

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN DAN PERSETUJUAN UNGGAH TUGAS AKHIR	
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI	
PERSETUJUAN TIM PENGUJI SKRIPSI	
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.5.1 Manfaat Teoretis	3
1.5.2 Manfaat Praktis	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
 BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Persamaan Diferensial Biasa	6
2.1.1 Persamaan Diferensial Biasa Orde Satu	6
2.1.2 Persamaan Diferensial Biasa Orde Dua	7
2.1.3 Persamaan Diferensial Biasa Orde Tinggi	7
2.1.4 Solusi Analitik Persamaan Diferensial Biasa	8
2.1.5 Solusi Numerik Persamaan Diferensial Biasa	11
2.1.5.1 Metode Euler	11
2.1.5.2 Metode Runge-Kutta Orde 4 (RK4)	11
2.2 Jaringan Saraf Tiruan	13
2.2.1 Pendahuluan	13
2.2.2 <i>Forward Propagation</i>	16
2.2.3 <i>Gradient Descent</i>	16
2.2.4 <i>Back Propagation</i>	18
2.3 <i>Physics-Informed Neural Network</i> (PINN)	19
2.3.1 Konsep Dasar PINN	19
2.3.2 <i>Automatic Differentiation</i> (AD) dalam PINN	20
2.3.3 Aplikasi PINN pada PDB	20
2.4 Evaluasi Model	21
2.4.1 Evaluasi Kualitatif	21
2.4.2 Evaluasi Kuantitatif	21

2.4.2.1	<i>Root Mean Square Error</i>	21
2.4.2.2	<i>Mean Absolute Error</i>	22
2.4.2.3	<i>Relative Error dan Mean Absolute Percentage Error</i>	22
2.5	Tinjauan Pustaka	22
 BAB III METODOLOGI		
3.1	Transformasi PDB ke dalam Bentuk <i>Loss Function</i>	25
3.2	Persiapan Pemodelan PINN	26
3.2.1	Persiapan Arsitektur PINN	29
3.2.2	Persiapan Perhitungan <i>Loss Function</i>	30
3.3	Persiapan <i>Optimizer</i> PINN	30
3.4	<i>Training</i> Model	30
3.5	Prediksi Solusi dan Evaluasi Kinerja Model	31
3.5.1	Prediksi Solusi	31
3.5.2	Evaluasi Kinerja Model	32
3.6	Pengulangan Pemodelan	32
3.7	Penarikan Kesimpulan	33
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Persamaan Diferensial Biasa Orde Satu Non-Linier (Persamaan Logistik)	34
4.2	Sistem Persamaan Diferensial Biasa Linier (Persamaan Pendulum)	37
4.3	Sistem Persamaan Diferensial Biasa Non-Linier (Persamaan Lotka-Volterra)	40
 BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran	53
5.2.1	Saran Teoretis	53
5.2.2	Saran Praktis	54
DAFTAR PUSTAKA		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arsitektur JST	13
Gambar 2.2	Contoh <i>Forward Propagation</i>	16
Gambar 2.3	<i>Gradient Descent</i>	17
Gambar 2.4	Contoh <i>Backpropagation</i>	18
Gambar 3.1	Diagram Alir Langkah-Langkah Penelitian	24
Gambar 3.2	Diagram Alir Langkah-Langkah Persiapan Pemodelan PINN	26
Gambar 3.3	Diagram Alir Langkah-Langkah <i>Training</i> Model PINN	31
Gambar 4.1	Grafik Hasil Persamaan Logistik	34
Gambar 4.2	Grafik Hasil Persamaan Logistik hingga $t = 0.5$	35
Gambar 4.3	Grafik hasil <i>Loss</i> terhadap Iterasi pada Persamaan Logistik	36
Gambar 4.4	Grafik Hasil Persamaan Pendulum	37
Gambar 4.5	Grafik Hasil Dua Variabel Persamaan Pendulum	38
Gambar 4.6	Grafik hasil <i>Loss</i> terhadap Iterasi pada Persamaan Pendulum	39
Gambar 4.7	Grafik Hasil Dua Variabel Persamaan Lotka-Volterra	41
Gambar 4.8	Grafik Hasil Persamaan Lotka-Volterra dengan 32 <i>node</i>	42
Gambar 4.9	Grafik Hasil Persamaan Lotka-Volterra dengan 64 <i>node</i>	42
Gambar 4.10	Grafik Hasil Persamaan Lotka-Volterra dengan 128 <i>node</i>	42
Gambar 4.11	Grafik Hasil <i>Phase Potrait</i> Persamaan Lotka-Volterra	43
Gambar 4.12	Grafik Hasil Persamaan Lotka-Volterra hingga $t = 2.5$	44
Gambar 4.13	Grafik Hasil <i>Phase Potrait</i> Persamaan Lotka-Volterra hingga $t = 2.5$	45
Gambar 4.14	Grafik Hasil Persamaan Lotka-Volterra hingga $t = 2.5$ dengan <i>step size</i> 1000 titik	46
Gambar 4.15	Grafik Hasil <i>Phase Potrait</i> Persamaan Lotka-Volterra hingga $t = 2.5$ dengan <i>step size</i> 1000 titik	46
Gambar 4.16	Grafik Hasil Persamaan Lotka-Volterra hingga $t = 2.5$ dengan <i>step size</i> 2000 titik	47
Gambar 4.17	Grafik Hasil <i>Phase Potrait</i> Persamaan Lotka-Volterra hingga $t = 2.5$ dengan <i>step size</i> 2000 titik	48
Gambar 4.18	Grafik hasil <i>Loss</i> terhadap Iterasi pada Persamaan Lotka- Volterra	49
Gambar 4.19	Grafik Hasil Persamaan Lotka-Volterra dengan <i>First Integral</i>	50