Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)
home page journal:
https://ojs.unimal.ac.id/cejs/index
Chemical Engineering Journal Storage

# PEMBUATAN PLASTIK *DEGRADABLE* DARI SELULOSA BATANG ECENG GONDOK (*EICHORNIA CRASSIPES*) DENGAN PENAMBAHAN *POLYLACTIC ACID* (PLA)

**Ananda Melan Amanah, Rozanna Dewi, Zulnazri, Meriatna, Faisal**
Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355
Korespondensi: Rozanna.dewi@unimal.ac.id

**Abstrak**

*Plastik mudah terurai yang berasal dari bahan baku alami disebut plastik degradable. Pati adalah bahan baku. Karena sifatnya yang dapat didegradasi, mudah diproses, murah, dan mudah diperoleh, pati digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan bioplastik. Polylactic Acid (PLA) dapat ditambahkan ke plastik yang dapat didegradasi secara alami untuk meningkatkan sifat termal. PLA (Polylactic Acid) juga dapat terdegradasi secara alami di dalam tubuh tanpa menyebabkan kerusakan. Dalam penelitian sebelumnya, plastik yang dapat terdegradasi ini dibuat dengan bahan dasar pati sukun dan ditambahkan bahan penguat polylactic acid (PLA). Pada penelitian ini diperoleh hasil biodegradability terbaik yaitu variasi massa PLA (Polylactic Acid) 3 gram dan massa pati 3,5 gram, kemudian uji derajat swelling diperoleh hasil yang terbaik pada yaitu variasi massa PLA (Polylactic Acid) 3 gram dan massa pati 3,5 gram, dimana % penyerapannya sebesar 10 ,53%, dan hasil analisa TGA, titik lelehnya dimulai pada suhu sebesar 367,61°C sampai 401,17°C.*

**Kata Kunci:** *Biodegradability, Selulosa, Eceng Gondok, Polylactic Acid* dan *Swelling*

DOI: https://doi.org/10.29103/cejs.v5i2.19818

## 1. Pendahuluan

Dengan populasi 270,20 juta orang, Indonesia menghasilkan 33.133.277,69 ton timbulan sampah pada tahun 2020, tetapi hanya 15.167.553,06 ton, atau sekitar 45,81% dari timbunan sampah yang tertangani. Sampah plastik merupakan 17,07% dari semua timbunan sampah di Indonesia, menempatkannya di urutan kedua terbanyak berdasarkan jenis sampah (Maskun, et.al., 2022).

Dibandingkan material lain, plastik memiliki beberapa keunggulan. Mengingat semua manfaat ini, sampah plastik menjadi sebuah masalah. Fakta bahwa plastik tidak terurai di dalam tanah adalah satu-satunya faktor yang berkontribusi terhadap masalah ini. Penguraian sampah dari bahan plastik di dalam tanah membutuhkan waktu puluhan tahun. (Landi & Arijanto, 2017). Hampir setiap produk industri menggunakan plastik sebagai kemasan atau sebagai bahan dasar. Setiap tahun sekitar 100 juta ton plastik diproduksi dunia untuk digunakan di berbagai sektor industri dan sekitar itulah limbah plastik yang dihasilkan setiap tahun (Arini et al., 2017). Plastik konvensional yang digunakan berasal dari minyak bumi yaitu sumber daya fosil yang sebagian besar tidak dapat didegradasi sehingga dapat menimbulkan pencemaran terhadap sekitar.

*Biodegradable film* disebut sebagai plastik yang *renewable (*terbarukan), karena berasal dari senyawa-senyawa yang yang tersedia di alam, salah satunya yaitu selulosa. Menurut Pratiwi (2016), selulosa memiliki sifat termoplastik, sehingga potensial sebagai bahan pengemas dan cocok dijadikan sebagai bahan baku dalam pembuatan *biodegradable film*. Salah satu sumber daya alam yang berpotensi sebagai bahan baku selulosa dalam pembuatan *biodegradable film* adalah eceng gondok. ). Komponen serat yang terdapat pada eceng gondok terdiri dari 72,63% selulosa, 8% hemiselulosa dan 17 % lignin. Dimana serat selulosa yang terdapat pada eceng gondok cukup tinggi sehingga berpotensi sebagai bahan pembuatan bioplastik.

*Polylactic acid* (PLA) adalah polimer yang dapat terurai secara alami dan dibuat dari bahan yang berasal dari sumber daya alam. Asam laktat, bahan dasar PLA, dapat diproduksi melalui proses enzimatik menggunakan pati sebagai bahan baku. PLA memiliki berbagai aplikasi, termasuk di bidang biomedis, kemasan, tekstil, dan produk teknis lainnya. Faktor seperti bakteri, panas, dan cahaya dapat mempengaruhi kestabilan PLA. Keunggulan PLA adalah kemampuannya untuk terdegradasi secara alami tanpa menimbulkan kerusakan lingkungan, serta kemampuannya untuk terurai dalam tubuh manusia. PLA dapat diproduksi dari tanaman seperti jagung, kentang, dan sagu, dan sifat mekaniknya dapat

ditingkatkan dengan menggunakan *compatibilizer*, menjadikannya setara dengan polimer berbasis fosil dalam beberapa aspek (Nurul, 2015).

Untuk alasan yang diuraikan di atas, penulis berhipotesis bahwa interaksi antar variabel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat fisik campuran. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan plastik *biodegradable* yang dibuat dari selulosa batang eceng gondok dengan PLA. Sejauh ini *xylene* digunakan sebagai pelarut, dan MAH digunakan sebagai *compatibilizer* yang digunakan untuk produk plastik *degradable* menggunakan selulosa dan *polylactic acid* (PLA) sebagai bahan tambahannya, dimana PLA yang memiliki kekurangan sulit merekat dengan pelarut non polar. Sehingga penulis akan melakukan penelitian dengan judul **"Pembuatan Plastik *degradable* dari Selulosa Batang Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) dengan Penambahan *Polylactic Acid* (PLA)".**

## 2. Bahan dan Metode

### 2.1 Bahan dan peralatan

Untuk penelitian ini, hal-hal berikut diperlukan ialah selulosa batang eceng gondok, PLA (*Polylactic Acid*), *Xylene*, *Maleic Anhidrat* (MAH), Sementara peralatan yang digunakan ada *hot plate*, *hot press*, *beaker glass*, dan batang pengaduk, dan gelas ukur. Adapun metode penelitian ini terdiri 3 tahapan yaitu tahap preparasi limbah batang eceng gondok, ekstraksi selulosa batang eceng gondok dan pembuatan film bioplastik.

### 2.2 Metode Penelitian

Uji biodegradabilitas dilakukan dengan memotong sampel 5 x 2 cm dan menimbangnya sebagai berat awal, dilakukan penguburan dengan kedalaman lubang sedalam 30 cm, lalu ditanam selama 12 hari dan dilakukan pembongkaran setiap 4 hari sekali, untuk ditimbang dan didapatkan berat akhirnya. Untuk mengetahui persen terdegradasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Biodegradabilitas (\%)} = \frac{M0-M1}{M0} \times 100\ \% \quad \text{..... (1)}$$

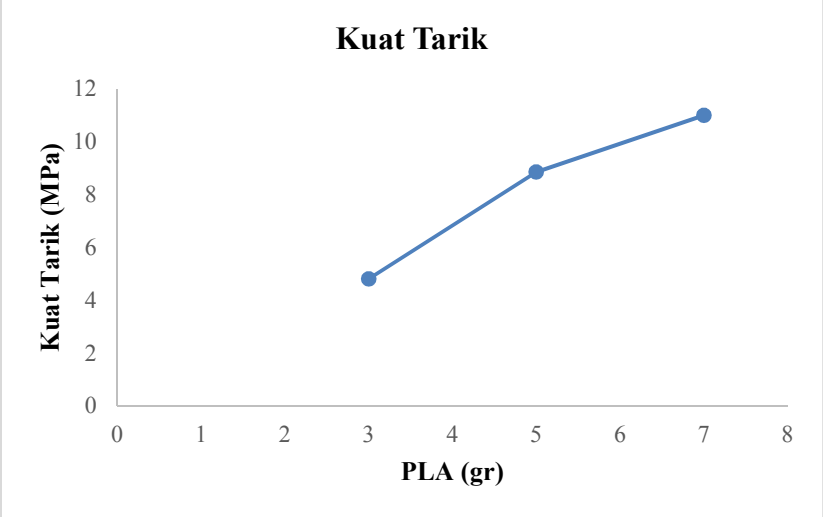
Untuk menghitung daya serap air dilakukan pemotongan sampel dengan ukuran 2 x 1 cm dan berat awal ditimbang. Untuk mengetahui kadar abu, sampel dipanggang selama dua, selanjutnya sampel di rendam selama 24 jam. Setelah 24 jam sampel yang mengembang di timbang sebagai pengukuran berat akhir. Dihitung daya serap air menggunakan persamaan berikut :

$$Derajat\ Swelling = \frac{Berat\ Sampel\ yang\ mengembang - berat\ sampel\ awal}{berat\ sampel\ awal} \times 100\ \% \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

## 3. Hasil Penelitian

### 3.1. *Tensile Strenght* (Kuat Tarik)

*Tensile streght* (kuat tarik) yang dapat ditanggung suatu bahan sebelum patah ketika didorong atau diregangkan dikenal sebagai kekuatan tariknya. Sifat mekanik suatu material diubah oleh ukuran masing-masing komponen. (Sarifah, 2017). Adapun grafik *tensile streght* (kuat tarik) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1:




**Gambar 3.1** Kuat Tarik Terhadap Massa *Polylactic Acid*

Berdasarkan Gambar 3.1 menunjukkan hasil pengujian kuat tarik bahwa variasi massa *polylactic acid* (PLA) mempengaruhi nilai kekuatan tarik. Hasil kuat tarik pada plastik *degradable* diperoleh paling tinggi yaitu 10,993 Mpa pada variasi massa *polylactic acid* (PLA) 7 gram dan hasil kuat tarik pada plastik *degradable* diperoleh paling rendah yaitu 4,7983 Mpa. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai kuat tarik yang optimum pada penelitian ini pada

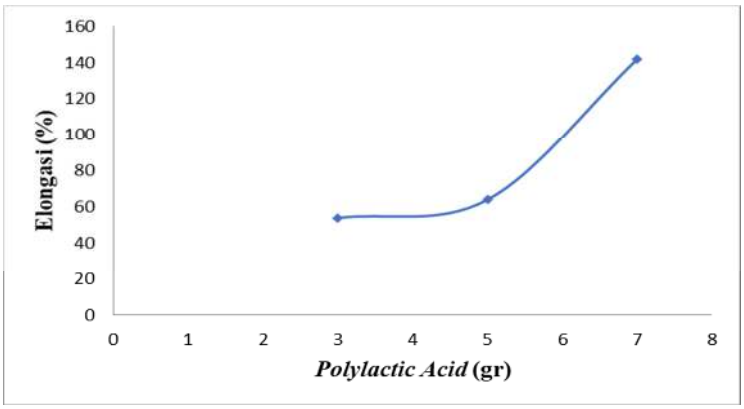
variasi massa *polylactic acid* (PLA) 7 gram yang ditandai dengan semakin besar *polylactic acid* (PLA) yang digunakan maka semakin besar pula peningkatan nilai kuat tariknya (Sarifah, 2017).

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 7818:2014), plastik degradable harus memiliki kuat tarik minimal sebesar 24 MPa. Hasil penelitian menunjukkan nilai kuat tarik sebesar 24,7 hingga 30,2 MPa, yang sudah melampaui standar ini (Wisnawa P & Harsojuwono, 2021). Sebagai perbandingan, Japanese International Standard (JIS-Z-1707:1975) menetapkan nilai kuat tarik minimum yang lebih rendah, yaitu 3,92 MPa.

Penurunan nilai kuat tarik dalam beberapa kasus kemungkinan disebabkan oleh ketidakseragaman bahan bioplastik. Homogenitas material sangat memengaruhi kuat tarik plastik degradable. Semakin seragam komponen penyusunnya, semakin rapat dan homogen lapisan yang terbentuk, sehingga menghasilkan nilai kuat tarik yang lebih tinggi (Coniwanti dkk., 2015).

## 3.2. Elongasi

Elongasi adalah perubahan panjang terbesar dari film sebelum terputus atau patah saat ditambahkan beban. Persentase pemanjangan adalah ketika plastik patah setelah mengalami perubahan panjang dibandingkan dengan ukurannya saat teregang (Sarifah, 2017). Nilai elongasi pada plastik *degradable* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2:

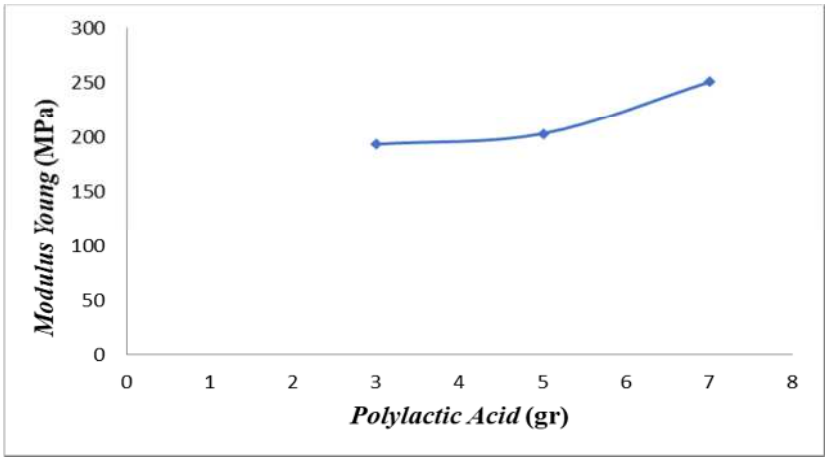



**Gambar 3.2** Uji Elongasi Terhadap Massa *Polylactic Acid*

Pada penelitian ini nilai elongasi tertinggi pada variasi massa *polylactic acid* (PLA) 7 gram yaitu 141,6 % dan elongasi terendah pada variasi massa *polylactic acid* (PLA) 3 gram yaitu 53,8%. Selain itu, kekuatan tarik yang meningkat disertakan dengan terisinya pori-pori kosong dari campuran film yang mengandung *polylactic acid* (PLA) meningkatkan elongasi dan kekuatan tarik. Nilai elongasi di bawah 15% menunjukkan bahwa bahan ini masih rapuh. (El Hadi, et al., 2017).

### 3.3. *Modulus Young*

*Modulus young* merupakan perbandingan besaran kekuatan kekuatan tarik terhadap elongasi (persen pemanjangan). Untuk mengukur kekuatan bahan yang dihasilkan, digunakan ialah *modulus young*. Nilai *modulus young* pada plastik yang dapat didegradasi dapat dilihat pada Gambar 3.3:

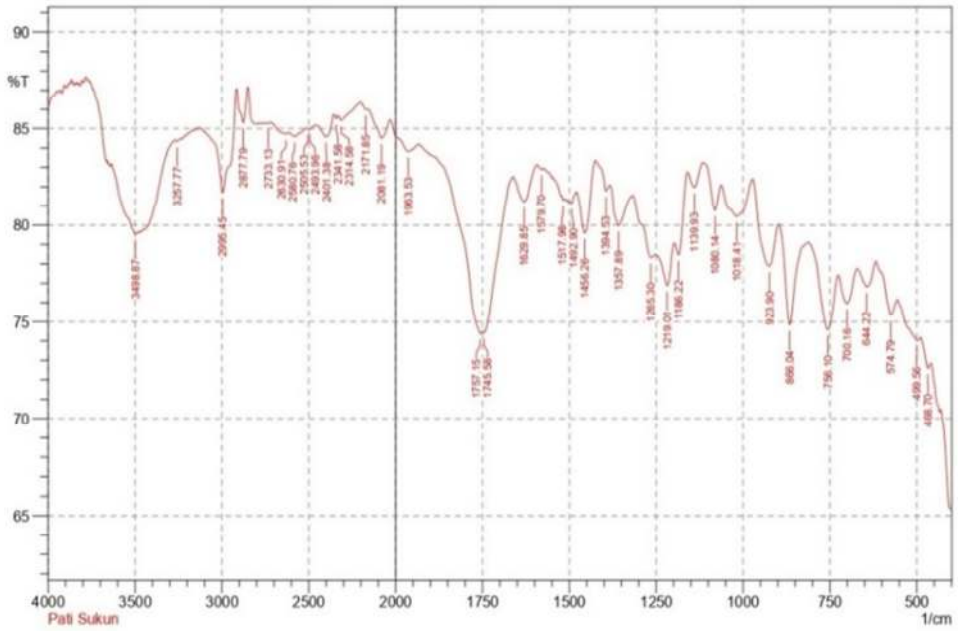



**Gambar 3.3** *Modulus Young* Terhadap Massa *Polylactic Acid*

Pada penelitian ini nilai *modulus young* tertinggi pada variasi massa *polylactic acid* (PLA) 7 gram yaitu 250,71 MPa dan *modulus young* terendah pada variasi massa *polylactic acid* (PLA) 3 gram yaitu 193,14 MPa. Hal ini disebabkan karena *modulus young* dipengaruhi oleh elongasi dan kekuatan tarik. Nilai kekuatan tarik dan regangan tarik yang lebih tinggi menunjukkan *modulus young* yang lebih besar dan benda yang lebih elastis. (Melanie, 2013).

### 3.4. Uji FTIR

Analisa gugus fungsi dimaksudkan untuk melihat gugus fungsi yang terbentuk dari sampel yang dibuat dan juga memprediksi reaksi polimerisasi yang terbentuk. Karena masing-masing gugus fungsi memiliki puncak karakteristik tertentu, panjang gelombang puncak-puncak karaktersitik sampel menunjukkan bahwa gugus fungsi tertentu ada dalam sampel. Ini adalah dasar dari analisis. Gambar 3.4 menunjukkan hal ini:

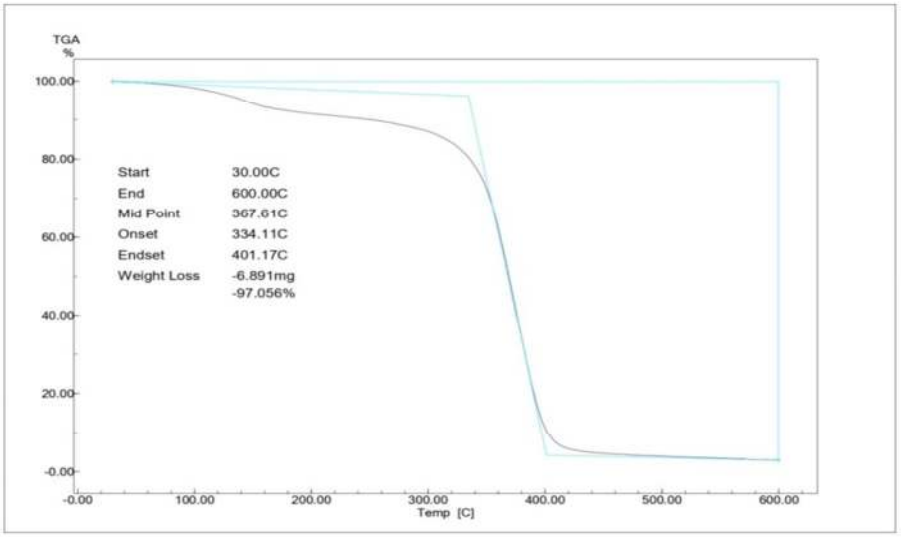



**Gambar 3.4** Hasil Analisa Gugus Fungsi

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat hasil yang diperoleh adanya gugus O-H terjadi. *Range* daerah serapan untuk gugus O-H adalah 2505,53 $cm^{-1}$ – 3257,77 $cm^{-1}$ . Ini menunjukkan bahwa pada bahan dasar termoplastik dari sukun memiliki gugus hidroksil O-H yang bebas karena jumlah atom yang ada berkurang untuk mengikat atom hidrogen (Fengel & Gred, 1995). Selanjutnya terdapat gugus fungsi C-H pada range daerah serapan adalah 2877,79 $cm^{-1}$ – 2995,45 $cm^{-1}$ yang merupakan karateristik analisa gugus fungsi yang struktur *polylactic acid* (PLA) dapat dilihat pada rentang bilangan gelombang 2850 $cm^{-1}$ hingga 2999 $cm^{-1}$ yang menunjukkan gugus C-H dan gugus fungsi C=O pada rentang daerah serapan 1745,58 $cm^{-1}$ hingga 1757,15 $cm^{-1}$ yang menunjukkan ikatan antara *maleat anhidrat*, *polylactic acid* (PLA), dan yang sudah terikat silang selama proses *grafting.*

### 3.5. *Thermogravimetric Analysys* (TGA)

*Thermogravimetric Analysys* (TGA) merupakan cara untuk mengukur, variasi berat dipengaruhi oleh suhu pemanasan. Dekomposisi, atau pemutusan ikatan kimia, menyebabkan sampel kehilangan berat massa. Gambar 3.5 menunjukkan hasil analisis termogravimetrik (TGA):




**Gambar 3.5** Hasil Analisa *thermogravimetric analysys* (TGA)

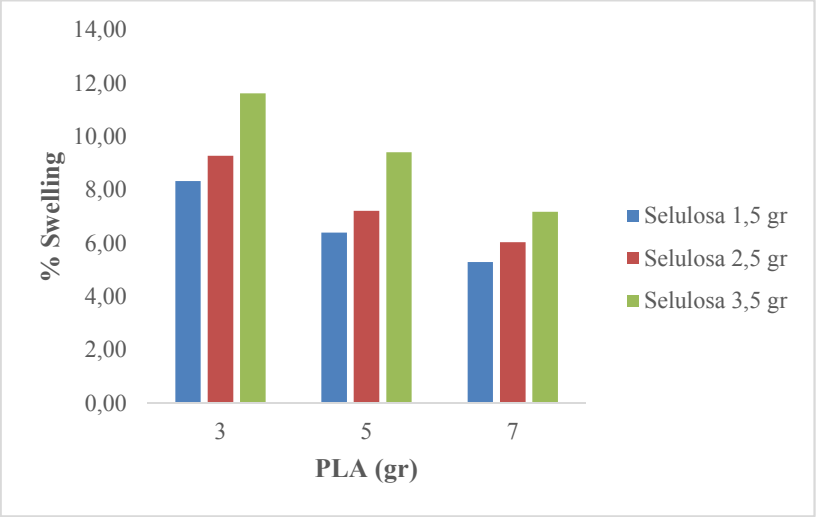
Analisis *Thermogravimetric* (TGA) dilakukan untuk kemurnian sampel, proses dekomposisi, degradasi termal, serta reaksi kimia yang menyebabkan perubahan berat material akibat adsorpsi, desorpsi, dan kinetika kimia. TGA bekerja dengan menggabungkan perubahan berat sebagai fungsi dari suhu selama pemanasan. Karakterisasi ini berguna untuk mengidentifikasi kehilangan berat (*weight loss*) atau penambahan berat sampel (*gas fixation*). Grafik TGA berupa plot perubahan massa terhadap suhu, dengan sumbu y menunjukkan persentase penurunan massa pada sumbu X.

Pada Gambar 3.5, kurva TGA menunjukkan bahwa variasi termal menghasilkan proses endotermik, yang berkaitan dengan pembentukan interaksi antara selulosa, xilen, anhidrida maleat, asam polilaktat, dan polipropilena dari bahan yang digunakan. Bioplastik berbasis selulosa batang eceng gondok mulai menunjukkan degradasi massa secara perlahan pada suhu 30°C, yang disebabkan oleh penguapan kontaminan dan bahan tambahan lain dalam bioplastik.

Penurunan massa yang signifikan dimulai pada suhu 342,43°C hingga 417,06°C, di mana sebagian besar material terdekomposisi, dan pada suhu 600°C, material habis seluruhnya. Total penurunan berat (penurunan berat) untuk sampel ini mencapai 98,638%.

### 3.6 Uji Derajat *Swelling*

Pada penelitian ini, derajat *swelling* diuji untuk menentukan kemampuan dan ketahanan plastik *degradable* terhadap air. Analisa uji derajat *swelling* dilakukan untuk mengetahui jumlah cairan yang diserap, yang menyebabkan bioplastik membengkak atau mengembang. Derajat *swelling* dilakukan dengan cara menimbang plastik *degradable* yang kering dan direndam dengan menggunakan pelarut (air) selama 24 jam kemudian ditimbang berat akhirnya. *Swelling* yang disebabkan oleh air yang berdifusi ke film bioplastik meningkat dengan durasi pengamatan (Agustin and Padmawijaya 2018). Adapun grafik derajat *swelling* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6:




**Gambar 3.6** Uji Derajat *Swelling*

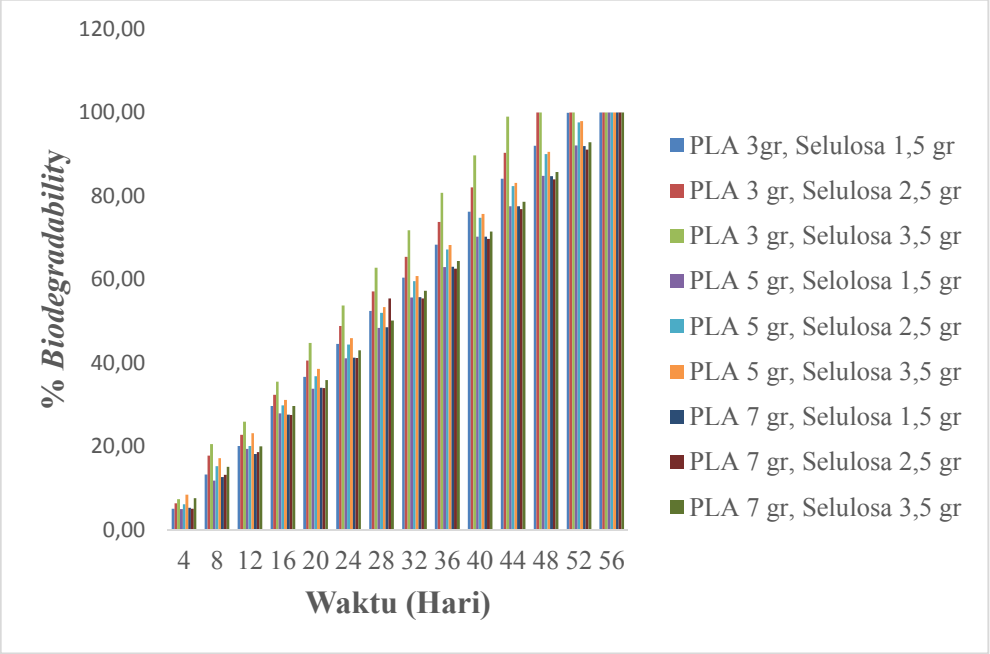
Berdasarkan Gambar 3.6 menunjukkan bahwa variasi massa pati dan variasi massa *polylactic acid* (PLA) mempengaruhi ketahanan air. Dapat dilihat bahwa hasil pengujian derajat *swelling* pada plastik *degradable* didapatkan hasil yang tertinggi yaitu sebesar 10,53% pada sampel variasi massa *polylactic acid* (PLA) 3 gram dan selulosa 3,5 gram sedangkan hasil pengujian derajat *swelling* pada plastik *degradable* terendah yaitu sebesar 5,42% pada sampel variasi massa

*polylactic acid* (PLA) 7 gram dan selulosa 1,5 gram. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan *polylactic acid* (PLA) mengurangi kemampuan film untuk menyerap air.

Rahmayetty (2018) menyatakan bahwa plastik *degradable* karena mengandung *polylactic acid* (PLA), produk yang mengandung *polylactic acid* (PLA) akan lebih sedikit menyerap air. *Polylactic acid* (PLA) adalah hidrofobik (tidak mudah menyerap air). Sifat dari selulosa adalah hidrofilik yang meyebabkan mudahnya film yang berfungsi untuk menyerap air. Gabungan polimer hidrofobik dan hidrofilik membantu memperbaiki sifat degradasi tetapi tidak mengurangi kerapuhan.

### 3.6. Uji *Biodegradability*

Uji biodegradasi di lakukan dalam tanah bertujuan untuk mengetahui berapa lama plastik biodegradable membutuhkan waktu untuk terurai dengan baik di lingkungan. Polimer alami dan sintetik berbeda karena mudah terdegradasi dalam plastik (Avella et al. 2009). Sampel plastik *degradable* dikubur dalam tanah dengan menjaga suhu dan kelembapan tanah stabil. Pengujian degradasi plastik *degradable* dilakukan selama 60 hari dan dihitung bobotnya dalam 4 hari sekali. Terlihat terjadi pengurangan nilai bobot pada sampel-sampel plastik *degradable* setiap harinya. Adapun grafik *biodegradability* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7 berikut:




**Gambar 3.7** Laju *Biodegradability* Terhadap Waktu

Dari hasil laju ekstrapolasi diatas dapat dilihat bahwa laju *biodegradabilty* (%) pada plastik *degradable* dapat dipengaruhi oleh penambahan selulosa, dan PLA (*Polylactic Acid*) yang digunakan. Pada penelitian ini plastik *degradable* dengan massa selulosa sebanyak 3,5 gram dan massa *polylactic acid* (PLA) sebanyak 3 gram cenderung lebih cepat terurai secara sempurna pada hari ke - 44. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa massa selulosa yang semakin besar akan mempercepat proses penguraian, dan mikroorganisme lebih suka menghabiskan plastik dengan komposisi selulosa yang lebih banyak. Sedangkan plastik *degradable* dengan massa selulosa sebanyak 1,5 gram dan massa *polylactic acid* (PLA) sebanyak 7 gram lebih lama terdegradasi pada hari ke - 60, karena massa *polylactic acid* (PLA) yang lebih tinggi memiliki waktu terdegradasi yang lebih lama di dalam tanah. Gambar ini menunjukkan bahwa semakin banyak selulosa yang digunakan, semakin cepat plastik terdegradasi di dalam tanah.

Sarifah (2017) menyatakan bahwa plastik *degradable* Ini memiliki komponen yang mudah terurai secara alami; mikroorganisme dan makroorganisme di dalam tanah membantu mempercepat proses degradasi plastik.

## 4. Simpulan dan Saran

Semakin tinggi konsentrasi *Polylactic Acid* (PLA) yang ditambahkan, semakin kecil jumlah air yang diserap, yang terlihat dari penurunan nilai swelling. PLA yang bersifat hidrofobik menghambat proses degradasi plastik dalam tanah, karena material ini sulit terurai. Plastik degradable berbasis selulosa batang eceng gondok yang ditambah PLA menunjukkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 10,993 MPa dan terendah 4,7983 MPa. Uji termal menggunakan TGA menunjukkan bahwa plastik ini memiliki stabilitas termal yang baik, dengan penurunan berat yang dimulai pada suhu 342,43°C hingga 417,06°C, dan terdekomposisi sepenuhnya pada 600°C. Analisis FTIR menunjukkan adanya gugus hidrofilik seperti O-H, C-H, dan C=C yang berikatan dengan air. Berdasarkan hasil ini, disarankan untuk melakukan modifikasi lebih lanjut pada plastik degradable, seperti menggunakan jenis selulosa lain, untuk mengevaluasi kualitas produk dan menentukan selulosa terbaik untuk pembuatan plastik yang lebih efisien.

## 5. DAFTAR PUSTAKA


1. Agustin, Yuana Elly, and Karsono Samuel Padmawijaya. 2018. *SYNTHESIS OF CHITOSAN-PATI Bioplastics Kepok Banana*. Teknik Kimia 10(2): 40–48. DOI: 10.33005/tekkim.v10i2.537
2. Arini, D., Ulum, M.S. and Kasman, K., 2017. *Pembuatan dan Pengujian Sifat Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Tepung Biji Durian*. Natural Science: Journal of Science and Technology, 6(3). https://doi.org/10.22487/25411969.2017.v6.i3.9202
3. Avella, M. e. 2005. *Eco-Challenges of bio-based polymer composites.* Materials, 2,911-925 https://doi.org/10.3390/ma2030911
4. Coniwanti, P., Laila, L., & Alfira, M. R. (2015). Pembuatan film plastik biodegredabel dari pati jagung dengan penambahan kitosan dan pemplastis gliserol. *Jurnal Teknik Kimia*, *20*(4)
5. El-Hadi, Ahmed M. (2017). *Increase the elongation at break of poly(lactic acid) composites for use in food packaging films*. Scientific Reports*, 7*, 46767. https://doi.org/10.1038/srep46767
6. Maskun, H. A., Bachril, S. N., & Al Mukarramah, N. H. (2022). Tinjauan Normatif Penerapan Prinsip Tanggung Jawab Produsen dalam Pengaturan Tata Kelola Sampah Plastik di Indonesia. Bina Huk. Lingkung, 6, 184-200. http://dx.doi.org/10.24970/bhl.v6i2.159
7. Landi, Taufan, and Arijanto Arijanto. "*Perancangan Dan Uji Alat Pengolah Sampah Plastik Jenis Ldpe (Low Density Polyethylene)*

*Menjadi Bahan Bakar Alternatif."* Jurnal Teknik Mesin Undip, vol. 5, no. 1, 3 Jan. 2017, pp. 1-8.

8. Melanie Cornelia, et al. (2013). *Pemanfaatan pati biji durian (Durio Zibethinus Murr.) dari Pati Sagu (Metroxylon SP.) dalam Pembuatan Bioplastik*. Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian, *35*(1), 85–93. DOI: 10.24817/jkk.v35i1.1869

9. Nurul. (2015). *Sintesis dan Karakterisasi Plastik Biodegradable dari Pati Biji Durian (Durio zibethinus murr) menggunakan Plasticizer Sorbitol dan Gliserol.*Jurnal Riset Kimia http://dx.doi.org/10.25077/jrk.v12i2.398

10. Pratiwi, R., Rahayu, D., & Barliana, M. I. (2016). *Pemanfaatan Selulosa Dari Limbah Jerami Padi (Oryza sativa) Sebagai Bahan Bioplastik*. Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology, 3(3), 83. https://doi.org/10.15416/ijpst.v3i3.9406

11. Sittadewi, E. H. 2007. *Pengolahan bahan organik eceng gondok menjadi media tumbuh untuk mendukung pertanian organik*. Jurnal Teknologi Lingkungan. 8 (3) : 229-234. https://doi.org/10.29122/jtl.v8i3.430

12. Sarifah, S., Yusmaniar, Y., & Darwis, Z. 2017. *Pengaruh Perbandingan Pati Biji Sorgum (Sorghum Bicolor (I) Moench) dan Polylactic Acid (PLA) terhadap karakteristik Plastik Biodegradable*. Jurnal Riset Sains dan Kimia Terapan 7(1), 26-29. https://doi.org/10.21009/JRSKT.071.05

13. Fengel, D. dan G.Wegener. 1995. *Kayu, Kimia, Ultrastruktur*,. Reaksi-reaksi. edisi 1, Gajah Mada Press. Yogyakarta.

14. Rahmayetti, I., Saptahadi, W., & Anggraeni, V. (2017). *Sintesis Blend Film PLA/Pati Menggunakan Asam Asetat Glasial Sebagai Compatiblizer*. Jurnal Untirta, 7(3), 1-7. https://dx.doi.org/10.36055/jip.v10i1.11399

15. Wisnawa P, I. P. C., & Harsojuwono, B. A. (2021). *Karakteristik Komposi Jenis Pemlastis*. Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri, 9(1), 99. https://doi.org/10.24843/jrma.2021.v09.i01.p10