**BAB I**

**PENDAHULUAN**

**I.1 Latar Belakang**

Respons yang sangat cepat dari sistem komunikasi optik menjadi salah satu alasan atas pengembangan metode pemrosesan sinyal optik. Hal ini erat kaitannya dengan penelitian terhadap sifat alami dari serat optik yang menjadi fundamental dalam infrastruktur komunikasi global. Penelitian terhadap indeks bias nonlinear, *group velocity dispersion* (GVD), dan *self phase modulation* (SPM) serat optik menjadi fokus utama guna meningkatkan kinerja sistem (Abdillah Mardi et al., 2023). Keseimbangan antara kedua unsur GVD dan SPM membentuk soliton yang mampu mempertahankan bentuk gelombang ketika merambat pada medium nonlinear. Kemampuan ini yang selanjutnya membuat soliton digunakan dalam transmisi serat optik jarak jauh (Zhou et al., 2022).

Persamaan Schrodinger Non-linear (NLS) digunakan dalam pemodelan dinamika perambatan soliton pada media serat optis melalui persamaan diferensial parsial yang memodelkan *group velocity dispersion, self-phase modulation,* dan *third-order dispersion*. Penyelesaian dari persamaan NLS umumnya dilakukan secara numerik dikarenakan kompleksitas dari metode analitis. Salah satu metode guna menyelesaikan persamaan NLS ialah Split Step Fourier Transform. Akan tetapi, metode ini menjadi cukup lambat ketika digunakan dalam arsitektur berjejaring (*meshed network)* (Wang et al., 2022). Selain itu, (Jiang et al., 2021) turut menyatakan bahwa pada kasus dengan orde nonlinear yang lebih tinggi, kompleksitas dari SSFT meningkat secara signifikan.

Berbeda dengan pendekatan teoritis seperti SSFT, pendekatan berbasis data juga berkembang pesat melalui algoritma Machine Learning (ML). Algoritma ini bertindak sebagai *black box* yang mempelajari data sinyal terima dan transmisi pada serat optik selama proses *training*. Namun, metode ini memiliki kelemahan, seperti kebutuhan data besar untuk akurasi tinggi dan pengabaian prinsip-prinsip fisis dalam data (Wang et al., 2022).

Guna mengatasi keterbatasan tersebut, dikembangkan algoritma ML berbasis prinsip fisika dari persamaan diferensial yang ada. Algoritma ini, dikenal sebagai *Physics-Informed Neural Network* (PINN), mengintegrasikan *governing equation* kasus fisika dengan syarat awal dan batas masalah pada nilai input. Pendekatan ini mampu menghasilkan output yang lebih akurat dengan kebutuhan data yang lebih sedikit, sekaligus tetap mematuhi hukum fisis. (Jiang et al., 2021; Wang et al., 2022). Algoritma PINN memberikan kelebihan berupa kemampuan untuk menyelesaikan persamaan diferensial maupun indentifikasi parameter dalam sebuah kerangka optimasi dengan perubahan yang minimum. Selain itu, PINN juga mampu menangani persamaan diferensial pada domain dengan geometri yang sangat rumit atau dimensi tinggi, yang sulit disimulasikan secara numerik (Cuomo et al., 2022).

Studi literatur berdasarkan dalam Cuomo et al., (2022) dan Raissi et al., (2019) menunjukkan bahwa algoritma PINN telah digunakan dalam berbagai aplikasi. Namun, potensinya dalam konteks serat optik nonlinear perlu dieksplorasi lebih jauh terutama dalam skenario yang lebih kompleks. Dengan demikian, pada penelitian kali ini, dilakukan pemodelan perambatan pulsa pada serat optik menggunakan PINN. Penelitian ini diharapkan dapat memperdalam pemahaman atas pengembangan metode PINN guna meningkatkan stabilitas numerik dan akurasi hasil. Penlitian ini turut bertujuan untuk memberikan kontribusi pada teori dan metode numerik fisika dan rekayasa berbasis *machine learning* sehingga memberikan manfaat yang lebih luas dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi.

**I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, perumusan masalah pada penelitian ini ialah:

1. Bagaimana algoritma *Physics-Informed Neural Network* (PINN) diterapkan untuk menyelesaikan Persamaan Schrodinger NonLinear dalam pemodelan perambatan pulsa serat optik?
2. Bagaimana cara untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dari pemodelan perambatan pulsa menggunakan algoritma *Physics-Informed Neural Network* (PINN)?
3. Bagaimana akurasi dari pendekatan berbasis *Physics Informed Neural Network* (PINN) dibandingkan dengan literatur?

**I.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Metode penyelesaian Persamaan Schrodinger nonlinear dalam kasus serat optik dilakukan menggunakan *Physics Informed Neural Network* (PINN).
2. Peninjauan atas akurasi pendekatan *PINN* dalam memodelkan efek nonlinear dalam serat optis berdasarkan literatur sejenis.
3. Analisis optimasi metode pembelajaran PINN guna meningkatkan kinerja algoritma simulasi

**I.4 Tujuan Penelitian**

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menerapkan algoritma PINN dalam menyelesaikan Persamaan Schrodinger Nonlinear pada serat optik.
2. Mengidentifikasi cara untuk meningkatkan efisiensi dari pemodelan perambatan pulsa menggunakan PINN.
3. Menganalisis seberapa akurat pendekatan PINN dalam pemodelan efek nonlinear serat optis dibandingkan literatur.

**I.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi masyarakat dan akademisi sebagai berikut:

1. Berkontribusi terhadap pengembangan teori dan metode numerik pada bidang fisika dan rekayasa, terutama dalam pemodelan sistem nonlinear dalam serat optik
2. Mengembangkan metode pemodelan yang efisien dan tepat guna dalam mendukung perancangan sistem serat optik yang lebih eisien dalam teknologi komunikasi modern.
3. Memberikan wawasan terkait *machine learning* dalam bidang fisika, khususnya PINN dalam menyelesaikan masalah fisika yang kompleks melalui pendekatan revolusioner.