

INTISARI

Sampah plastik, khususnya *Linear Low-Density Polyethylene* (LLDPE), merupakan ancaman besar bagi lingkungan karena ketahanannya terhadap degradasi biologis lambat. Meskipun memiliki sifat mekanik dan fleksibilitas unggul, LLDPE sangat lambat terurai. Salah satu solusi untuk mempercepat degradasinya adalah dengan menambahkan bahan alami yang mudah terdegradasi, seperti glukomanan dari tepung porang (*Amorphophallus muelleri* Blume), yang dapat digunakan sebagai pengisi aktif (*filler*) dalam pembuatan bioplastik. Penelitian ini bertujuan mengembangkan proses pembuatan bioplastik dari tepung porang agar menghasilkan produk yang dapat terdegradasi secara alami. Tujuan khususnya adalah mengembangkan formula bioplastik tepung porang-LLDPE dengan sifat mekanik dan kecepatan biodegradasi optimal, serta memenuhi mutu SNI 7188.7:2022. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi korelasi komposisi bahan dan parameter kinetika biodegradasi menggunakan model kinetika Komilis.

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini yaitu, **pertama**, formula bioplastik berbasis LLDPE dan tepung porang secara signifikan memengaruhi parameter kinetika biodegradasi, termasuk konstanta laju hidrolisis (k_r , k_m , k_s), laju mineralisasi (k_{aq}), serta fraksi karbon awal (C_{r0} , C_{m0} , C_{s0} , C_{aq0}), sehingga dapat mempercepat proses biodegradasi aerobik dibandingkan dengan LLDPE murni. **Kedua**, perubahan parameter kinetika tersebut dapat digunakan sebagai indikator kuantitatif untuk menilai efektivitas penambahan tepung porang dan aditif lainnya dalam mempercepat degradasi bioplastik pada kondisi pengomposan aerobik.

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap: Formulasi Bioplastik, Karakterisasi Biodegradasi, dan Analisis Komposisi Bahan dan Laju Biodegradasi. Pada **Tahap 1 (Formulasi Bioplastik)**, bioplastik dibuat dengan metode proses I dan II dan diformulasikan dengan variasi konsentrasi *compatibilizer* (1, 2, dan 3%), jenis inisator berbeda (DCP, BPO, dan TBPB), perbedaan jenis tepung yang digunakan (PRO, PK, dan GM), dan variasi rasio penambahan tepung terhadap LLDPE ($R10$, $R20$, $R30$, dan $R40$) untuk mendapatkan sifat mekanik bioplastik yang memenuhi kriteria SNI 7188.7:2022. Bioplastik yang dihasilkan kemudian dianalisis dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi, TGA untuk mengetahui ketahanan termal dan komposisi karbon padat, *water absorption* untuk ketahanan terhadap air, dan SEM untuk mengetahui karakteristik morfologi. **Tahap 2 (Karakterisasi Biodegradasi)** dilakukan uji biodegradasi menggunakan metode pengomposan aerobik yang mengacu pada ASTM D5338-15 yaitu menggunakan *waterbath* pada suhu 58 ± 2 °C selama 45 hari. Selama pengomposan, sampel jumlah produksi CO₂ dihitung setiap 2 hari sekali. Selanjutnya, media kompos yang digunakan diuji lebih lanjut untuk mengetahui jumlah mikroplastik yang terbentuk dan uji DNA metagenomik untuk mengetahui mikroorganisme yang terlibat dalam pengomposan. Tahap terakhir, yaitu **Tahap 3 (Analisis Komposisi Bahan dan Laju Biodegradasi)** mengintegrasikan data hasil eksperimen biodegradasi menggunakan simulasi Model Komilis,



untuk mengevaluasi korelasi komposisi bahan bioplastik dan parameter kinetika laju biodegradasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembuatan bioplastik dengan proses pencampuran menggunakan Metode II lebih efektif, menghasilkan distribusi material lebih homogen dan tekstur plastis dengan performa mekanik yang lebih baik serta memenuhi mutu SNI. Penambahan *maleic anhydride* sebanyak 1% (MA 1%) menghasilkan kekuatan tarik terbaik. Bioplastik dengan tambahan inisiator benzoil peroksida (sampel *BPO*) memiliki kekuatan tarik mencapai 25,21 MPa dan elongasi sebesar 86,57% sehingga memenuhi mutu SNI. Sampel bioplastik dengan tambahan tepung porang rendah oksalat (sampel *PRO*) memberikan kekuatan tarik tertinggi (25,2 MPa) dan struktur yang lebih stabil dibandingkan dengan tepung porang kasar (PK), yang mengandung kalsium oksalat tinggi. Analisis FTIR, stabilitas termal, penyerapan air, dan morfologi permukaan menunjukkan bahwa sampel *PRO*, *BPO*, dan *R20* memiliki sifat mekanik, termal, dan kohesi antarpartikel yang lebih baik.

Pada tahap biodegradasi, sampel PK menghasilkan jumlah CO₂ tertinggi (344.846 mg) dan memiliki konstanta laju hidrolisis karbon (k_r) dan mineralisasi (k_{aq}) yang tinggi yaitu sebesar $1,26 \times 10^{-1} \pm 0,06$ dan $10,21 \pm 0,81$. Sampel PK memiliki potensi yang baik dalam proses biodegradasi karena nilai konstanta yang dimiliki mengindikasikan laju proses hidrolisis dan mineralisasi yang cepat. Mikroorganisme dari genus *Acinetobacter*, *Aspergillus*, *Pseudomonas*, dan *Streptomyces* dengan kelimpahan relatif 0,694% terlibat dalam aktivitas biodegradasi. Sampel PK memiliki nilai konstanta laju k_r tinggi yang sejalan dengan dominasi mikroorganisme pada tahap biodeteriorasi dan k_{aq} pada tahap mineralisasi, yang mendukung konversi karbon menjadi CO₂. Selain itu, sampel PK menghasilkan jumlah mikroplastik terbanyak (21 unit), dengan ukuran rata-rata terkecil (<1 mm). Degradasi karbon pada sampel PK berhubungan dengan perubahan fraksi karbon C_r dan C_m , yang menunjukkan fragmentasi struktural dan pembentukan mikroplastik.

Optimasi kondisi lingkungan pengomposan perlu dilakukan secara presisi untuk mendukung aktivitas mikroorganisme dalam dekomposisi karbon. Penerapan konsorsium mikroorganisme spesifik dapat mempercepat proses dekomposisi fraksi karbon. Penggunaan tepung porang kasar sebagai bahan baku bioplastik perlu dikontrol ketat untuk memastikan distribusi dan homogenitas yang optimal. Potensi pelepasan mikroplastik ke lingkungan dapat diminimalisir dengan sistem biodegradasi berkelanjutan yang efektif. Penelitian ini diharapkan memberikan solusi kemasan ramah lingkungan dan mendukung pengembangan industri tepung porang nasional dengan menghasilkan bioplastik yang memenuhi standar dan mampu terdegradasi dengan optimal.

Kata kunci: bioplastik, tepung porang, LLDPE, kalsium oksalat, biodegradasi aerobik

ABSTRACT

Plastic waste, particularly Linear Low-Density Polyethylene (LLDPE), poses a significant environmental threat due to its resistance to slow biological degradation. Despite its excellent mechanical properties and flexibility, LLDPE degrades very slowly. One solution to accelerate its degradation is by adding natural, easily degradable materials, such as glucomannan from porang flour (*Amorphophallus muelleri* Blume), which can be used as an active filler in bioplastic production. This study aims to develop a bioplastic manufacturing process from porang flour to produce products that degrade naturally. The specific objectives are to develop a porang-LLDPE bioplastic formulation with optimal mechanical properties and biodegradation rates, while meeting the SNI 7188.7:2022 standard. Furthermore, this study also aims to evaluate the correlation between the composition of the bioplastic and biodegradation kinetics parameters using the Komilis kinetics model.

The hypothesis proposed in this study is that, **first**, the porang-LLDPE bioplastic formulation significantly affects biodegradation kinetics parameters, including the hydrolysis rate constant (k_r , k_m , k_s), mineralization rate (k_{aq}), and initial carbon fractions (C_{r0} , C_{m0} , C_{s0} , C_{aq0}), thereby accelerating the aerobic biodegradation process compared to pure LLDPE. Second, changes in these kinetic parameters can serve as quantitative indicators to assess the effectiveness of adding porang flour and other additives in accelerating the biodegradation of bioplastics under aerobic composting conditions.

This research is conducted in three stages: Bioplastic Formulation, Biodegradation Characterization, and Material Composition and Biodegradation Rate Analysis. **Stage 1 (Bioplastic Formulation)** involves the production of bioplastics using Process Method I and II, with variations in compatibilizer concentration (1%, 2%, and 3%), different initiator types (DCP, BPO, and TBPB), types of flour used (PRO, PK, and GM), and ratios of flour to LLDPE ($R10$, $R20$, $R30$, and $R40$) to achieve the desired mechanical properties that meet SNI 7188.7:2022 standards. The resulting bioplastics are analyzed using FTIR to identify functional groups, TGA to determine thermal resistance and solid carbon composition, water absorption for water resistance, and SEM to examine morphological characteristics. **Stage 2 (Biodegradation Characterization)** involves biodegradation testing using the aerobic composting method as per ASTM D5338-15, using a water bath at 58 ± 2 °C for 45 days. During composting, CO₂ production is measured every two days. The compost media is further tested to determine the amount of microplastics formed and undergoes metagenomic DNA testing to identify microorganisms involved in the composting process. The final stage, **Stage 3 (Material Composition and Biodegradation Rate Analysis)**, integrates biodegradation experimental data with the Komilis Model simulation to evaluate the correlation between bioplastic material composition and biodegradation rate kinetics parameters.



The results of this study show that the bioplastic manufacturing process using Method II is more effective than Method I, resulting in a more homogeneous material distribution, plastic texture, and better mechanical performance, meeting SNI standards. The addition of 1% maleic anhydride (MA 1%) yields the best tensile strength, while higher concentrations reduce tensile strength. Bioplastics with the addition of BPO initiator show the best mechanical performance, achieving a tensile strength of 25.21 MPa and an elongation of 86.57%, which meets SNI standards. Samples with low-oxalate porang flour (PRO) achieve the highest tensile strength (25.2 MPa) and more stable structure compared to crude porang flour (PK), which contains high calcium oxalate. FTIR analysis, thermal stability, water absorption, and surface morphology show that PRO, BPO, and R20 (20:80 flour-LLDPE ratio) samples exhibit better mechanical, thermal, and interparticle cohesion properties than other samples.

In the biodegradation stage, the PK sample produced the highest amount of CO₂ (344,846 mg) and exhibited high hydrolysis (k_r) and mineralization (k_{aq}) rate constants of $1.26 \times 10^{-1} \pm 0.06$ and 10.21 ± 0.81 , respectively. The PK sample demonstrate good potential in the biodegradation process, as the value of the constant indicate a rapid rate of hydrolysis and mineralization. Microorganisms from the genera *Acinetobacter*, *Aspergillus*, *Pseudomonas*, and *Streptomyces*, with a relative abundance of 0.694%, were involved in biodegradation activity. The high k_r value in the PK sample correlates with the dominance of microorganisms in the biodeterioration stage and k_{aq} during mineralization, supporting the conversion of carbon into CO₂. Additionally, the PK sample produced the most microplastics (21 units), with an average size of less than 1 mm. Carbon degradation in the PK sample correlates with changes in the C_r and C_m carbon fractions, indicating structural fragmentation and microplastic formation.

Optimizing composting environmental conditions, must be done precisely to support microorganism activity in carbon decomposition. The application of specific microbial consortia can also accelerate the decomposition of carbon fractions. The use of coarse porang flour as a bioplastic raw material needs to be strictly controlled to ensure optimal distribution and homogeneity. The potential release of microplastics into the environment can be minimized with an effective, sustainable biodegradation system. This study is expected to provide a solution for environmentally friendly packaging and support the development of the national porang flour industry by producing bioplastics that meet standards and degrade optimally.

Keywords: bioplastics, konjac flour, LLDPE, calcium oxalate, aerobic biodegradation