

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang terdiri dari medan listrik dan medan magnetik, di mana keduanya berorientasi tegak lurus satu sama lain dan terhadap arah perambatan gelombang. Fenomena ini dapat dijelaskan secara mendalam oleh persamaan Maxwell, yang menunjukkan bagaimana medan listrik yang berubah terhadap waktu menghasilkan medan magnetik, dan sebaliknya. Tidak seperti gelombang mekanik, gelombang elektromagnetik tidak memerlukan medium untuk merambat, sehingga dapat bergerak di ruang hampa (Nave, 2021).

Gelombang elektromagnetik bisa bergerak tanpa membutuhkan medium dan memiliki karakteristik seperti panjang gelombang, frekuensi, dan amplitudo. Gelombang ini mencakup berbagai jenis, mulai dari gelombang radio hingga sinar gamma, yang masing-masing memiliki sifat dan kegunaan tersendiri. Aplikasi gelombang elektromagnetik sangat luas, mulai dari kehidupan sehari-hari, bidang militer, hingga dunia medis, seperti *oven microwave*, teknologi radar, sinar-X, dan sterilisasi alat medis (Harrison, 2020).

Sejumlah penelitian eksperimental telah dilakukan untuk memahami sifat dan perilaku gelombang elektromagnetik. Eksperimen pertama yang membuktikan keberadaan gelombang elektromagnetik dilakukan oleh Heinrich Hertz pada akhir abad ke-19, yang mengonfirmasi teori Maxwell tentang propagasi gelombang elektromagnetik dalam ruang bebas (Liu et al., 2021). Namun, eksperimen dalam penelitian gelombang elektromagnetik sering kali memerlukan biaya tinggi, peralatan khusus, dan waktu yang cukup lama untuk mencapai hasil yang akurat (Smith, 2010), sehingga simulasi menjadi alternatif yang lebih efisien. Di sisi simulasi, penelitian telah memberikan kontribusi signifikan dengan penggunaan metode FDTD untuk memodelkan interaksi gelombang elektromagnetik dengan presisi tinggi (Taflowe, 2005). Penelitian oleh Huang dan Li (2015) juga menggunakan FDTD untuk memodelkan perambatan gelombang elektromagnetik dalam medium anisotropik, memberikan pemahaman lebih dalam tentang bagaimana gelombang berperilaku dalam bahan yang memiliki sifat yang

bergantung pada arah. Dengan menggunakan simulasi, peneliti dapat menguji berbagai kondisi dan parameter secara cepat tanpa perlu membangun setup fisik yang kompleks, serta melakukan analisis hasil dalam waktu yang lebih singkat dan dengan biaya yang lebih rendah.

Terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk mempelajari simulasi ini, termasuk *Discontinuous Galerkin Method* (DGM) (Hill, 1973), *Method of Moments* (MoM) (Harrington, 1968), *Boundary Element Method* (BEM) (Morino, 1960), *Method of Lines* (MOL) (Courant, 1928), dan *Finite Difference Time Domain* (Yee, 1966). Beberapa metode ini, memiliki keterbatasan yang umumnya terkait dengan kompleksitas komputasi, kebutuhan memori tinggi, dan kesulitan dalam menangani geometri kompleks atau domain besar. Selain itu, metode-metode ini sering menghadapi tantangan seperti ketergantungan pada analisis frekuensi, stabilitas numerik, atau penyelesaian integral yang rumit, sehingga kurang efisien untuk aplikasi tertentu (Hagness, 2005).

Jika dibandingkan dengan metode-metode tersebut, *Finite Difference Time Domain* (FDTD) menjadi salah satu metode yang paling populer dan banyak digunakan untuk simulasi gelombang elektromagnetik. Metode *Finite Difference Time Domain* (FDTD), yang pertama kali diperkenalkan oleh Yee pada tahun 1966 dan dikembangkan lebih lanjut oleh Taflovit (1970), *Finite Difference Time Domain* (FDTD) unggul dibandingkan metode lain, karena kesederhanaan algoritmanya yang mendiskretisasi persamaan Maxwell secara langsung dalam domain waktu. Metode ini memungkinkan analisis spektrum luas dalam satu simulasi, fleksibel untuk struktur geometris kompleks, dan mudah dikombinasikan dengan teknik seperti *Perfectly Matched Layer* (PML) untuk meminimalkan refleksi. Selain itu, FDTD efisien dalam penggunaan memori dan waktu komputasi serta mudah diimplementasikan pada perangkat lunak seperti MATLAB.

Dalam simulasi perambatan gelombang elektromagnetik, pemilihan untuk menggunakan metode FDTD dalam 2D memiliki beberapa keunggulan yang signifikan, yaitu salah satunya, simulasi 2D memungkinkan untuk memodelkan interaksi gelombang dengan struktur yang lebih kompleks dibandingkan dengan simulasi 1D, namun tetap mempertahankan tingkat kompleksitas yang lebih rendah

dibanding simulasi 3D. Hal ini penting karena memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi fenomena gelombang dalam lingkup yang lebih luas dibandingkan dengan 1D, namun dengan menggunakan sumber daya komputasi yang lebih efisien dibanding simulasi 3D yang membutuhkan pengolahan data yang lebih besar (Taflöv, 2005).

Selain keunggulan metode FDTD dalam simulasi numerik gelombang elektromagnetik, pemilihan syarat batas *Perfectly Matched Layer* (PML) juga memainkan peran penting untuk memastikan akurasi dan stabilitas hasil simulasi. PML dipilih karena kemampuannya untuk menyerap gelombang elektromagnetik yang mendekati tepi domain simulasi tanpa menyebabkan pantulan kembali yang dapat mengganggu keakuratan analisis (Berenger, 1994). Kondisi batas lain, seperti *Absorbing Boundary Condition* (ABC) atau *Mur's First-Order Condition*, memiliki keterbatasan dalam menyerap gelombang dengan sudut dan frekuensi tertentu, sementara PML dirancang agar gelombang yang mendekati batas domain, baik pada sudut datang tegak lurus maupun miring, dapat diserap secara efektif (Taflöv & Hagness, 2005).

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mensimulasikan perambatan gelombang elektromagnetik dalam domain dua dimensi menggunakan metode *Finite Difference Time Domain* (FDTD) serta menganalisis efektivitas *Perfectly Matched Layer* (PML) dalam menyerap gelombang elektromagnetik dengan variasi nilai konduktivitas.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, memberikan kontribusi dalam pengembangan simulasi perambatan gelombang elektromagnetik menggunakan metode *Finite Difference Time Domain* (FDTD), khususnya dalam memahami efektivitas *Perfectly Matched Layer* (PML) dalam menyerap gelombang dengan variasi konduktivitas.