

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
INTISARI.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Kontribusi Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Penerapan IoT pada Budidaya Mikroalga.....	7
2.2. <i>Machine Learning</i> untuk Model Prediksi Pertumbuhan Mikroalga	8
2.3. Celah Penelitian	10
BAB III LANDASAN TEORI.....	17
3.1. Mikroalga.....	17
3.1.1. Mikroalga dan Manfaatnya	17
3.1.2. Sistem Budidaya Mikroalga.....	18
3.1.3. Pemantauan Biomassa Budidaya Mikroalga.....	18
3.1.3. Fase Pertumbuhan Mikroalga	19
3.2. <i>Internet of Things</i> (IoT)	21
3.2.1. Arsitektur Dasar IoT	21
3.2.2. IoT pada Budidaya Mikroalga	22
3.3. Data Preprocessing	23
3.3.1 Penanganan <i>Missing Value</i> dengan Metode PCHIP-HW	23
3.3.2. Rekayasa Fitur (<i>Feature Engineering</i>).....	27

3.3.3. Penskalaan Fitur (<i>Feature Scalling</i>)	27
3.3.4. Jendela Geser (<i>Sliding Window</i>)	28
3.4. <i>Machine Learning</i>	29
3.5. <i>Recurrent Neural Network</i> (RNN).....	32
3.4.1 <i>Vanilla Recurrent Neural Network</i> (Vanilla RNN)	33
3.4.2. <i>Long Short-Term Memory</i> (LSTM)	35
3.4.3 <i>Gated Recurrent Unit</i> (GRU).....	37
3.6. <i>Multistream Recurrent Neural Network</i> (<i>Multistream RNN</i>)	39
3.7. Lapisan Output pada Jaringan RNN	40
3.8. Evaluasi Model Klasifikasi.....	40
3.9. Evaluasi Model Regresi.....	42
BAB IV METODE PENELITIAN	43
4.1. Analisis Sistem.....	43
4.2. Rancangan Sistem	45
4.2.1 Model Klasifikasi Fase Pertumbuhan Mikroalga.....	45
4.2.1.1 Arsitektur Model Klasifikasi Fase Pertumbuhan Mikroalga	45
4.2.1.2 Evaluasi Model Klasifikasi Fase Pertumbuhan Mikroalga	46
4.2.2. Model Peramalan Biomassa Mikroalga	49
4.2.2.1 Ilustrasi Model Peramalan Biomassa Mikroalga	49
4.2.2.2 Arsitektur Model Peramalan Biomassa Mikroalga	50
4.2.2.3 Evaluasi Model Peramalan Biomassa Mikroalga	50
4.3. Peralatan dan Bahan.....	53
4.3.1 Kolam Eksperimental dan Kultur Budidaya Mikroalga	53
4.3.2 Sistem IoT untuk Pengambilan Data Otomatis.....	54
4.3.3 Perangkat Keras dan Perangkat Lunak untuk Pengembangan Model .	57
4.4. Pengumpulan Data	57
4.4.1 Prosedur Pengumpulan Data Secara Otomatis.....	57
4.4.2 Pengumpulan Data <i>Optical Density</i> Secara Manual	59
4.4.3. Pelaksanaan Pengumpulan Data	59
4.5. Prapemrosesan Data	59
4.5.1. Penanganan <i>Missing Value</i>	60

4.5.2. Pelabelan data.....	60
4.5.3. Rekayasa Fitur.....	61
4.5.4. Penskalaan Fitur (<i>Fitur Scalling</i>).....	61
4.5.5. Data Jendela Geser (<i>Sliding Window Data</i>).....	62
4.6 Kendala Teknis dalam Pengembangan dan Implementasi Model	64
BAB V IMPLEMENTASI PENGEMBANGAN MODEL	65
5.1 Implementasi <i>Data Preprocessing</i>	65
5.1.1 Penanganan Missing Value	65
5.1.2 Rekayasa Fitur dan Penskalaan Fitur	67
5.1.3 <i>Sliding Window</i>	68
5.2. Implementasi Pengembangan Model Klasifikasi Fase Pertumbuhan Mikroalga	69
5.2.1. Konfigurasi <i>Hyperparameter</i> dari Model Klasifikasi Fase Pertumbuhan Mikroalga	70
5.2.2 Implementasi Pengembangan Model Klasifikasi Fase Pertumbuhan ..	72
5.3 Implementasi Pengembangan Model Peramalan Biomassa Mikroalga	76
5.3.1. Konfigurasi <i>Hyperparameter</i> dari Model Peramalan Biomassa Mikroalga	76
5.3.2 Implementasi Pengembangan Model Peramalan Biomassa.....	79
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN	82
6.1. Hasil Pengumpulan Data	82
6.1.1 Data <i>Optical Density</i> (OD).....	82
6.1.2 Penentuan Fase Pertumbuhan Berdasarkan Data OD	83
6.1.3 Data dari Sistem IoT (Suhu, Intensitas Cahaya, dan Turbiditas).....	84
6.1.4. Hasil Imputasi Data Kosong	85
6.2. Hasil dan Pembahasan Model Klasifikasi Fase Pertumbuhan Mikroalga ...	89
6.2.1. Hasil dan Pembahasan Variasi Ukuran <i>Window</i>	89
6.2.2. Hasil dan Pembahasan <i>Confusion Matrix</i> Pada Ukuran Window 60..	93
6.2.3 Hasil dan Pembahasan Perbandingan dengan Model Tradisional	95
6.2.4. Hasil dan Pembahasan Pengaruh Kombinasi Fitur terhadap Kinerja Model	96

6.2.5. Evaluasi Statistik dengan ANOVA Satu Arah.....	97
6.3. Hasil dan Pembahasan Model Peramalan Biomassa Mikroalga.....	98
6.3.1. Hasil Evaluasi RMSE dari Model Peramalan Biomassa Mikroalga...	99
6.3.2. Hasil Evaluasi MAPE dari Model Peramalan Biomassa Mikroalga.	101
6.3.3. Hasil Evaluasi R^2 dari Model Peramalan Biomassa Mikroalga.....	103
6.3.4. Rata-rata RMSE, MAPE, dan R^2 dari Berbagai Ukuran Window Pada Variasi <i>Horizon</i>	105
6.3.5. Pembahasan Hasil Kinerja Model Peramalan	106
6.3.6. Ringkasan Kinerja Model Peramalan dan Perbandingan <i>dengan Deep Learning</i> Lain.....	108
6.3.7. Hasil dan Pembahasan Kombinasi Fitur Data Lingkungan terhadap Kinerja Model Peramalan	109
6.3.7. Analisis Statistik Korelasi Variabel Lingkungan terhadap Turbiditas pada <i>Horizon Waktu Prediktif</i>	111
6.4. Keterbatasan Penelitian dan Rekomendasi untuk Penelitian Selanjutnya.	112
BAB VII KESIMPULAN dan SARAN.....	115
7.1. Kesimpulan	115
7.2. Saran	115
DAFTAR PUSTAKA	117