UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PHYSICS-INFORMED NEURAL NETWORKS (PINNS) UNTUK ESTIMASI PARAMETER PADA MODEL EPIDEMI SIRS-D
Fitri Cahyani, Prof. Dr. Abdurakhman, M.Si
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL . . . . . **i**
HALAMAN PENGESAHAN . . . . . **ii**
HALAMAN PERNYATAAN . . . . . **iii**
HALAMAN PERSEMBAHAN . . . . . **iv**
HALAMAN MOTTO . . . . . **v**
PRAKATA . . . . . **vi**
DAFTAR ISI . . . . . **viii**
DAFTAR TABEL . . . . . **xi**
DAFTAR GAMBAR . . . . . **xii**
DAFTAR LAMBANG . . . . . **xiii**
INTISARI . . . . . **xv**
ABSTRACT . . . . . **xvi**
I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Perumusan Masalah 8
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian 8
1.3.1 Tujuan Penelitian 8
1.3.2 Manfaat Penelitian 9
1.4 Tinjauan Pustaka 9
1.5 Metode Penelitian 14
1.6 Sistematika Penulisan 16
II DASAR TEORI **18**
2.1 Persamaan Diferensial 18
2.2 Sistem Persamaan Diferensial 20
2.3 Model Matematika $SIRS$-D 22
2.4 Metode Runge-Kutta 24
2.5 *Nonlinear Least Squares Estimation* (NL-LSE) 27
2.6 *Machine Learning* 28
2.6.1 Jenis-jenis *Machine Learning* 28
2.6.2 Data Latih dan Data Uji 30
2.6.3 *Overfitting* dan *Underfitting* 31
2.6.4 *Hyperparameter* 31
2.6.5 *Loss Function* 32

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PHYSICS-INFORMED NEURAL NETWORKS (PINNS) UNTUK ESTIMASI PARAMETER PADA MODEL EPIDEMI SIRS-D
Fitri Cahyani, Prof. Dr. Abdurakhman, M.Si
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.7 *Neural Networks* (NN) 32
2.7.1 Struktur dan Komponen NN 34
2.7.2 *Feedforward* dan *Backpropagation* 39
2.7.3 Fungsi Aktivasi 40
2.7.4 Metode Optimasi Adam 45
2.8 *Physics-Informed Neural Networks* (PINNs) 47
2.8.1 Formulasi Matematis PINNs 48
2.8.2 Formulasi Fungsi *Loss* 50
2.8.3 Titik Kolokasi (*Collocation Point*) 50
2.8.4 Prosedur Estimasi Parameter 51
2.8.5 *Automatic Differentiation* 53
2.8.6 Contoh Numerik: Ilustrasi Komputasional PINNs 55
2.9 Metrik Evaluasi 66
2.10 Bilangan Reproduksi Dasar 68
2.11 COVID-19 70
III *PHYSICS-INFORMED NEURAL NETWORKS* (PINNs) UNTUK MODEL EPIDEMI $SIRS$-D 71
3.1 Model $SIRS$-D yang Digunakan 71
3.2 Formulasi Matematis PINNs untuk Model $SIRS$-D 72
3.2.1 Konstruksi Matematis Jaringan Saraf (*Neural Network*) . . . 73
3.2.2 Konstruksi Residu Persamaan Diferensial 81
3.2.3 Formulasi Masalah Optimisasi 82
3.3 Dataset Penelitian 84
3.3.1 Data Sintetis 85
3.3.2 Data COVID-19 89
3.4 Arsitektur Jaringan Saraf dan *Hyperparameter* 90
IV APLIKASI PINNs UNTUK ESTIMASI PARAMETER MODEL $SIRS$-D (STUDI KASUS: DATA COVID-19 INDONESIA) 94
4.1 Validitas PINNs pada Data Sintetis 94
4.1.1 Hasil Estimasi Parameter dengan Metode NL-LSE dan PINNs 94
4.1.2 Analisis Sensitivitas terhadap Inisialisasi Parameter Awal . . 103
4.1.3 Analisis Sensitivitas terhadap *Learning Rate* 104
4.1.4 Analisis Sensitivitas terhadap Bobot Komponen *Loss* 106
4.2 Hasil Estimasi Parameter pada Data COVID-19 108
4.2.1 Analisis Konvergensi dan Stabilitas Parameter 109
4.2.2 Visualisasi Hasil dan Evaluasi Kinerja Model 112

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PHYSICS-INFORMED NEURAL NETWORKS (PINNS) UNTUK ESTIMASI PARAMETER PADA MODEL EPIDEMI SIRS-D
Fitri Cahyani, Prof. Dr. Abdurakhman, M.Si
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.2.3 Interpretasi Epidemiologi Hasil Estimasi 115
4.3 Perbandingan Kinerja PINNs pada Data Sintetis dan Data COVID-19 119
V PENUTUP 121
5.1 Kesimpulan 121
5.2 Saran 122
DAFTAR PUSTAKA 124
A SKRIP PROGRAM PYTHON CONTOH 2.8 129
B SKRIP PROGRAM PYTHON PINNs PADA DATA SINTETIS 132
C SKRIP PROGRAM PYTHON NL-LSE PADA DATA SINTETIS . . 156
D SKRIP PROGRAM PYTHON PINNs PADA DATA COVID-19 175
E DATA COVID-19 DENGAN KOMPARTEMEN TERNORMALISASI *TIME WINDOW* 450-570 195
F DATA LATIH SINTETIS DAN OUTPUT NN UNTUK KOMPARTEMEN $SIRD$ 197
G DATA UJI SINTETIS DAN OUTPUT NN UNTUK KOMPARTEMEN $SIRD$ 199
H DATA LATIH COVID-19 DAN OUTPUT NN UNTUK KOMPARTEMEN $SIRD$ 200
I DATA UJI COVID-19 DAN OUTPUT NN UNTUK KOMPARTEMEN $SIRD$ 202