medan listrik memiliki komponen pada arah sumbu-z, sedangkan medan magnet mempunyai komponen pada arah sumbu-x dan sumbu-y, maka disebut mode Transverse Magnetik (TM). Persamaan gelombang TE dapat ditulis [4]:

$$H_z^{n+\frac{1}{2}}\left(i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}\right) = H_z^{n-\frac{1}{2}}\left(i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}\right) - \frac{\Delta t}{\mu\left(i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}\right)} \left(\frac{1}{\Delta x} \left(E_y^n\left(i+1, j+\frac{1}{2}\right) - E_y^n\left(i, j+\frac{1}{2}\right) \right) - \frac{1}{\Delta y} \left(H_x^n\left(i+\frac{1}{2}, j+1\right) - H_x^n\left(i+\frac{1}{2}, j\right) \right) \right) \quad (1)$$

$$E_x^n\left(i+\frac{1}{2}, j\right) = \frac{\varepsilon\left(i+\frac{1}{2}, j\right)}{\varepsilon\left(i+\frac{1}{2}, j\right) + \sigma\left(i+\frac{1}{2}, j\right)\Delta t} E_y^{n-1}\left(i+\frac{1}{2}, j\right) - \frac{\Delta t}{\varepsilon\left(i+\frac{1}{2}, j\right) + \sigma\left(i+\frac{1}{2}, j\right)\Delta t} \frac{1}{\Delta y} \left(H_z^{n-\frac{1}{2}}\left(i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}\right) - H_z^{n-\frac{1}{2}}\left(i-\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}\right) \right) \quad (2)$$

$$E_y^n\left(i, j + \frac{1}{2}\right) = \frac{\varepsilon\left(i, j + \frac{1}{2}\right)}{\varepsilon\left(i, j + \frac{1}{2}\right) + \sigma\left(i, j + \frac{1}{2}\right)\Delta t} E_y^{n-1}\left(i, j + \frac{1}{2}\right) - \frac{\Delta t}{\varepsilon\left(i, j + \frac{1}{2}\right) + \sigma\left(i, j + \frac{1}{2}\right)\Delta t} \frac{1}{\Delta x} \left(H_z^{n-\frac{1}{2}}\left(i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}\right) - H_z^{n-\frac{1}{2}}\left(i - \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}\right) \right) \tag{3}$$

Metode FDTD pada dasarnya merupakan metode analisa wilayah tertutup seperti pada metode Finite Element. Bila metode FDTD ini digunakan untuk menyelesaikan persoalan terbuka, maka perlu dipasang batas serap (absorbing boundary) yang membungkus wilayah analisa secara khayal untuk menghindari timbulnya pantulan gelombang yang tidak diinginkan dari dinding wilayah analisa. Beberapa batas serap yang dapat digunakan misalnya Merewether [5], Engquist dan Madja [6], Mur [7], Lindman [8], Higdon, dan Berenger [9]. Diantara syarat batas serap ini, yang mempunyai keakuratan tertinggi adalah metode *Perfectly Matched Layer* (PML) yang diusulkan oleh Berenger. Metode ini selain dapat diterapkan pada FDTD, dapat pula diterapkan pada metode lain, seperti: metode *Finite Element* maupun *Discontinuous Galerkin*

Sumber gelombang input merupakan persamaan gelombang dalam domain waktu yang dapat ditulis sebagai persamaan gelombang berjalan (sinusoidal) [10], Persamaan gelombang sinusoidal dapat ditulis:

$$E(t) = E_0 \sin(\omega t) \tag{4}$$

Untuk menganalisis perubahan medan listrik terhadap perubahan material pada rod silinder, maka dapat dihitung jumlah energi di akhir kanal sebagai fungsi waktu, ditentukan oleh:

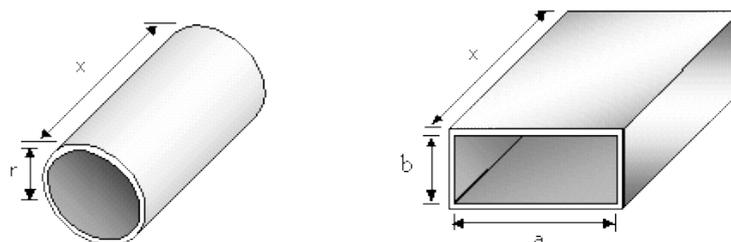
$$Q(t) = \int_0^h \varepsilon |E(t)|^2 dy \tag{5}$$

Dengan h adalah lebar kanal. Densitas energi dalam durasi waktu yang telah ditentukan dapat dihitung dengan:

$$W = \int_{t_0}^h Q(t) dt \tag{6}$$

B. Waveguide.

Waveguide adalah saluran tunggal yang berfungsi untuk menghantarkan gelombang elektromagnetik (*microwave*) dengan frekuensi 300 MHz – 300 GHz. Dalam kenyataannya, *waveguide* merupakan media transmisi yang berfungsi memandu gelombang pada arah tertentu. Secara umum *waveguide* dibagi menjadi tiga yaitu, yang pertama adalah *rectangular waveguide* (*waveguide* dengan penampang persegi) dan yang kedua adalah *circular waveguide* (*waveguide* dengan penampang lingkaran), dan *ellips waveguide* (*waveguide* dengan penampang ellipsis).

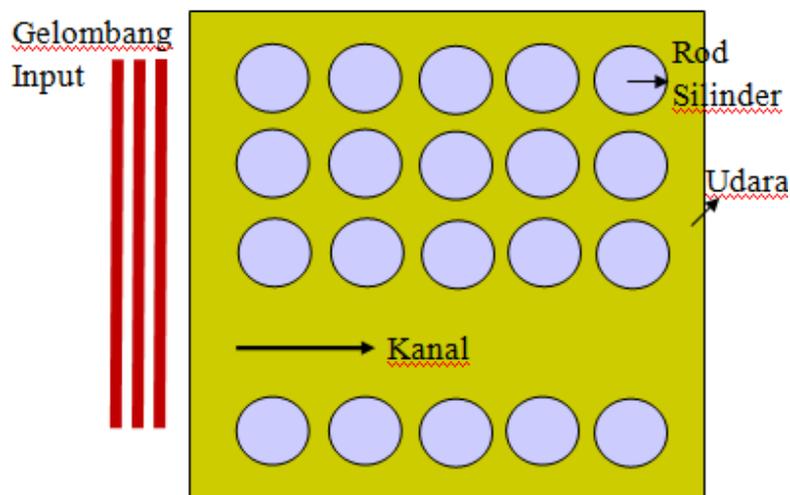


Gambar 2. *Circular waveguide* dan *Rectangular waveguide*

Geometri dari sebuah waveguide mencerminkan fungsinya. Slab waveguides membatasi energi dalam satu dimensi, fiber atau waveguides saluran dalam dua dimensi. Frekuensi gelombang yang ditransmisikan juga menentukan bentuk sebuah pandu gelombang: sebuah serat optik yang memandu cahaya berfrekuensi tinggi tidak akan memandu gelombang mikro frekuensi yang jauh lebih rendah. Beberapa struktur yang terjadi secara alami juga dapat berfungsi sebagai pandu gelombang.

III. METODE

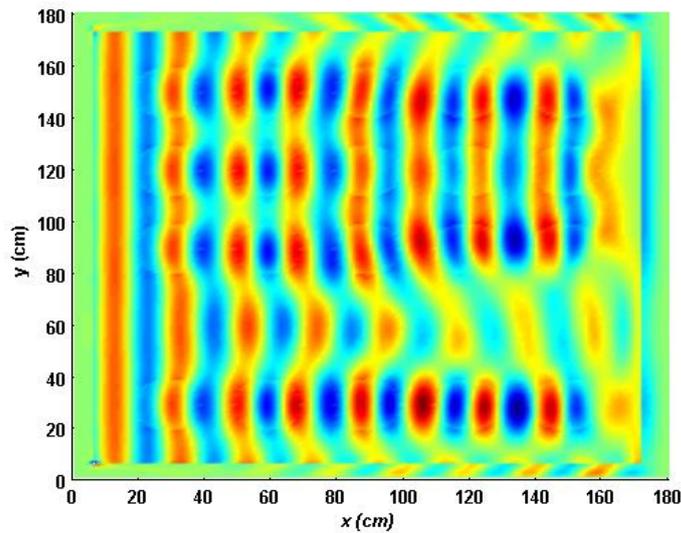
Metode yang digunakan dalam simulasi ini adalah *Finite Difference Time Domain* (FDTD) dengan mode TE. Gelombang elektromagnetik mengenai struktur waveguide di diskritisasi dalam domain waktu menggunakan FDTD. Struktur waveguide terdiri atas 20 buah rod silinder dengan penampang lintang yang *infinite* dan anal sepanjang sumbu x dengan jari-jari silinder sebesar 0.1 cm dan permitifitas dielektrik sesuai dengan bahan yang diinginkan. Ruang domain komputasi berukuran $1.8 \times 1.8\text{ cm}$ dengan ukuran mesh 0.01 . Gelombang melalui struktur dengan frekuensi 1500 MHz dan durasi waktu $58.33 \times 10^{-10}\text{ s}$.



Gambar 1. Struktur waveguide dalam domain komputasi

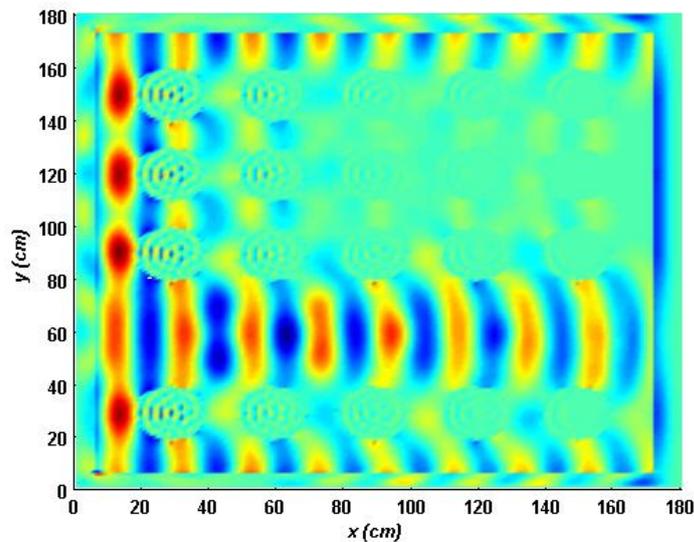
IV. IMPLEMENTASI DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi dengan rod silinder dielektrik, yaitu SiO_2 dengan indeks bias 1.4585 menunjukkan gelombang menjalar pada waveguide dan melalui kanal untuk selang waktu 5.8333 ns . Pada tiap lubang silinder terjadi proses pemantulan dan transmisi secara terus menerus dan gelombang berjalan kontinu sampai tercapai keadaan *steady*. Besarnya nilai medan listrik yang melalui struktur dan melalui kanal berubah-ubah secara periodik sesuai dengan intensitasnya yang ditandai dengan warna pada gambar.



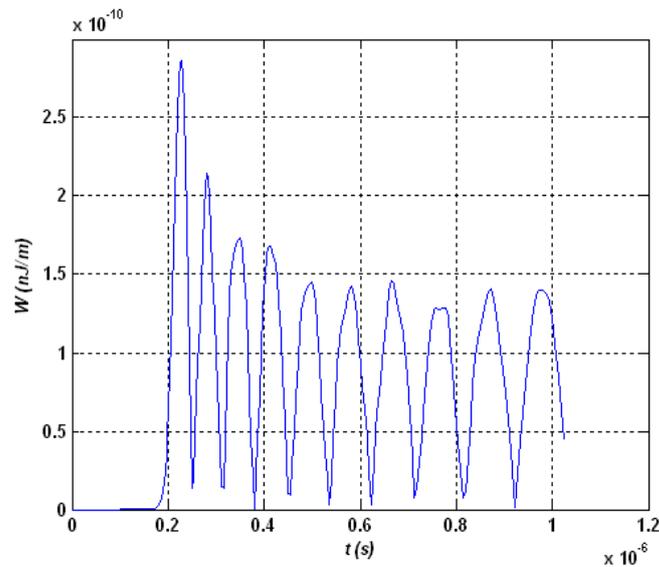
Gambar 3. Perambatan medan listrik pada waveguide untuk silinder dielektrik

Ketika rod silinder menggunakan material perak (silver) dengan indeks bias $0.051585 + 3.9046*i$, maka gelombang terhalang melewati silinder dan merambat hanya melalui kanal.



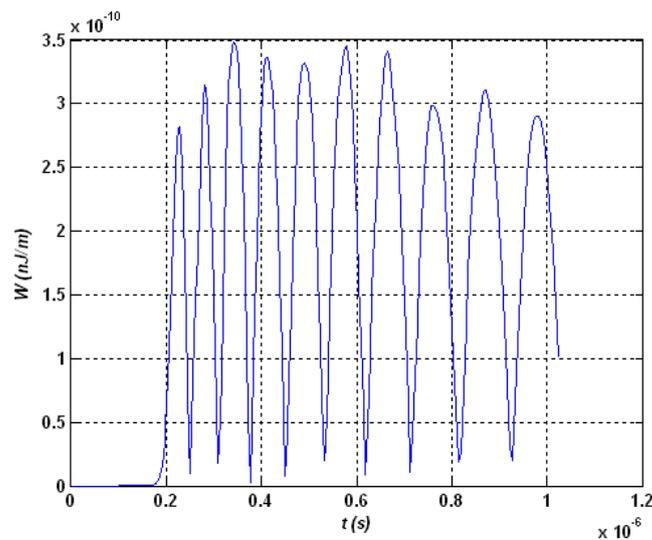
Gambar 4. Perambatan medan listrik pada waveguide untuk silinder metal

Energi yang ditransmisikan pada sisi akhir domain komputasi seukuran lebar lebar kanal, untuk silinder dielektrik selama durasi waktu 5.8333 ns dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6) dan dihasilkan gelombang baru mencapai keadaan *steady* setelah waktu $0.42 \mu\text{s}$



Gambar 5. Densitas energi untuk *waveguide* dengan silinder dielektrik

Untuk silinder metal, terjadi peningkatan densitas energi disebabkan adanya kopling medan listrik pada metal dengan gelombang sehingga menghasilkan *surface plasmon resonance* (SPR). Gelombang mengalami keadaan steady sekitar $0.7 \mu\text{s}$



Gambar 6. Densitas energi untuk *waveguide* dengan silinder metal

Perhitungan densitas energi total sampai selang waktu 5.8333 ns dapat berbeda-beda untuk material silinder yang berbeda. Tabel 1 menunjukkan beberapa material dielektrik yang digunakan pada rod silinder dengan permitifitas listrik yang berbeda-beda sehingga menghasilkan densitas energi total yang berbeda beda.

Tabel 1 Nilai Desitas Energi Total

<i>Material</i>	<i>Indeks bias</i>	<i>Densitas energi total (nJ/m)</i>
SiO ₂	1.4	14.4016
TiO ₂	2.21	27.6355
ZnTe	2.5	27.9127
ZnSe	2.78	27.6697
GaAs	3.61	28.3816
Ag	$0.051585 + 3.9046*i$	29.0802

V. KESIMPULAN

Hasil simulasi perambatan gelombang elektromagnetik pada struktur waveguide telah menunjukkan hasil yang baik. Penggunaan rod silinder dielektrik menunjukkan adanya pantulan dan transmisi medan listrik dari rod sedangkan untuk penggunaan rod metal, gelombang terhalang dan sempurna melewati kanal. Besarnya densitas energi dari gelombang setelah melewati struktur sangat spesifik sesuai dengan material yang digunakan pada rod. Hasil ini menjadi penting bahwa densitas energi dari waveguide dapat menentukan spesifikasi dari bahan atau objek

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Namiki. 2018. A new FDTD algorithm based on alternating-direction implicit method. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*.47(10): 2003-2007
- [2] J. P. Berenger. 2007. *Perfectly Matched Layer (PML) for Computational Electromagnetics*. Morgan: Arizona State University.
- [3] T. P. Negara, L. Yuliawati, A. D. Garnadi, S. Nurdiani, H. Alatas. 2015, Effect of Filling-Factor on Transmittance of a Dielectric Slab Waveguide with Metallic Grating. *AIP Conference Proceedings* 1656. 060003
- [4] D. M. Sullivan. (2000). *Electromagnetic simulation using the FDTD method*, Wiley-IEEE Press
- [5] D. E. Merewether. (1971). Transient Currents on a Body of Revolution by an Electromagnetic Pulse. *IEEE Transactions on Electromagnetics Compability*, 13(2), 42-44.
- [6] B. Enquist and A. Madja. (1977). Absorbing Boundary Conditions for The Numerical Simulations of Waves. *Mathematics of Computations*, 31, 629-651.
- [7] P. Mur. (1981). Absorbing Boundary Conditions for Difference Approximations of The Time Domain Electromagnetic Field equation. *IEEE Transactions on Electromagnetics Compability*, 23(4), 377-382.
- [8] E. L. Lindman. (1987). Free Spaces Boundary Conditions for The Time Dependent Wave Equation. *Journal of Computational Physics*, 18, 66-78.
- [9] J.P. Berenger. (1994). A Perfectly Matched Layer for The Absorption of Electromagnetic Waves. *Journal of Computational Physics*, 114, 185-200.
- [10] A. F. Chan. (2006). "The Finite Difference Time Domain Method for Computational Electromagnetics". Dissertasi. University of Southern Queensland.



Teguh Puja Negara, S.Si, M.Si. lahir di Jakarta tahun 1984, menyelesaikan pendidikan S1 (2006) di departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Dan S2 (2009) di departemen Biofisika Institut Pertanian Bogor. Bidang minat saya adalah pemodelan dan optik. Penelitiannya pernah dipublikasikan dalam bentuk jurnal internasional, jurnal nasional dan prosiding internasional. Penulis merupakan dosen di departemen Ilmu Komputer Universitas Pakuan, untuk mata kuliah: Fisika Dasar, Sistem Instrumentasi, Metode Numerik\\

Erniyati, S.Si, M.Si. lahir di Kebumen tahun 1963, menyelesaikan pendidikan S1 (1985) di departemen ilmu komputer, STMIK Budi Luhur dan S2 (1989) di departemen ilmu komputer, Institut Pertanian Bogor. Bidang minatnya adalah data mining dan struktur data. Penelitiannya pernah dipublikasikan dalam bentuk jurnal nasional dan prosiding internasional dan penulis merupakan dosen di departemen Ilmu Komputer Universitas Pakuan, untuk mata kuliah: Struktur data

Ismangil, S.Si, M.Si. lahir di Kebumen tahun 1988, menyelesaikan pendidikan S1 (2010) di departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Dan S2 (2015) di departemen Biofisika Institut Pertanian Bogor. Bidang minat saya adalah material dan sensor. Penelitiannya pernah dipublikasikan dan bentuk jurnal internasional, jurnal nasional dan prosiding internasional dan penulis merupakan dosen di departemen Ilmu Komputer Universitas Pakuan, untuk mata kuliah: Fisika Dasar, Sistem Instrumentasi, Metode Numerik dan Sistem Mikroprosesor.