

# **PEMODELAN PREDIKSI KUALITAS *ECO ENZYME* BERDASARKAN VARIABEL FERMENTASI DENGAN ANALISIS REGRESI, *CLUSTERING*, DAN DETEKSI ANOMALI**

## **INTISARI**

Inkonsistensi kualitas produk fermentasi eco enzyme akibat variasi bahan baku menuntut adanya standarisasi berbasis data guna menjamin efektivitas aplikasi akhir. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik fisikokimia, memodelkan kinetika laju reaksi, dan mengelompokkan profil kualitas *eco enzyme* berbasis limbah kulit buah (*Carica papaya* dan *Citrullus lanatus*) dengan variasi substrat Molase dan Gula Aren. Dataset time-series selama 90 hari dianalisis menggunakan pendekatan statistik multivariat (Principal Component Analysis dan K-Means *Clustering*, uji beda non-parametrik, serta pemodelan regresi non-linear. Hasil uji Kruskal-Wallis mengungkap temuan spesifik bahwa jenis gula berpengaruh sangat signifikan terhadap parameter mineralisasi (TDS dan EC,  $p < 0,001$ ), namun tidak berpengaruh nyata terhadap derajat keasaman akhir ( $p > 0,05$ ). Analisis *Clustering* memvalidasi segregasi produk menjadi dua kelompok distingtif, yaitu klaster High-Mineral (basis Molase) dan High-Purity (basis Gula Aren), dengan nilai validitas *Silhouette Coefficient* sebesar 0,991. Lebih lanjut, dinamika fermentasi berhasil dimodelkan dengan presisi tinggi ( $R^2 > 0,98$ ) menggunakan Model Logistik 4-Parameter untuk mineralisasi dan Kinetika Orde Satu untuk asidifikasi. Estimasi parameter kinetika menunjukkan bahwa laju reaksi maksimum terjadi secara sinkron pada hari ke-25, meskipun Molase memiliki beban ionik awal 2,5 kali lebih tinggi dibandingkan Gula Aren. Penelitian ini merekomendasikan penggunaan Molase untuk aplikasi pupuk hayati dan Gula Aren untuk produk sanitasi, serta mengintegrasikan algoritma deteksi anomali sebagai instrumen kendali mutu produksi.

Kata kunci: *Eco Enzyme*, *Kinetika Fermentasi*, *Model Logistik 4-Parameter*, *K-Means Clustering*, *Deteksi Anomali*.

## MODELING THE PREDICTION OF ECO ENZYME QUALITY BASED ON FERMENTATION VARIABLES USING REGRESSION ANALYSIS, CLUSTERING, AND ANOMALY DETECTION

### ABSTRACT

The inconsistency in the quality of *Eco Enzyme* fermentation products due to raw material variations necessitates data-driven standardization to ensure end-use efficacy. This study aims to evaluate physicochemical characteristics, model reaction rate kinetics, and categorize quality profiles of *Eco Enzyme* derived from fruit peel waste (*Carica papaya* and *Citrullus lanatus*) with Molasses and Arenga Sugar substrates. A 90-day time-series dataset was analyzed using multivariate statistical approaches (*Principal Component Analysis* and *K-Means Clustering*), non-parametric difference tests, and non-linear regression modeling. *Kruskal-Wallis* tests revealed that sugar type significantly affects mineralization parameters (TDS and EC,  $p < 0.001$ ) but has no significant effect on final acidity ( $p > 0.05$ ). Clustering analysis validated the segregation of products into two distinctive groups: *High-Mineral* (Molasses-based) and *High-Purity* (Arenga-based) clusters, with a *Silhouette Coefficient* validity score of 0.991. Furthermore, fermentation dynamics were successfully modeled with high precision ( $R^2 > 0.98$ ) using the 4-Parameter Logistic Model for mineralization and First-Order Kinetics for acidification. Kinetic parameter estimation indicated that the maximum reaction rate occurred synchronously on day 25, despite Molasses having an initial ionic load 2.5 times higher than Arenga Sugar. This study recommends Molasses for bio-fertilizer applications and Arenga Sugar for sanitation products, integrating anomaly detection algorithms as quality control instruments.

**Keywords:** *Eco Enzyme, Fermentation Kinetics, 4-Parameter Logistic Model, K-Means Clustering, Anomaly Detection.*