**BAB III**

**METODOLOGI**

**3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian atas "Pemodelan Perambatan Sinyal pada Serat Optik Nonlinear dengan Physics-Informed Neural Networks" dilaksanakan pada bulan Maret 2025 hingga bulan Mei 2025 pada Laboratorium Fisika Komputasi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya.

**3.2 Alat dan Bahan**

Penelitian dilaksanakan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan memanfaatkan beberapa pustaka.  
Tabel 3.1 Daftar Pustaka yang digunakan

|  |  |
| --- | --- |
| Pustaka | Informasi |
| *Tensorflow* | Pustaka *machine learning* yang digunakan dalam mengonstruksi desain PINN dan melakukan pembelajaran berbasis diferensiasi otomatis. |
| *Numpy* | Pustaka yang digunakan dalam operasi aljabar linear dan manipulasi *array* numerik. |
| *Matplotlib* | Pustaka yang berfungsi dalam visualisasi data atas grafik perambatan sinyal dalam representasi dua dimensi atau tiga dimensi. |
| *Scipy* | Pustaka yang digunakan dalam implementasi transformasi fourier pada teknik SSFM sebagai pembanding. |

Beberapa alat penunjang tambahan digunakan seperti VSCode sebagai IDE dalam pembuatan program dan GitHub sebagai media pengelolaan kode dan dokumentasi untuk memastikan keteraturan penelitian.

**3.3 Prosedur Penelitian**

**3.3.1 Penentuan Kondisi Awal, Kondisi Batas dan Parameter NLSE**

Dalam struktur kerja PINN, kondisi awal dan kondisi batas memiliki peranan penting yang memengaruhi hasil akhir dari perambatan pulsa. Kedua data tersebut diberikan kepada jaringan neural untuk memodelkan perambatan pulsa. Kondisi awal menyatakan informasi atas keadaan sistem pada awal waktu sementara kondisi batas menyatakan informasi keadaan sistem pada tepi domain spasial. Pada penelitian kali ini, *hyperbolic secant pulse* digunakan untuk memodelkan interaksi pulsa terhadap parameter dispersi, non-linearitas, dan perubahan frekuensi oleh serat optik. Hal ini dinyatakan dalam persamaan 3.1.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.1) |

di mana menyatakan amplitudo pulsa, menyatakan offset, menyatakan periodisitas pulsa.

Parameter NLSE menyatakan karakteristik dari serat optik yang meliputi panjang serat, faktor nonlinearitas, dispersi, dan atenuasi daya. Hal ini dinyatakan dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter NLSE

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Parameter | Nilai | Informasi |
| Panjang |  | Panjang serat optik (m) |
| Gamma |  | Nonlinearitas serat optik (m/W) |
| Beta() |  | Dispersi serat optik ( |
| Alpha( |  | Koefisien atenuasi daya ( |

**3.3.2 Arsitektur PINN**

**A diagram of a network

Description automatically generated**

**Gambar 3.1** Diagram Kelas Arsitektur PINN

Arsitektur model PINN sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.1. Inisialisasi jaringan neural dilakukan dengan sistem *Multi Layer Perceptron*. Jaringan neural PINN tersusun atas lima lapisan *perceptron*, masing-masing memiliki 32 neuron dengan fungi aktivasi hiperbolik tangensial . Data input berupa kondisi awal, diinisialisasikan dalam *collocation point*, dan kondisi batas, sebagai *labelled data*, diberikan dalam bentuk *batch* untuk mempermudah pembelajaran. Fungsi penurunan gradien khusus dirancang untuk kasus NLSE menggunakan metode diferensiasi otomatis dengan menerima parameter serat optik. Selanjutnya, nilai yang didapatkan dari penurunan gradien diberikan pada program optimisasi menggunakan L-BFGS-B untuk memperbarui *weight* dan *bias* neuron. Dilakukan iterasi sejumlah *epochs* yang ditentukan hingga didapatkan hasil yang konvergen dengan loss minimum. Inferensi model dilakukan untuk mendapatkan daya pulsa gelombang. Kemudian, hasil divisualisasikan menggunakan *matplotlib*.

**3.3.3 Metode Pembanding**

Metode *Split-Step Fourier* digunakan sebagai pembanding terhadap metode PINN menggunakan parameter NLSE yang serupa. Fungsi SSFM didefinisikan pada domain temporal dan frekuensi. Fungsi dispersi dan loss/atenuasi dinyatakan dalam domain frekuensi dengan persamaan 3.2. Sementara itu, fungsi nonlinearitas dinyatakan dalam domain temporal dengan persamaan 3.3

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.2) |
|  | (3.3) |

Dengan demikian, tiap baris dari matriks perambatan pulsa didapatkan menggunakan persamaan 3.4.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.4) |

**3.4 Flowchart Penelitian**

A diagram of a process flow

Description automatically generated

**Gambar 3.2 Flowchart Penelitian**

Diagram alur pada Gambar 3.2 menunjukkan alur penelitian. Penelitian diawali dengan studi literatur dilanjutkan dengan inisialisasi parameter NLSE beserta data terlabel. Data terlabel merujuk pada kondisi awal dan kondisi batas yang digunakan sebagai input PINN. Arsitektur PINN disusun berdasarkan Gambar 3.1, dilanjutkan dengan pembelajaran model dengan batas iterasi tertentu. Setelah diselesaikannya proses pembelajaran, dilakukan inferensi model untuk mendapatkan data perambatan pulsa. Data ini selanjutnya dibandingkan dengan SSFM yang menerima input parameter NLSE dan kondisi awal. Jika kedua data telah sesuai, penelitian dapat dilanjutkan pada tahap analisis data. Akan tetapi, jika didapatkan perbedaan yang cukup signifikan pada kedua solusi, struktur program PINN diperbaiki sehingga didapat hasil yang optimal.