

Pengembangan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Kepok Menggunakan *Nanofiber* Selulosa Kulit Daun Lidah Buaya sebagai Filler

Dasumiati^{1*}, Nur Nilam Sari¹, dan Nanda Saridewi²

¹Progran Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Indonesia; e-mail: dasumiati@uinjkt.ac.id

²Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Indonesia

ABSTRAK

Pati sebagai bahan dasar bioplastik membutuhkan bahan penguat atau filler. Selulosa adalah bahan alami untuk filler, semakin kuat bila ditambahkan dalam bentuk nano. Kulit pisang kepok dan kulit daun lidah buaya merupakan limbah organik yang dapat digunakan sebagai bahan bioplastik, yaitu sebagai sumber pati dan selulosa. Tujuan penelitian ini untuk memperoleh konsentrasi *nanofiber* selulosa dari kulit daun lidah buaya dalam pengembangan bioplastik berbahan dasar pati dari kulit pisang kepok. Bioplastik yang berbahan dasar pati kulit pisang kepok diperkuat dengan perlakuan penambahan *nanofiber* selulosa dari kulit daun lidah buaya (0%, 2%, 4% dan 6% dari 5 g berat pati) dengan 5 kali pengulangan, dan ditambahkan plastisizer berupa gliserol (40%). Defibrilasi selulosa menggunakan *ultrafine grinder Supermasscolloider*. Bioplastik dicetak menggunakan metode *casting molding*. Parameter yang diamati adalah kuat Tarik, ketahanan air, dan waktu biodegradasi. Penambahan nanofiber selulosa dari kulit daun lidah buaya meningkatkan kualitas bioplastik. Hasil terbaik diperoleh pada penambahan *nanofiber* selulosa 6% yang memiliki nilai kuat tarik $38,89 \pm 6,11 \text{ kgf/cm}^2$, ketahanan air $75,30 \pm 3,61\%$, dan waktu biodegradasi 47,93 hari. Penambahan 6% *nanofiber* selulosa dari kulit daun lidah buaya bisa digunakan pada pengembangan bioplastik berbahan dasar pati dari kulit pisang kepok.

Kata kunci: Bioplastik, Biodegradasi, Filler, Nanofiber, Kuat Tarik

ABSTRACT

Starch-based bioplastics require reinforcing agents or fillers to enhance their mechanical properties. Cellulose, particularly in its nano-sized form, serves as an effective natural filler. Kepok banana peels and aloe vera leaf skins, both considered organic waste, can be utilized as sources of starch and cellulose, respectively, in the development of biodegradable bioplastics. This study aims to determine the optimal concentration of cellulose nanofibers derived from aloe vera leaf skins to reinforce starch-based bioplastics made from kepok banana peels. The bioplastics were prepared by incorporating varying concentrations of cellulose nanofibers (0%, 2%, 4%, and 6% based on 5 grams of starch) and 40% glycerol as a plasticizer. Each treatment was repeated five times. Cellulose defibrillation was conducted using a Supermasscolloider ultrafine grinder, and bioplastics were molded using the casting method. The parameters observed included tensile strength, water resistance, and biodegradation time. The addition of cellulose nanofibers significantly improved the performance of the bioplastics. The highest quality was achieved with a 6% cellulose nanofiber addition, resulting in a tensile strength of $38.89 \pm 6.11 \text{ kgf/cm}^2$, water resistance of $75.30 \pm 3.61\%$, and a biodegradation period of 47.93 days. This concentration formed a percolation network that effectively reduced water absorption, enhanced tensile strength, and extended the biodegradation time, indicating its potential for improving the durability and functionality of starch-based bioplastics.

Keywords: Bioplastics, Biodegradation, Filler, Nanofiber, Tensile Strength

Citation: Dasumiati, Sari, N. N., dan Nanda, S. (2025). Pengembangan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Kepok Menggunakan *Nanofiber* Selulosa Kulit Daun Lidah Buaya sebagai Filler. Jurnal Ilmu Lingkungan, 23(4), 1066-1074, doi:10.14710/jil.23.4.1066-1074

1. PENDAHULUAN

Sampah plastik sekali pakai berbasis minyak bumi yang menumpuk menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan perairan maupun daratan. Di perairan

bisa terbentuk mikroplastik yang tidak terdegradasi dan mudah termakan oleh organisme perairan sehingga membahayakan kelangsungan hidup ekosistem perairan (Jambeck et al., 2015). Plastik juga

menyebabkan pendangkalan sungai dan penyumbatan jalur air di daratan sehingga dapat terjadi banjir, serta mengganggu mikroorganisme tanah (Asia & Zainul, 2017). Penyelesaian masalah sampah plastik dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan, yaitu mendaur ulang mengembangkan teknologi pengolahan sampah plastik, dan pengembangan bahan plastik baru yang bisa terurai di lingkungan. Inovasi bioplastik berupa plastik biodegradable yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme seperti bakteri dan jamur, sehingga dapat meminimalisasi masalah pencemaran lingkungan.

Pati merupakan bahan dasar bioplastik. Beberapa penelitian telah menggunakannya pati dari kulit pisang (Purbasari et al, 2020), ubi jalar (Marbun, 2012), sagu (Syafri et al, 2021; Salsabil, 2024), ubi kayu (Irawan & Mahyudin, 2021), dan ubi talas (Yanthi et al, 2022). Sebagian besar bahan tersebut merupakan bahan pangan. Akan sangat baik jika yang digunakan adalah bahan yang tidak dimanfaatkan, seperti kulit ubi kayu (Dasumiati et al. 2019), dan pada penelitian ini digunakan kulit pisang kepok. Sebuah nilai tambah jika pengembangan kulit pisang kepok memiliki pati yang tinggi dengan rata-rata 20,53% dari berat basah (Wibowo et al., 2008). Kulit pisang kepok mudah diperoleh karena merupakan limbah dari industri besar sampai rumah tangga sehingga sangat mudah diperoleh.

Selain pati, juga dibutuhkan pemlastis dan penguat atau filler. Zat pemlastis untuk meningkatkan kuat tarik dan ketahanan air pada bioplastik berbasis pati kulit pisang adalah gliserol dengan konsentrasi terbaik 40% (Purbasari et al., 2020). Filler merupakan komponen kedua penting dalam pembuatan bioplastik. Filler berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik bioplastik, seperti meningkatkan kekakuan dan mengurangi kerutan (Xanthos, 2010). Marbun (2012) menggunakan senyawa ZnO (bahan sintetis) dan selulosa sebagai filler pada bioplastik berbahan dasar pati ubi jalar. Bahan alami filler yang digunakan pada penelitian ini adalah kulit daun lidah buaya (*Aloe vera* Rind). Penggunaan selulosa dari bahan alami sebagai filler memudahkan biodegradasi dan sangat menguntungkan dibandingkan dengan material sintetis (Chang et al., 2010). Kulit daun lidah buaya merupakan salah satu limbah agroindustri yang belum termanfaatkan dengan baik. Kulit daun lidah buaya memiliki kandungan selulosa $57,72 \pm 2,18\%$ (Cheng et al., 2014). Kandungan selulosa tersebut dapat dibuat menjadi nanofiber selulosa untuk penguat bioplastik.

Selulosa dengan ukuran nano memiliki modulus young dan kuat tarik yang tinggi dengan rata-rata 23,9 GPa (modulus young) dan 383,3 MPa (kuat Tarik) (Kafy et al., 2017). Nanofiber selulosa merupakan serat penyusun terkecil selulosa dengan diameter 5-100 nm yang tergantung pada sumber selulosa dan metode ekstraksinya (Liu et al., 2018). Nanofiber selulosa dapat membuat ikatan hidrogen saat terdispersi dalam air membentuk jaringan perkolasi

sehingga dapat digunakan sebagai penguat bioplastik pati (Zhong & Peng, 2017).

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh konsentrasi nanofiber selulosa dari kulit daun lidah buaya sebagai filler dalam pengembangan bioplastik berbahan dasar pati kulit pisang kepok. Bioplastik yang dihasilkan dapat menjadi salah satu alternatif untuk penggunaan plastik sekali pakai yang mudah terdegradasi di alam, bahannya tidak berkompetisi dengan bahan pangan dan memiliki sifat mekanik serta ketahanan air yang baik.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Ekstraksi Pati Kulit Pisang Kepok

Metode ekstraksi pati kulit pisang kepok merujuk pada Hadisoewignyo et al. (2017); Purbasari et al. (2020); Leoranzan et al. (2019). Kulit pisang kepok muda berwarna hijau dicuci dan dipotong-potong sebesar 2x2 cm. Potongan tersebut direndam dalam larutan sodium metabisulfit 0,3% dengan perbandingan kulit pisang kepok dan larutan 1:5 selama 30 menit, kemudian ditiriskan. Potongan kulit pisang kepok sebanyak 200 g dimasukkan ke dalam blender dan dicampur dengan larutan sodium metabisulfit 0,3% dengan perbandingan 1:2. Potongan kulit pisang kepok dihaluskan dengan blender selama 2 menit, kemudian disaring menggunakan saringan kain flanel dan diperas. Filtrat hasil saringan diendapkan selama 1 hari sampai pati mengendap sempurna. Endapan disaring menggunakan saringan kain dan diperas sampai hanya tersisa endapan di saringan. Endapan pati dikering anginkan hingga kering kemudian di tumbuk menggunakan mortal dan alu hingga terbentuk tepung dan diayak menggunakan saringan 200 mesh.

2.2. Ekstraksi *Nanofiber* Selulosa Kulit Daun Lidah Buaya

Kulit daun lidah buaya dipotong-potong sebesar 5x5 cm dan dicuci untuk menghilangkan sisa gel. Potongan kulit daun lidah buaya dimasukan ke air mendidih selama 2 jam untuk memudahkan pemisahan kutikula dibagian atas daun. Potongan kulit daun ditiriskan, selanjutnya kutikula daun dikupas sampai bersih. Potongan kulit daun lidah buaya tanpa kutikula dijemur di bawah sinar matahari selama 6 jam. Potongan yang sudah kering dihaluskan dengan blender hingga menjadi serbuk.

Serbuk kulit daun lidah buaya diayak dengan ayakan 10 mesh, kemudian dicampurkan ke dalam larutan HCl 0,05 N dan dipanaskan di atas hotplate pada suhu 70 oC selama 2 jam. Campuran didinginkan pada suhu ruang, kemudian ditambahkan ammonium hidroksida (NH₄OH) hingga mencapai pH 9,5 untuk menghilangkan pektin dan lemak. Serbuk dicuci menggunakan aquades sampai bersih, selanjutnya dikering anginkan.

Serbuk kulit daun lidah buaya dilanjutkan dengan proses pemutihan untuk menghilangkan lignin. Pemutihan dengan cara pengasaman menggunakan

sodium klorit dan asam asetat. Larutan sodium klorit dan asam asetat dibuat dengan dengan campuran 1:1 sebesar 2%. Serbuk kulit daun lidah buaya dimasukkan ke dalam larutan tersebut dengan perbandingan sampel dan larutan 1:20. Campuran dipanaskan pada suhu 50 oC selama 4,5 jam. Proses pemutihan dilakukan sebanyak dua kali. Campuran disaring dan dicuci secara meyeluruh dengan aquades hingga pH netral. Setelah proses pemutihan, diperoleh sampel berupa serat selulosa. Sampel dikeringkan di dalam oven dengan suhu 60 °C sampai kering. Selanjutnya selulosa masukan ke dalam aquades dengan kadar selulosa 2%. Selanjutnya dilakukan defibrilasi selulosa menggunakan ultrafine grinder Supermasscoloider Masuko dengan rotasi 1.500 rpm di Laboratorium Nanoteknologi Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian Bogor. Nanofiber selulosa dikurangi kadar airnya menggunakan kertas saring hingga kadar air jenuh. Kadar air jenuh nanofiber selulosa di hitung untuk menentukan berat kering nanofiber selulosa dalam suspensi. Metode ekstraksi nanofiber ini merujuk pada Cheng et al. (2014) dan Panthapulakkal et al. (2014).

2.3. Pembuatan Bioplastik

Proses pembuatan bioplastik menggunakan metode *casting molding*. 5 g pati kulit pisang dicampur dengan gliserol sebanyak 40% dari berat pati merujuk pada penelitian Purbasari *et al.* (2020), dan ditambahkan *nanofiber* selulosa dengan variasi konsentrasi 0%, 2%, 4% dan 6% dari berat pati sebagai perlakuan. Setiap perlakuan diulang 5 kali. Campuran diaduk menggunakan *stirrer* dengan kecepatan 300 rpm selama 10 menit, kemudian dipanaskan pada suhu 70-80 °C selama 15 menit di atas *hot plate* dengan kecepatan *stirrer* 700 rpm. Campuran dituang dan diratakan ke cetakan kaca berukuran 15 x 20 x 0,5 cm. Cetakan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 60 °C selama 24 jam. Cetakan yang telah kering diangkat dari oven dan didiamkan hingga dingin, lapisan plastik yang terbentuk dilepaskan dari cetakannya. Metode pembuatan bioplastik merujuk pada Panjaitan *et al.*, (2017).

2.4. Uji Ukuran Nanofiber Selulosa

Gel *nanofiber* selulosa yang telah dikurangi kadar airnya menggunakan kertas saring dikumpulkan di dalam botol kaca, kemudian dikeringkan menggunakan *Buchi Lyovapor™ I-300 Freeze drying Freezer* di Laboratorium *Integrated Laboratory and Research Center* (ILRC) Universitas Indonesia. *Nanofiber* selulosa yang telah kering digerus menggunakan mortal dan alu. *Nanofiber* selulosa yang telah halus diayak menggunakan saringan kemudian dilakukan pengukuran diameter *nanofiber* selulosa menggunakan FE-SEM (*Field Emission Scanning Electron Microscopy*) Thermo Scientific Quattro S di Laboratorium Pusat Penelitian Biomaterial Pusat Pengembangan Inovasi dan IPTEK LIPI Cibinong tanpa perlakuan *coating*.

2.5. Uji Kuat Tarik Bioplastik

Uji kuat tarik bioplastik menggunakan metode pada ASTM D882. Alat yang digunakan adalah Universal Testing Machine Yasuda Seiki di Balai Besar Kimia Kemasan, Jakarta. Sampel bioplastik dijepit pada penjepit yang terdapat pada alat dengan posisi horizontal dan diatur posisinya hingga tertera pada software besar gaya yang diberikan sebesar 0 Newton. Knob start dinyalakan dan alat akan menarik sampel secara perlahan. Gaya kuat Tarik (F) dan panjang setelah putus dicatat. Rumus penentuan kuat putus bioplastik sebagai berikut:

$$\sigma = F/A \quad (1)$$

Keterangan:

σ : Kuat putus bahan (Strength at break)

F: Beban saat putus (gaya kuat tarik)

A: Luas penampang

2.6. Uji Ketahanan Air

Sampel bioplastik dipotong sebesar 4x4 cm dengan ketebalan yang sama. Berat awal sampel ditimbang menggunakan timbangan analitik dan dinyatakan dalam W_o . Sampel direndam dalam cawan petri berisi aquades 20 ml selama 5 menit kemudian sampel diangkat. Air pada permukaan bioplastik dihilangkan menggunakan tissue kering kemudian sampel ditimbang kembali. Perendaman hingga penimbangan dilakukan berulang kali sampai berat sampel menunjukkan angka yang konstan dan dinyatakan dalam W (Alam *et al.*, 2018). Rumus penentuan ketahanan bioplastik terhadap air yang sebagai berikut:

$$\text{Persen air yang diserap} = \frac{W_o - W}{W_o} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

W: Berat sampel setelah direndam

W_o : Berat awal sampel

$$\text{Persen ketahanan air} = 100\% -$$

$$\text{Persen air yang diserap} \quad (3)$$

2.7. Uji Biodegradasi

Uji biodegradasi bioplastik menggunakan metode penanaman sampel dalam tanah (*soil burial test*). Tanah yang digunakan adalah kompos yang mengandung mikroba. Tanah dimasukkan ke dalam polybag masing-masing sebanyak 200 g. Kompos sebagai media mewakili kondisi lingkungan di alam dengan koloni mikroba yang banyak akan mampu mendegradasi pati maupun selulosa. Biodegradasi bioplastik dilakukan di ruangan dengan suhu 26 oC (suhu ruang).

Sampel bioplastik masing-masing variasi perlakuan di potong dengan ukuran 2x2 cm dengan ketebalan yang sama dan ditimbang untuk mendapatkan data berat awal yang dinyatakan dalam W_o , kemudian dikubur ke media tanah. Pengujian ini dilakukan selama 24 hari. Sampel diambil dan ditimbang setiap tiga hari untuk memperoleh persen kehilangan berat, laju degradabilitas dan waktu

degradasi sempurna bioplastik. Bioplastik yang telah dikubur terlebih dahulu dikeringkan sebelum ditimbang menggunakan oven selama 1 jam pada suhu 60 oC untuk menghilangkan kadar air terserap. Metode ini merujuk pada Octaviani et al. (2013). Pengujian biodegradabilitas bioplastik dengan rumus:

$$\text{Persen kehilangan berat} = (W_o - W_i) / W_o \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

W_o: Berat awal sampel

W_i: Berat setelah dikubur perminggu

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Ukuran *Nanofiber* Selulosa

Nanofiber selulosa dari kulit daun lidah buaya berhasil diekstraksi. Ukuran *nanofiber* selulosa memiliki diameter di bawah 100 nm yaitu $62 \pm 19,2$ nm (Gambar 1). *Nanofiber* selulosa biasanya memiliki diameter antara 20-100 nm dengan panjang pada skala micrometer, ukuran ini tergantung pada metode ekstraksi dan sumber selulosanya (Liu et al., 2018).

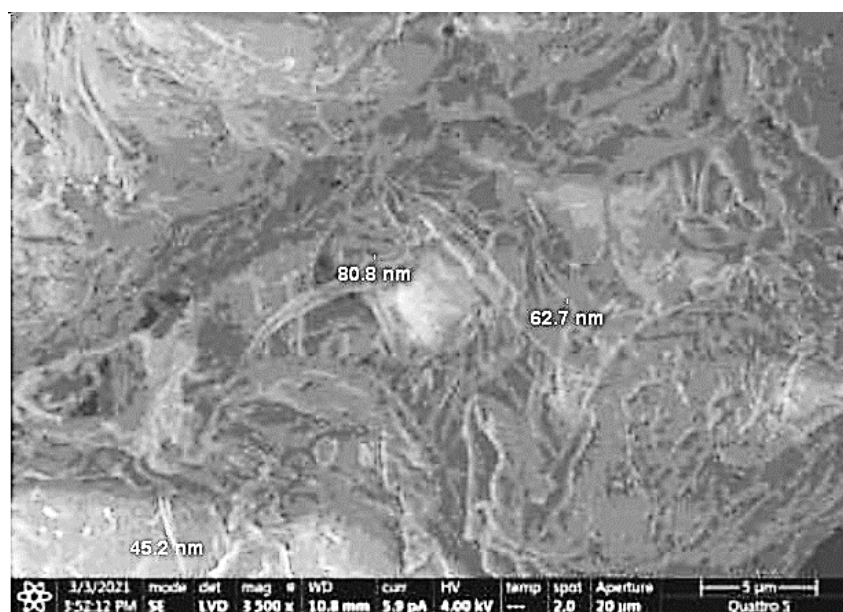
3.2. Karakteristik Morfologi Bioplastik

Bioplastik dari pati kulit pisang kepok dan gliserol dengan variasi penambahan nanofiber selulosa sebagai filler telah berhasil dibuat (Gambar 2). Secara morfologi, semua bioplastik memiliki warna, tekstur, dan ketebalan yang hampir sama. Warna bioplastik yang terbentuk adalah kuning kecoklatan. Perendaman sampel dengan larutan sodium metabisulfit tidak mutlak menghentikan reaksi pencoklatan tetapi hanya memperlambat pencoklatan sehingga bioplastik yang terbentuk masih memiliki warna kecoklatan. Selain itu, paparan oksigen

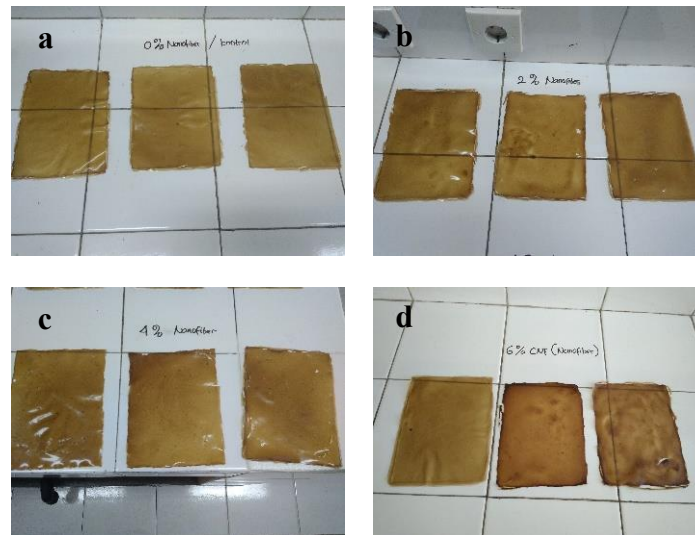
terhadap bioplastik akan menimbulkan pencoklatan, karena larutan sodium metabisulfit hanya bekerja dengan cara membentuk ikatan disulfida pada enzim PPO sehingga menghambat pengikatan dengan oksigen namun masih ada kemungkinan enzim PPO untuk bisa bereaksi kembali (Wardhani et al., 2016).

Bioplastik memiliki tekstur yang licin atau halus pada bagian bawah dan sedikit kasar pada bagian atas. Tekstur halus pada bagian bawah karena menempel langsung pada cetakan (kaca).

Sedikit berbeda dengan warna dan tekstur, ketebalan bioplastik meningkat dengan ditingkatkannya konsentrasi *nanofiber* selulosa yang digunakan walaupun perbedaan itu sedikit. Ketebalan bioplastik paling rendah pada perlakuan bioplastik tanpa *nanofiber* dan ketebalan paling tinggi pada penambahan *nanofiber* selulosa 6% (Tabel 1). Bioplastik yang dihasilkan lebih tipis dibandingkan bioplastik dengan bahan pati yang sama pada penelitian Purbasari et al. (2020), yaitu 0,1 mm. Ketebalan bioplastik dipengaruhi oleh banyaknya padatan terlarut, volume larutan dan luas permukaan wadah (Yuniarti et al., 2014). Proses pembuatan bioplastik pada penelitian ini mengacu pada Purbasari et al. (2020) yaitu dengan menggunakan metode *casting molding* dengan mencampur semua bahan hingga massa seluruh campuran sebanyak 100 g setiap perlakuan. Bahan yang memiliki komposisi berbeda pada penelitian ini adalah *nanofiber* selulosa. Penambahan *nanofiber* selulosa dengan konsentrasi yang lebih tinggi memiliki padatan terlarut yang lebih banyak sehingga semakin tinggi konsentrasi *nanofiber* selulosa maka akan semakin tebal bioplastik yang dihasilkan.



Gambar 1. Morfologi SEM *Nanofiber* Selulosa Kulit Daun Lidah Buaya Perbesaran 3.500x



Gambar 2. Morfologi Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Kepok dengan Zat Pemlastis Gliserol dan Penambahan *Filler Nanofiber Selulosa* dari Kulit Daun Lidah Buaya 0% (a); 2% (b); 4% (c), 6% (d)

Tabel 1. Ketebalan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Kepok dengan Zat Pemlastis Gliserol dan Penambahan *Filler Nanofiber Selulosa* dari Kulit Daun Lidah Buaya

Konsentrasi <i>Nanofiber</i> Selulosa (%)	Ketebalan Bioplastik (mm)
0	0,0273±0,0035
2	0,0283±0,0015
4	0,0286±0,0005
6	0,0306±0,0041

Tabel 2. Nilai Kuat Tarik Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Kepok dengan Zat Pemlastis Gliserol dan Penambahan *Filler Nanofiber Selulosa* dari Kulit Daun Lidah Buaya

Konsentrasi <i>Nanofiber</i> selulosa (%)	Kuat Tarik Bioplastik	
	kgf/cm ²	MPa
0	29,47±1,1	2,89±0,11
2	30,91±2,61	3,03±0,26
4	36,63±1,34	3,59±0,13
6	38,89±6,11	3,81±0,60

3.3. Sifat Mekanik Bioplastik

Uji sifat mekanik bioplastik yang dilakukan adalah uji kuat tarik yang mengacu pada standar ASTM D882. Semakin tinggi konsentrasi *nanofiber* selulosa yang ditambahkan maka semakin tinggi kuat tarik bioplastik pati (Tabel 2). Penelitian ini menggunakan selulosa berukuran nano. Bahan *filler* dengan ukuran nano pada komposit bioplastik memiliki kelebihan dibandingkan dengan bahan *filler* berukuran mikro, diantaranya luas permukaan yang besar dengan jumlah gugus hidroksil yang melimpah, dan kristalinitas, aspek rasio serta resistensi terhadap panas yang tinggi, sifat mekanik yang baik, dan tingkat kerusakan yang rendah di bagian *filler* pada bioplastik. Tingginya kuat tarik, kristalinitas dan aspek rasio dari *nanofiber* selulosa (CNF) digunakan untuk daya dukung beban dan transfer tegangan pada bioplastik pati (Ilyas *et al.*, 2018).

Hasil kuat tarik tertinggi bioplastik diperoleh pada perlakuan penambahan *nanofiber* selulosa 6% sebesar $38,89 \pm 6,11$ kg/cm² atau sama dengan 3,81 Mpa. Kuat tarik ini dapat ditingkatkan dengan menambahkan konsentrasi *nanofiber* selulosa atau ditambahkan bersamaan dengan bahan penguat lainnya. Selain itu, kuat tarik juga dipengaruhi oleh amilosa pada pati. Pati dengan kadar amilosa yang

lebih tinggi akan meningkatkan kuat tarik bioplastik (Marichelvam *et al.*, 2019), sehingga dibutuhkan metode tambahan untuk memurnikan pati kulit pisang dari zat pengotornya untuk meningkatkan kadar amilosa. Metode alkali dapat menghasilkan granula pati dengan kemurnian yang tinggi, kadar lemak dan protein yang rendah dan meningkatkan kadar amilosa pada pati (Fonseca *et al.*, 2013).

Penambahan *nanofiber* selulosa kulit daun lidah buaya pada bioplastik pati kulit pisang kepok menghasilkan kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan bioplastik berbahan dasar limbah kulit singkong (*Manihot utilisima*) dan cangkang udang dengan kuat tarik penambahan kitosan tertinggi (7%) 2,69 MPa (Dasumiati *et al.*, 2019). Dengan demikian penggunaan nanofiber selulosa kulit daun lidah buaya dapat meningkatkan kualitas bioplastik. Pada penelitian Khalil *et al.* (2016), kombinasi antara kitosan dan nanofiber selulosa dapat menghasilkan karakteristik bioplastik yang lebih baik.

3.4. Sifat Ketahanan Air Bioplastik

Hasil rata-rata ketahanan air bioplastik berbahan dasar pati kulit pisang kepok meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi *nanofiber* selulosa yang ditambahkan (Tabel 3). Pada penelitian

Purbasari *et al.* (2020) yang menggunakan pemlastis gliserol konsentrasi 40% menghasilkan permeasi uap air sebesar 0,00024 g/m².s.kPa. pada bioplastik berbahan dasar pati kulit pisang. Fitria *et al.* (2023) menghasilkan bioplastik berbahan pati dari kulit pisang raja bulu dengan nilai daya serap air sebesar 87,3% (tanpa kitosan) dan 43,4% (dengan kitosan). Pada penelitian ini, dilakukan penambahan *filler* untuk meningkatkan ketahanan air pada bioplastik. *Nanofiber* selulosa bersifat hidrofilik namun memiliki gugus kristalin yang dapat menahan air. *Nanofiber* selulosa dapat membentuk ikatan kuat antara pati dan serat yang menghalangi gugus polar pada bioplastik pati sehingga menurunkan penyerapan air pada bioplastik (Gutiérrez & Alvarez, 2016). Selain itu, *nanofiber* selulosa juga membentuk jaringan perkolasi yang dapat mengurangi kadar air yang masuk ke dalam matriks pati sehingga resistensi bioplastik terhadap air meningkat (Li *et al.*, 2019). *Nanofiber* selulosa juga dapat meningkatkan gaya kohesif antara matriks dan selulosa (Gutiérrez & Alvarez, 2016).

3.5. Biodegradasi Bioplastik

Biodegradasi dilakukan dalam media kompos yang terjadi secara aerobik. Karena dilakukan pada suhu ruang, maka proses biodegradasinya adalah aerobik mesofilik. Kondisi media yang digunakan untuk uji biodegradasi memiliki kelembapan 48% Rh dan pH 6,8. Kelembapan optimal yang dibutuhkan untuk proses biodegradasi aerobik pada tanah adalah 50 – 60% (Ginting & Tarigan, 2015).

Mikroba membutuhkan pH optimal yang bervariasi untuk pertumbuhan dan produksi enzim. Enzim yang dibutuhkan untuk degradasi bioplastik diantaranya adalah amilase dan selulase. Salah satu mikroba yang dapat memproduksi enzim amilase yaitu *Aspergillus flavus*. Penelitian Fadahunsi *et al.* (2012), *A. flavus* menghasilkan enzim amilase paling banyak pada kondisi lingkungan dengan pH 6 namun masih dapat memproduksi enzim pada pH netral. *Trichoderma* sp. adalah salah satu mikroba yang memproduksi enzim selulase. *Trichoderma* sp. dapat memproduksi enzim selulase pada pH mendekati netral (Sivaraman, 2014).

Enzim yang dihasilkan oleh mikroba baik enzim pendegradasi pati maupun enzim pendegradasi selulosa meningkatkan sifat hidrofilik dari bioplastik, sehingga memungkinkan proses asimilasi oleh mikroba. Pati mudah terhidrolisis oleh enzim amilase sedangkan selulosa membutuhkan waktu yang lebih lama untuk terhidrolisis oleh enzim selulase, hal ini dipengaruhi juga oleh banyaknya bagian kristalin dari selulosa. Semakin banyak kadar kristalin maka

semakin lama proses degradasi selulosa (Onah & Shambe, 2018).

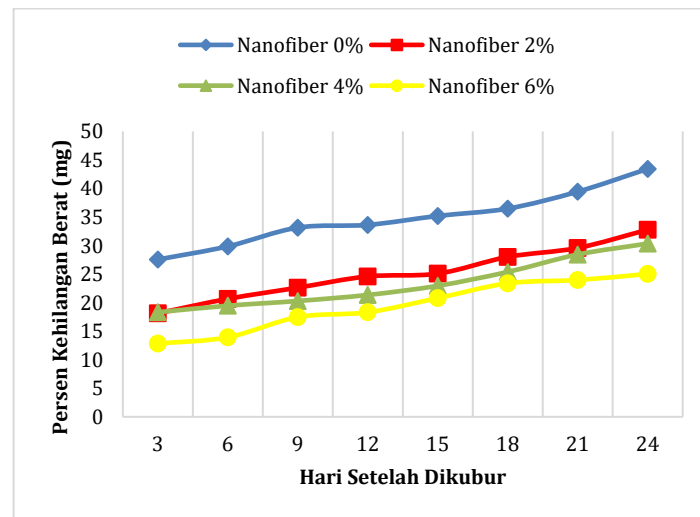
Pada uji biodegradasi dihitung persen kehilangan berat dan perkiraan waktu degradasi sempurna atau waktu hancur bioplastik. Pada semua konsentrasi penambahan filler, semakin lama waktu degradasi maka semakin tinggi persentase kehilangan berat dari bioplastik. Namun persentase kehilangan berat ini dipengaruhi oleh penambahan filler *nanofiber* selulosa kulit daun lidah buaya. Semakin tinggi kadar *nanofiber* selulosa, semakin rendah persen kehilangan berat bioplastik (Gambar 3). *Nanofiber* selulosa bersifat *biodegradable* dan dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang memiliki enzim selulase. Kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi selulosa bergantung pada derajat kristalinitas selulosa tersebut. *Nanofiber* selulosa memiliki dua bagian yaitu bagian dengan bentuk tidak beraturan (amorphous region) dan daerah kristalin. Daerah kristalin pada selulosa lebih sulit terdegradasi dibandingkan daerah amorf sehingga proses degradasi selulosa membutuhkan waktu lebih lama (Atikah *et al.*, 2019).

Persen kehilangan berat adalah persentase penurunan berat bioplastik karena adanya aktivitas mikroorganisme yang mengikis dan menghidrolisis permukaan bioplastik. Bioplastik dengan penambahan filler nanofiber selulosa 6% memiliki persentase kehilangan berat paling kecil selama pengamatan, dan bioplastik tanpa penambahan filler memiliki persentase kehilangan berat paling besar (Gambar 3). Terlihat juga, semakin kecil konsentrasi nanofiber selulosa yang ditambahkan, persentase kehilangan berat makin besar dan makin cepat. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi nanofiber selulosa mempengaruhi lama waktu yang dibutuhkan untuk proses biodegradasi, dan menunjukkan bahwa penambahan filler nanofiber selulosa meningkatkan ketahanan bioplastik.

Proses degradasi ini tidak terlepas dari peran mikroorganisme yang ada dalam kompos. Makin lama persentase kehilangan berat makin tinggi karena aktivitas mikroorganisme pendegradasi juga makin tinggi dalam menggunakan bioplastik. Kenaikan persen kehilangan berat menandakan adanya aktivitas mikroorganisme dalam menggunakan bioplastik sebagai substrat metabolismenya (Gautam & Kaur, 2013). Aktivitas mikroorganisme ini juga tidak terlepas dari kondisi media kompos yang sesuai untuk aktivitasnya. Kunci biodegradasi yang optimal pada tanah adalah terletak pada kandungan nitrogen dan sirkulasinya, kelembapan dan pH tanah (6-8) (Briassoulis & Mistriotis, 2018) sehingga kondisi tanah yang optimal akan meningkatkan proses biodegradasi bioplastik.

Tabel 3. Nilai Ketahanan Air Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Kepok dengan Zat Pemlastis Gliserol dan Penambahan *Filler Nanofiber* Selulosa dari Kulit Daun Lidah Buaya

Konsentrasi <i>Nanofiber</i> Selulosa (%)	Ketahanan Air (%)
0	53,52±9,42
2	65,82±6,77
4	70,62±3,31
6	75,30±3,61



Gambar 3. Persentase Kehilangan Berat pada Uji Biodegradasi dari Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Kepok dengan Zat Pemplastis Gliserol dan Penambahan *Filler Nanofiber* Selulosa dari Kulit Daun Lidah Buaya

Tabel 4. Perkiraan Waktu Degradasi Sempurna pada Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Kepok dengan Zat Pemplastis Gliserol dan Penambahan *Filler Nanofiber* Selulosa dari Kulit Daun Lidah Buaya

Konsentrasi <i>Nanofiber</i> Selulosa (%)	Persamaan Kurva Regresi	Nilai R ²	Waktu Hancur (hari)
0	$y = 2.0308x + 25.703$	0.9625	36.58
2	$y = 1.9475x + 16.425$	0.9851	42.91
4	$y = 1.9369x + 15.425$	0.9597	43.67
6	$y = 1.8542x + 11.125$	0.9741	47.93

Perkiraan waktu degradasi bioplastik hingga terdegradasi sempurna dapat diketahui melalui persamaan kurva regresi persen kehilangan berat bioplastik. Biodegradasi sempurna adalah dimana bioplastik memiliki persen kehilangan berat yang berada pada kordinat y grafik sebesar 100% dan penentuan waktu degradasi dengan mencari variabel dari kordinat x. Perkiraan waktu hancur bioplastik adalah 36,58-47,93 hari (Tabel 4). *Nanofiber* selulosa meningkatkan perkiraan waktu degradasi bioplastik sehingga dapat meningkatkan daya simpan bioplastik. Penelitian dari berbagai sumber menyebutkan bahwa bioplastik berbahan dasar pati akan habis terurai di tanah dalam waktu 5 minggu, 7 minggu dan bahkan sampai 6 bulan tergantung pada bahan penguat dan modifikasi pati (Polman *et al.*, 2021). Standar ASTM D6400 waktu degradasi bioplastik dengan teknik penguburan dalam tanah kompos secara aerobik mesofilik adalah kurang dari 180 hari (Song *et al.*, 2009). Bioplastik yang dihasilkan, baik tanpa penambahan *nanofiber* selulosa maupun dengan penambahan *nanofiber* selulosa memiliki waktu degradasi kurang dari 180 hari sehingga memenuhi standar waktu biodegradasi bioplastik.

Bioplastik pati tanpa penambahan *nanofiber* selulosa memiliki tingkat biodegradasi paling tinggi dan waktu hancur lebih cepat dibandingkan bioplastik dengan penambahan *nanofiber* selulosa. Bioplastik pati tanpa penambahan *nanofiber* selulosa memiliki sifat hidrofilik yang lebih tinggi karena pati dan gliserol memiliki gugus hidroksil (OH) dan karbonil (CO). Hal ini dibuktikan dengan persentase ketahanan air yang dimilikinya paling rendah. Semakin tinggi konsentrasi gliserol juga akan meningkatkan sifat

hidrofilik dari bioplastik. Peningkatan sifat hidrofilik bioplastik akan mempercepat proses biodegradasi pada tanah (Wahyuningtyas & Suryanto, 2017). Sifat hidrofilik bioplastik yang tinggi menyebabkannya menyerap banyak air sehingga meningkatkan kelembapan pada bioplastik. Kelembapan mempengaruhi aktivitas mikroba pada bahan organik (Purnomo *et al.*, 2023). Meningkatnya kelembapan pada tanah dan substrat akan meningkatkan pertumbuhan mikroba dan produksi enzim (Borowik & Wyszowska, 2016). Penambahan *nanofiber* selulosa meningkatkan ketahanan air bioplastik. *Nanofiber* selulosa berdispersi pada matriks dengan sangat baik dan mengisi fraksi kosong pada matriks, sehingga menghalangi masunya air dan kelembapan pada bioplastik (Asrofi & Syafri, 2019). *Nanofiber* selulosa juga membentuk interaksi ikatan hidrogen dengan matriks. Interaksi ini menjaga integritas struktural bioplastik terhadap penetrasi air dan degradasi enzimatis (Granda *et al.*, 2020). Dengan demikian penambahan nanofiber selulosa dari kulit daun lidah buaya terbaik pada konsentrasi 6% dapat meningkatkan kualitas dan waktu simpan bioplastik.

4. KESIMPULAN

Nanofiber selulosa dari kulit daun lidah buaya dapat dibuat dengan ukuran $62 \pm 19,2$ nm dan ditambahkan sebagai filler pada pengembangan bioplastik berbahan dasar pati dari kulit pisang kepok. Dengan penambahan filler berupa *nanofiber* selulosa dari kulit daun lidah buaya dapat meningkatkan kuat tarik, ketahanan air, serta waktu biodegradasi bioplastiknya. Berdasarkan karakter tersebut penambahan filler *nanofiber* selulosa dengan

konsentrasi 6% menghasilkan bioplastik terbaik. Bioplastik ini dapat dikembangkan menjadi produk berupa lembaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M.N., I. Illing, Nurmalasari and Kumalasari. 2018. Pengaruh Komposisi Kitosan Terhadap Sifat Biodegradasi dan Water Uptake Bioplastik dari Serbuk Tongkol Jagung. *Al Kimia*, 6(1), 24-33. <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v6i1.4778>
- Asia and M.A. Zainul. 2017. Dampak Sampah Plastik Bagi Ekosistem Laut. *Buletin Matric*, 14(1), 44-48.
- Asrofi, M. and E. Syafri. 2019. Moisture Resistance Of Sugarcane Bagasse Cellulose Filled Tapioca Starch Biocomposites: Effect of Cellulose Loading. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 18(1), 01-04. <http://ijpsat.ijst-journals.org>
- Atikah, M.S.N., R.A. Ilyas, S.M. Sapuan, M.R. Ishak, E.S. Zainudin, R. Ibrahim, A. Atiqah, M.N.M. Ansari and R. Jumaidin. 2019. Degradation and Physical Properties of Sugar Palm Starch/Sugar Palm Nanofibrillated Cellulose Bionanocomposite. *Polimery/Polymers*, 64(10), 680-689. <https://doi.org/10.14314/polimery.2019.10.5>
- Borowik, A. and J. Wyszowska. 2016. Soil Moisture As A Factor Affecting The Microbiological and Biochemical Activity of Soil. *Plant, Soil and Environment*, 62(6), 250-255. <https://doi.org/10.17221/158/2016-PSE>
- Briassoulis, D and A. Mistriotis. 2018. Key Parameters in Testing Biodegradation of Bio-Based Materials in Soil. *Chemosphere*, 1-31. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.024>
- Chang, P.R., R. Jian, J. Yu and X. Ma. 2010. Starch-Based Composites Reinforced with Novel Chitin Nanoparticles. *Carbohydrate Polymers* 80, 420-425.
- Cheng, S., S. Panthapulakkal, M. Sain and A. Asiri. 2014. *Aloe vera* Rind Cellulose Nanofibers-Reinforced Films. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(15), 1-9. <https://doi.org/10.1002/app.40592>
- Dasumiati, N. Saridewi and M. Malik. 2019. Food Packaging Development of Bioplastic From Basic Waste of Cassava Peel (*Manihot utilisima*) and Shrimp Shell. *Materials Science and Engineering*, 602(012053), 1-9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/602/1/012053>
- Fadahunsi, S., Oluwaseun and E. Garuba. 2012. Amylase Production by *Aspergillus Flavus* Associated with The Bio-Deterioration of Starch-Based Fermented Foods. *New York Science*, 5(1), 13-18.
- Fitria, A., W. Nilandita, and A. Hakim. 2023. Karakteristik Fisik dan Mekanik Bioplastik Berbahan Dasar Pati Limbah Kulit Pisang Raja Bulu (*Musa paradisiaca* L. var *sapientum*) dengan Variasi Jenis Plasticizer dan Kitosan. *Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas*, 20:26-32.
- Fonseca, A.J., J. Rosas, C.A. Aldapa, T. Benítez, B.M. Malo, A. Real and R. García. 2013. Effect of The Alkaline and Acid Treatments on The Physicochemical Properties of Corn Starch. *Journal of Food*, 11(s1), 67-74. <https://doi.org/10.1080/19476337.2012.761651>
- Gautam, N. and I. Kaur. 2013. Soil Burial Biodegradation Studies of Starch Grafted Polyethylene and Identification of *Rhizobium* Meliloti Therefrom. *Journal of Environment Chemistry and Ecotoxicology*, 5(6), 147-158. <https://doi.org/10.5897/JECE09.022>
- Ginting, M.H.S. and M.F.R. Tarigan. 2015. Effect of Gelatinization Temperature and Chitosan on Mechanical Properties of Bioplastics from Avocado Seed Starch (*Persea americana* Mill) with Plasticizer Glycerol. *The International Journal of Engineering and Science*, 4(12), 36-43.
- Granda, L. A., H. Oliver-Ortega, M.J. Fabra, Q. Tarrés, M.A. Pèlach, J.M. Lagarón and J.A. Méndez. 2020. Improved Process to Obtain Nanofibrillated Cellulose (CNF) Reinforced Starch Films with Upgraded Mechanical Properties and Barrier Character. *Polymers*, 12(5), 1-14. <https://doi.org/10.3390/POLYM12051071>
- Gutiérrez, T.J. and V.A. Alvarez. 2016. Cellulosic Materials As Natural Fillers in Starch-Containing Matrix-Based Films. *Polymer Bulletin*. <https://doi.org/10.1007/s00289-016-1814-0>
- Hadisoewignyo, L., F. Kuncoro and R.R. Tjandrawinata. 2017. Isolation and Characterization of Agung Banana Peel Starch from East Java Indonesia. *International Food Research Journal*, 24(3), 1324-1330.
- Ilyas, R. A., S.M. Sapuan, M.R. Ishak, E.S. Zainudin and M.S.N. Atikah. 2018. Characterization of Sugar Palm Nanocellulose and Its Potential for Reinforcement with A Starch-Based Composite. In *Sugar Palm Biofibers, Biopolymers, and Biocomposites*, pp. 189-220. <https://doi.org/10.1201/9780429443923-10>
- Irawan, A. A. dan R. P. Mahyudin. 2021. Pengolahan dan Optimalisasi Bioplastik Berbahan Dasar Pati Singkong. *Dampak*, 18(1), 7-10. <https://doi.org/10.25077/dampak.18.1.7-10.2021>
- Jambeck, J. R., R. Geyer, C. Wilcox, T. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan and K.L. Law. 2015. Plastic Waste Inputs from Land Into The Ocean. *Science*, 347(6223), 1655-1734. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.010>
- Kaewpham, N. and S.H. Gheewala. 2013. Greenhouse Gas Evaluation and Market Opportunity of Bioplastic Bags from Cassava in Thailand. *Journal of Sustainable Energy and Environment*, 4:15-19.
- Kafy, A., H.C Kim, L. Zhai, J.W. Kim, L. Hai, Van, T.J. Kang and J. Kim. 2017. Cellulose Long Fibers Fabricated from Cellulose Nanofibers and Its Strong and Tough Characteristics. *Scientific Reports*, 7(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17713-3>
- Khalil, H.P.S.A., Y. Davoudpour, C.K. Saurabh, S. Hossain, A.S. Adnan, R. Dungani, M.T. Paridah, Z.I. Sarker, M.R.N. Fazita, M.I. Syakir and M.K.M. Haa. 2016. A Review on Nanocellulosic Biobased As New Material for Sustainable Packaging: Process and Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 823-836.
- Leoranzén, H., F.H. Hamzah, and Rahmayuni. 2019. Variasi Lama Waktu Perendaman Kulit Pisang Tanduk dalam Larutan Natrium Metabisulfit Terhadap Karakteristik Edible Film Pati Kulit Pisang Tanduk. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian*, 6(1), 1-13.
- Li, J.L., M. Zhou, G. Cheng, F. Cheng, Y. Lin and P.X. Zhu. 2019. Comparison of Mechanical Reinforcement Effects of Cellulose Nanofibers and Montmorillonite in Starch Composite. *Starch/Stärke*, 71(1-2). <https://doi.org/10.1002/star.201800114>

- Liu, X., Y. Jiang, C. Qin, S. Yang and X. Song. 2018. Enzyme-assisted Mechanical Grinding for Cellulose Nanofibers from Bagasse : Energy Consumption and Nanofiber Characteristics. *Cellulose*, 1. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2071-1>
- Marbun, E.S. 2012. Sintesis Bioplastik dari Pati Ubi Jalar Menggunakan Penguat Logam ZnO dan Penguat Alami Selulosa. Depok: Universitas Indonesia.
- Marichelvam, M., M. Jawaid and M. Asim. 2019. Corn and Rice Starch-Based Bio-Plastics as Alternative Packaging Materials. *Fibers*, 7(32), 1-14.
- Octaviani, M., E. Zaini and A. Djamaan. 2013. Kajian Biodegradasi Film Plastik Campuran Polistiren dengan Poli(3hidroksibutirat-Ko-3-Hidroksivalerat) dalam Tanah Secara In-Vitro. *Jurnal Farmasi Andalas*, 1(1), 42-47.
- Onah, E., and T. Shambe. 2018. Degradation of Starch And Carboxymethylcellulose (CMC) By Extracellular Enzymes from Four Bacteria Species. *Focus Nanotechnology Africa*, 30-32. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19405.69606>
- Panjaitan, R.M., Irdoni dan Bahrudin. 2017. Pengaruh Kadar dan Ukuran Selulosa Berbasis Batang Pisang Terhadap Sifat dan Morfologi Bioplastik Berbahan Pati Umbi Talas. *Journal Fakultas Teknik*, 4(1), 1-7.
- Panthapulakkal, S., N. Ramezani, A.M. Asiri and M. Sain. 2014. *Aloe vera* Rind Nanofibers : Effect Of Isolation Process On The Tensile Properties Of Nanofibre Films. *BioResources*. 9(4), 7653-7665. <https://doi.org/10.15376/biores.9.4.7653-7665>
- Polman, E.M.N., G.M. Gruter, J.R. Parsons and A. Tietema. 2021. Science of The Total Environment Comparison of The Aerobic Biodegradation of Biopolymers and The Corresponding Bioplastics : A Review. *Science of The Total Environment*, 753, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141953>
- Purbasari, A., A.A. Wulandari dan F.M. Marasabessy. 2020. Sifat Mekanis dan Fisis Bioplastik dari Limbah Kulit Pisang: Pengaruh Jenis Dan Konsentrasi Pemlastis. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 42(2), 66. <https://doi.org/10.24817/jkk.v42i2.5872>
- Purnomo, D., A. Setiawan dan Yusmaniar. 2023. Pengaruh Faktor Suhu dan Kelembaban pada Lingkungan Kerja terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan Mikroba. *Jurnal Riset Sains dan Kimia Terapan*, 9(2), 45-54. <https://doi.org/10.21009/JRSKT.092.01>
- Salsabil, S.Q., Masrullita, Suryati, I. Kamar, Meriatna, L. Maulinda dan F. Safriwardy. 2024. Karakterisasi Plastik Biodegradable dari Pati Sagu dengan Penambahan Filler Kalsium Silikat dan Kaolin. *Chemical Engineering Journal Storage*, 4(2), 229-239. <https://doi.org/10.29103/cejs.v4i2.14965>
- Sivaraman, S. 2014. Biodegradation of Saw in Plant Fertilizer. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 2, 13-19. <https://doi.org/10.13140/2.1.1798.4008>
- Song, J. H., R.J. Murphy, R. Narayan and G.B.H. Davies. 2009. Biodegradable and Compostable Alternatives to Conventional Plastics. *Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences*, 364, 2127-2139. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0289>
- Syafri, R., Y. Andriani, W. Irma, D. Veronika, S. Nuriana, P.Y. Putri dan A.N. Putri. 2021. Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Pati Sagu-Kitosan Berisi Pelepeh Sawit dan Plastizier Gliserol. *Photon: Journal of Natural Sciences and Technology*, 12(1), 84-90. <https://doi.org/10.37859/jp.v12i1.3359>
- Wahyuningtyas, N. and H. Suryanto. 2017. Analysis of Biodegradation of Bioplastics Made of Cassava Starch. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 1(1), 24-31. <https://doi.org/10.17977/um016v1i12017p024>
- Wardhani, D.H., A.E. Yuliana and A.S. Dewi. 2016. Natrium metabisulfit sebagai anti-browning agent pada Pencoklatan Enzimatis Rebung Ori (*Bambusa arundinacea*). *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 5(4), 140-145.
- Wibowo, P., J.A. Saputra, A. Ayucitra dan L.E. Setiawan. 2008. Isolasi Pati dari Pisang Kepok dengan Menggunakan Metode Alkaline Steeping. *Widya Teknik*, 7(2), 113-123.
- Yanthi, N. K. V. P., A. Hartati dan A. S. Wiranatha. 2022. Karakteristik Komposit Bioplastik Pati Umbi Talas (*Colocasia esculenta*) dan Karagenan pada Variasi Rasio Bahan Baku dan Konsentrasi Bahan Penguat. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*, 7(2), 128. [10.24843/JITPA.2022.v07.i02.p06](https://doi.org/10.24843/JITPA.2022.v07.i02.p06)
- Yuniarti, L.I., G.S. Hutomo and A. Rahim. 2014. Synthesis and Characterization of Bioplastic Based On Sago Starch (*Metroxylon* sp.). *Agrotekbis*, 2(1), 38-46.
- Xanthos, M. 2010. *Functional Fillers for Plastics*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, 14-16. <http://dx.doi.org/10.1002/978352762984>
- Zhong, L. and X. Peng. 2017. Biorenewable Nanofiber and Nanocrystal: Renewable Nanomaterials for Constructing Novel Nanocomposites. *Handbook of Composites from Renewable Materials*, 7(5), 155-226.