

DAFTAR ISI

| | |
|---|--------------|
| HALAMAN PENGAJUAN | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| INTISARI | xvii |
| ABSTRACT | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 4 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.4 Batasan Penelitian..... | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 5 |
| 1.6 <i>Data Management Plan</i> | 6 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 7 |
| 2.1 Karakteristik Fisikokimia dan Dinamika Fermentasi <i>Eco enzyme</i> | 7 |
| 2.1.1 Mekanisme Biokimia Fermentasi Limbah Buah..... | 7 |
| 2.1.2 <i>Profil Kurva pertumbuhan: Fase Lag, Log, dan Stasioner</i> | 8 |
| 2.1.3 Heteroskedastisitas pada Data Biologis <i>Time-Series</i> | 9 |
| 2.2 Semangka (<i>Citrullus lanatus</i>)..... | 9 |
| 2.2.1 Definisi semangka (<i>Citrullus lanatus</i>)..... | 9 |
| 2.2.2 Antioksidan dan Aktivitas Biologis..... | 10 |
| 2.2.3 Kandungan Nutrisi..... | 10 |
| 2.3 Pepaya (<i>Carica papaya</i>)..... | 11 |
| 2.3.1 Definisi Pepaya (<i>Carica papaya L.</i>)..... | 11 |
| 2.3.2 Kandungan Nutrisi Pepaya..... | 12 |
| 2.3.3 Aktivitas Enzimatis..... | 12 |
| 2.4 <i>Eco enzyme</i> | 13 |
| 2.4.1 Definisi <i>Eco enzyme</i> | 13 |
| 2.4.2 Proses pembuatan..... | 13 |



| | |
|--|-----------|
| 2.4.3 Kualitas | 14 |
| 2.4.4 Kandungan | 15 |
| 2.5 Parameter Pengujian <i>Eco enzyme</i> | 16 |
| 2.5.1 pH (Derajat Keasaman)..... | 16 |
| 2.5.2 Aktivitas Enzim (Protease, Amilase dan Lipase)..... | 16 |
| 2.5.3 Kandungan Unsur Hara (N,P,K) | 17 |
| 2.5.4 <i>Total Dissolved Solids</i> (TDS)..... | 17 |
| 2.5.5 <i>Electrical Conductivity</i> (EC)..... | 17 |
| 2.5.6 Hubungan Parameter terhadap kualitas <i>Eco enzyme</i> | 18 |
| 2.6 Faktor yang mempengaruhi Fermentasi <i>Eco enzyme</i> | 19 |
| 2.6.1 Komposisi Bahan baku | 19 |
| 2.6.2 Suhu dan Kelembaban | 20 |
| 2.6.3 Durasi Fermentasi | 20 |
| 2.6.4 Kondisi Kontrol | 21 |
| 2.7 Pemodelan Kinetika Reaksi dalam Bioproses | 21 |
| 2.7.1 Keterbatasan Model Linear (<i>Ordinary Least Square</i>) pada Sistem Non-Linear | 21 |
| 2.7.2 Model Pertumbuhan Sigmoidal (Logistik & Gompertz). | 22 |
| 2.8 Kinetika Reaksi kimia dan Bioproses | 23 |
| 2.8.1 Model Logistik 4-Parameter (4-PL)..... | 23 |
| 2.8.2 Kinetika Order Satu (<i>First Order Kinetics</i>) | 24 |
| 2.9 Analisis Data | 24 |
| 2.9.1 Regresi | 24 |
| 2.9.2 <i>Clustering</i> | 25 |
| 2.9.3 <i>Anomaly Detection</i> | 25 |
| 2.10 Keterkaitan dengan <i>Sustainable Development Goals</i> (SDGs)..... | 27 |
| 2.11 Gap Analysis | 27 |
| 2.11.1 Integrasi RSM dengan <i>machine learning</i> untuk <i>eco enzyme</i> | 27 |
| 2.11.2 Penerapan deteksi anomaly untuk QC produksi skala komunitas | 28 |
| 2.11.3 Bibliometrik dan Pemetaan Tren Penelitian..... | 29 |
| BAB III BAHAN DAN METODE PENELITIAN | 35 |
| 3.1 Pendekatan dan Jenis Penelitian | 35 |
| 3.2 Objek dan Lokasi Penelitian | 35 |
| 3.3 Waktu Penelitian | 36 |
| 3.4 Populasi dan Teknik Sampling..... | 36 |
| 3.4.1 Populasi Penelitian..... | 36 |



| | |
|---|----|
| 3.4.2 Sampel Penelitian..... | 36 |
| 3.4.3 Teknik Sampling | 38 |
| 3.4.4 Desain Eksperimental dan Konfigurasi Reaktor..... | 39 |
| 3.5 Analisis Kelayakan Teknis | 40 |
| 3.5.1 Ketersediaan bahan baku | 40 |
| 3.5.2 Kesesuaian Desain Percobaan..... | 40 |
| 3.5.3 Kecukupan Volume sampel..... | 40 |
| 3.5.4 Prinsip <i>Mass Balance</i> | 40 |
| 3.5.5 Asumsi Neraca Massa dan Kehilangan Volatil | 40 |
| 3.6 Peralatan dan bahan Penelitian | 41 |
| 3.6.1 Alat..... | 41 |
| 3.6.2 Bahan | 42 |
| 3.7 Pengumpulan Data | 42 |
| 3.7.1 Data Primer | 42 |
| 3.7.2 Data Sekunder | 43 |
| 3.8 Metode Pengumpulan Data..... | 43 |
| 3.8.1 Data Primer | 43 |
| 3.8.2 Data Sekunder..... | 44 |
| 3.9 Teknik Analisis Data | 44 |
| 3.9.1 Pra-pemrosesan dan Deteksi Anomali (<i>anomaly detection</i>) | 44 |
| 3.9.2 Deteksi Anomali berbasis <i>Euclidean Distance</i> | 45 |
| 3.9.3 Uji Statistik Komparatif..... | 45 |
| 3.9.4 Analisis Statisitk Multivariat..... | 45 |
| 3.9.5 Pemodelan kinetika fermentasi (<i>Non-Linear Regression</i>) | 46 |
| 3.9.6 Evaluasi Keباikan Model (<i>Goodness of fit</i>) | 47 |
| 3.10 Uji Validitas | 48 |
| 3.10.1 Validitas Instrumen dan Data Mentah..... | 48 |
| 3.10.2 Validitas Data Pengukuran | 48 |
| 3.10.3 Validitas model regresi (<i>Goodness of Fit</i>) | 49 |
| 3.10.4 Validitas Eksternal | 50 |
| 3.11 Tahapan Penelitian | 50 |
| 3.11.1 Survei Pendahuluan..... | 50 |
| 3.11.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah | 50 |
| 3.11.3 Penetapan Tujuan Penelitian dan Batasan Sistem..... | 50 |
| 3.11.4 Studi Pustaka dan Literatur | 51 |

| | | |
|---------------|---|-----------|
| 3.11.5 | Pengumpulan Data | 51 |
| 3.11.6 | Pengolahan Data | 51 |
| 3.11.7 | Interpretasi dan Analisis Hasil | 51 |
| 3.11.8 | Uji Komparasi | 52 |
| 3.11.9 | Evaluasi dan Strategi Perbaikan..... | 52 |
| 3.11.10 | Kesimpulan dan Saran | 53 |
| 3.12 | Diagram Alir Penelitian | 54 |
| BAB IV | HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 55 |
| 4.1 | Gambaran Umum Penelitian..... | 55 |
| 4.2 | Karakteristik Awal Bahan dan Kondisi Fermentasi | 57 |
| 4.2.1 | Karakteristik Awal Bahan | 57 |
| 4.2.2 | Kondisi Fermentasi | 58 |
| 4.3 | Dinamika Parameter Fisikokimia selama fermentasi | 59 |
| 4.3.1 | Perubahan pH..... | 59 |
| 4.3.2 | Perubahan <i>Total Dissolved Solids</i> (TDS)..... | 73 |
| 4.3.3 | Konduktivitas Listrik (EC) | 84 |
| 4.4 | Hasil Deteksi Anomali pH | 98 |
| 4.4.1 | Hasil Deteksi Anomali pH | 98 |
| 4.4.2 | Analisis Penyebab Potensial Anomali pH..... | 104 |
| 4.4.3 | Hasil Deteksi Anomali TDS..... | 106 |
| 4.4.4 | Analisis Penyebab Potensial Anomali TDS | 110 |
| 4.4.5 | Hasil Deteksi Anomali EC | 112 |
| 4.4.6 | Analisis Penyebab Potensial Anomali EC..... | 116 |
| 4.5 | Analisis Regresi Non Linear | 118 |
| 4.5.1 | Uji Asumsi dan Distribusi Data (pH, TDS, EC) | 118 |
| 4.5.2 | Penyusunan dan Pemilihan Model Regresi Non Linear | 122 |
| 4.5.3 | Analisis Kinetika dan Validasi Model..... | 125 |
| 4.5.4 | Hasil Estimasi Parameter dan Goodness-of-fit | 130 |
| 4.6 | Analisis <i>Clustering</i> dan PCA | 135 |
| 4.6.1 | Analisis PCA (<i>Principal Component Analysis</i>) | 135 |
| 4.6.2 | Clustering pH, TDS, EC | 139 |
| 4.7 | Implikasi Praktis dan Kontribusi | 142 |
| 4.7.1 | Implikasi praktis dan kontribusi keberlanjutan..... | 142 |
| 4.7.2 | Kontribusi terhadap tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) | 144 |
| 4.8 | Implementasi hasil penelitian | 145 |



| | |
|---|------------|
| 4.8.1 Implementasi Model Kinetika dengan Produksi..... | 145 |
| 4.8.2 Implementasi Model prediksi dalam pemantauan fermentasi | 147 |
| 4.8.3 Penerapan hasil <i>Clustering</i> dan PCA..... | 147 |
| 4.8.4 Pemanfaatan Deteksi Anomali untuk <i>Quality control</i> Produksi | 148 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 149 |
| 5.1 Kesimpulan | 149 |
| 5.2 Keterbatasan Penelitian..... | 149 |
| 5.3 Saran | 150 |
| DAFTAR PUSTAKA | 152 |
| LAMPIRAN..... | 160 |