

Pengaruh Selulosa Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) sebagai Zat Pengisi Plastik Biodegradable berbasis Pati Kulit Singkong (*Manihot fsculenta*)

AULIA FADILLA¹, VINA AMALIA¹, IRA RYSKI WAHYUNI^{1*}

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

*Alamat email korespondensi: auliafadilla.84@gmail.com

Informasi Artikel

Abstrak/Abstract

Kata Kunci:
biodegradasi;
bioplastik;
karakteristik; pati
kulit singkong;
selulosa ampas tebu.

Limbah plastik sintesis menyebabkan kerusakan lingkungan karena penggunaannya yang sekali pakai dan membutuhkan waktu hingga 1000 tahun untuk dapat terdegradasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk mengganti plastik menjadi bioplastik yang ramah lingkungan dan mudah terurai. Bahan bioplastik dapat berasal dari limbah pertanian yaitu kulit singkong yang dimanfaatkan patinya dan penambahan gliserol sebagai *plasticizer*. Akan tetapi, bioplastik berbasis pati dan *plasticizer* masih memiliki sifat mekanik yang rendah sehingga perlu penambahan zat pengisi. Penambahan selulosa sebagai zat pengisi diharapkan mampu meningkatkan sifat fisik dan mekanik pada bioplastik. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan diantaranya preparasi pati kulit singkong, preparasi selulosa ampas tebu, pembuatan bioplastik dengan komposisi penambahan variasi massa selulosa yaitu 0; 0,5; 1; 1,5 gram. Bioplastik yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi sifat fisik dan sifat mekanik, dianalisis morfologi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan diuji biodegradasinya. Hasil dari penelitian ini penambahan selulosa sebagai zat pengisi mempengaruhi karakteristik bioplastik. Semakin tinggi kandungan selulosa maka akan meningkatkan nilai ketebalan dan kuat tarik bioplastik yang dihasilkan. Namun, ketahanan air dan elastisitas pada bioplastik semakin menurun. Kehomogenan campuran pada bioplastik yang dihasilkan ditunjukkan dengan SEM. Semakin banyak selulosa yang ditambahkan maka laju degradasi pada bioplastik semakin meningkat. Bioplastik dengan nilai ketebalan dan kuat tarik terbaik pada penambahan selulosa 1,5 gram masing-masing sebesar 0,22 mm dan 4,78 MPa. Hasil biodegradasi terbaik pada bioplastik penambahan variasi selulosa 1,5 gram yang terdegradasi sempurna pada hari ke 63.

Keywords:
biodegradation;
bioplastics; cassava
peel starch;
characteristics;
sugarcane bagasse
cellulose.

Synthetic plastic waste causes environmental damage due to its single-use and takes up to 1000 years to degrade. Therefore, it is necessary to make efforts to replace plastic into bioplastics that are environmentally friendly and easily decomposed. Bioplastic materials can be derived from agricultural waste, namely cassava peels for which starch is used and the addition of glycerol as a plasticizer. Nevertheless, starch-based bioplastics and plasticizers still have low mechanical properties, requiring the addition of fillers. The addition of cellulose as a filler is expected to improve the physical and mechanical properties of bioplastics. This research consists of four stages including cassava peel starch preparation, bagasse cellulose preparation, making bioplastics with the composition of adding cellulose mass variations, namely 0; 0.5; 1; 1.5 grams. The produced bioplastics are characterized by their physical and mechanical properties, morphology using SEM (Scanning Electron Microscopy), and biodegradation ability. The results of this study show the addition of cellulose as a filler affects the characteristics of bioplastics. The higher the cellulose content, the higher thickness and tensile strength of the resulting bioplastic produced. However, the water resistance and elasticity of bioplastics are decreasing. The homogeneity of the mixture in the bioplastics produced is shown by SEM. The more cellulose added, the rate of degradation in bioplastics increases. Bioplastics with the best thickness and tensile strength values in the addition of 1.5 grams of cellulose amounted to 0.22 mm and 4.78 MPa, respectively. The best biodegradation results in bioplastics adding 1.5 grams of cellulose variation which degraded completely on day 63.

PENDAHULUAN

Plastik sintetis umumnya berasal dari bahan minyak bumi yang tahan terhadap senyawa kimia dan mikroba. Sehingga plastik sintetis lebih tahan lama dan sulit terdegradasi oleh lingkungan. Penggunaan plastik umumnya hanya sekali pakai, menyebabkan sampah plastik akan terus meningkat. Plastik sintetis membutuhkan waktu hingga 1000 tahun untuk dapat terdegradasi [1].

Pada tahun 2020, menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Indonesia menghasilkan sekitar 67,8 ton sampah plastik yang tertimbun di tanah dalam setahun [2]. Sulitnya penguraian limbah plastik sintetis diiringi dengan peningkatan penggunaan plastik akan memperburuk lingkungan maka perlu dilakukan upaya untuk mengganti plastik menjadi kemasan yang lebih mudah terurai yaitu bioplastik. Bioplastik dirancang sebagai plastik *biodegradable* guna sebagai pengemas ramah lingkungan.

Bioplastik ialah biopolimer yang dapat terdegradasi di alam. Bahan pembuatan bioplastik umumnya berasal dari komoditas pangan sehingga biaya produksinya tinggi dan menjadi hambatan dalam produksi bioplastik. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia (2016) menyatakan bahwa bioplastik belum bisa dikembangkan dan belum bisa diproduksi skala industri karena kendala ketersediaan bahan baku dan biaya produksinya mahal [3]. Bioplastik yang bahan bakunya berasal dari bahan pangan tentulah menjadi masalah baru karena dalam jangka panjang akan mengancam ketahanan pangan [4]. Maka dari itu, perlunya penggunaan limbah sebagai bahan baku dalam pembuatan bioplastik serta dapat meningkatkan mutu limbah tersebut.

Terdapat beberapa bahan dalam pembuatan bioplastik seperti polisakarida (selulosa, pati, kitin), protein (kasein, whey, kolagen) dan lemak. Bahan tersebut bisa didapatkan dengan memanfaatkan sumber daya terbarukan yaitu penggunaan limbah pertanian salah satunya kulit singkong yang dimanfaatkan patinya. Singkong merupakan salah satu jenis umbi-umbian yang digemari oleh masyarakat Indonesia Biasanya, masyarakat Indonesia mengkonsumsi dagingnya saja sementara kulitnya tidak digunakan dan terbuang menjadi limbah tak terpakai. Padahal kulit singkong mengandung pati sekitar 44-59%, amilosa 30,69% dan amilopektin 44,83% [5]. Kandungan pati yang tinggi menyebabkan kulit singkong berpotensi dalam pembuatan bioplastik.

Namun, kekurangan pati pada bioplastik mudah rapuh sehingga perlu ditambahkan

plasticizer yang dapat meningkatkan fleksibilitasnya [70]. *Plasticizer* perlu digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik dan mencegah keretakan bioplastik. *Plasticizer* yang dapat digunakan yaitu gliserol karena tidak beracun dan mudah menyisip dalam pati, seperti pada penelitian Sitomorang (2019) menyebutkan bahwa karakteristik terbaik pada pembuatan bioplastik dengan *plasticizer* gliserol dibandingkan dengan *plasticizer* sorbitol [7]. Lalu pada penelitian Treenata (2015) pada pembuatan film Hidroksietilakril Kitosan/Sodium Alginat menyebutkan bahwa gliserol lebih memperoleh plastisisasi yang lebih efektif dibandingkan sorbitol [8]. Dalam hal ini penggunaan *plasticizer* gliserol memiliki potensi sebagai bahan tambahan bioplastik.

Penambahan *plasticizer* pada pembuatan bioplastik hanya meningkatkan sifat fleksibilitas serta kelenturannya namun tidak meningkatkan sifat kuat tarik, sehingga perlu penambahan zat pengisi/*filler*. Zat pengisi dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik berupa kekuatan dan kerapatan pada bioplastik [9]. Zat pengisi dapat menggunakan selulosa yang berasal dari bahan alam. Selulosa dapat diperbaharui dan berlimpah di alam, selain itu seperti pada penelitian Dewi (2021) penambahan selulosa pada bioplastik berbasis pati jagung dapat mengurangi pori-pori film sehingga lebih kuat dan tahan tarikan [10], kemudian penelitian Gea (2022) penambahan selulosa mampu meningkatkan sifat mekanik berupa nilai kuat tarik pada bioplastik [11]. Selulosa dapat diperoleh dari limbah pertanian yaitu ampas tebu.

Ampas tebu (*Saccharum officinarum*) merupakan hasil samping penggilingan dan produksi gula yang berbentuk padat dan kaya akan serat. Pemanfaatan limbah ampas tebu di Indonesia masih belum maksimal dalam pemanfaatannya, padahal serat ampas tebu sangat melimpah sekitar 30% dari berat tanaman tebu. Kandungan pada ampas tebu ialah, 52,7% selulosa, 20% hemiselulosa dan 24,2% lignin. Kandungan selulosa yang banyak pada ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai zat pengisi dalam pembuatan bioplastik [12]. Zat pengisi sangat penting dalam pembuatan bioplastik untuk meningkatkan sifat mekaniknya terutama nilai kuat tarik. Maka dari itu potensi pemanfaatan ampas tebu dan penggunaan selulosanya perlu dilakukan untuk pembuatan bioplastik berbasis pati dan gliserol serta diharapkan mampu memperbaiki sifat fisik dan mekanik bioplastik

dan dapat menjadi alternatif sebagai kemasan ramah lingkungan dan mudah terurai.

EKSPERIMEN

Material

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit singkong dari limbah penjual keripik singkong di Kota Bandung, aquades, gliserol 99,7%, ampas tebu yang berasal dari limbah penjual es tebu di Kota Bandung, NaOH 2%, H₂SO₄ 4%, NaOCl 4%.

Alat-alat yang digunakan meliputi blender, gelas kimia 250 mL & 1000 mL, kaca arloji, corong *buchner*, corong kaca, gelas ukur 250 mL, oven, desikator, ayakan 100 mesh, batang pengaduk, *magnetic stirrer*, *hot plate*, spatula, *cutter*, cetakan bioplastik, mikrometer sekrup, cawan petri, loyang, pipet tetes, *thermometer* 100 °C, kain saring, kertas saring, botol semprot dan *stopwatch*.

Instrumentasi

Instrument yang digunakan ialah Tensile Instron® dan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

Prosedur

Pada penelitian ini dilakukan empat tahapan yaitu 1) Preparasi pati kulit singkong, 2) Preparasi selulosa dari ampas tebu, 3) Pembuatan bioplastik, 4) Karakterisasi bioplastik pati kulit singkong. meliputi: uji kuat tarik, persen pemanjangan dan elastisitas, uji ketebalan, uji ketahanan air, uji morfologi, dan uji biodegradasi.

Preparasi Pati Kulit Singkong

Limbah kulit singkong disiapkan dan dicuci, lalu dipotong kecil-kecil, kemudian dihaluskan menggunakan blender. Kulit singkong yang telah halus kemudian ditambahkan aquades 1:2 dan disaring untuk mendapatkan sari kulit singkongnya. Lalu filtrat kulit singkong dibiarkan sampai terdapat endapan selama 24 jam. Hasil endapan dipisahkan dan disaring. Endapan yang dihasilkan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60 °C selama 12 jam. Hasil pengeringan kemudian diayak menggunakan ayakan 100 mesh.

Preparasi Selulosa Ampas Tebu

Limbah ampas tebu yang telah disiapkan kemudian dipotong kecil-kecil lalu dicuci, kemudian dikeringkan dibawah panas matahari. Setelah itu dilarutkan menggunakan NaOH 2% 1:10 dan dipanaskan pada suhu 80 °C selama 2,5 jam. Kemudian disaring dan dicuci menggunakan aquades sampai pH netral. Lalu residu yang didapatkan dicampurkan dengan larutan H₂SO₄ 4% 1:10 dan dipanaskan pada suhu 85 °C selama 2,5 jam. Kemudian campuran disaring dan residu yang didapatkan ditambahkan dengan larutan NaOCl 4% kemudian dipanaskan pada suhu 80 °C selama 2,5 jam. Setelah dipanaskan, residu dicuci menggunakan aquades hingga pH netral kemudian dikeringkan pada suhu 40 °C selama 24 jam.

Pembuatan Bioplastik

Proses pembuatan bioplastik diawali dengan penambahan 5 gram pati kulit singkong dan variasi selulosa ampas tebu sebanyak 0; 0,5; 1; 1,5 gram. Kemudian ditambahkan aquades 80 mL ke dalam campuran. Setelah itu, dilakukan pemanasan dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 65 °C selama 15 menit. Kemudian ditambahkan gliserol 70% 2 mL dan diaduk selama 10 menit pada suhu 80 °C. Lalu campuran dituang ke dalam cetakan dan diratakan dibentuk film. Lalu dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 55 °C selama 12 jam.

Karakterisasi Sifat Fisik Bioplastik

1) Analisis Ketebalan

Bioplastik dengan ukuran 2 x 2 cm diukur ketebalannya menggunakan mikrometer sekrup. Diukur pada lima tempat yang berbeda yaitu pada sudut kiri atas, sudut kanan atas, sudut kanan bawah, sudut kiri bawah, dan tengah. Hasil pengukuran yang didapatkan kemudian dihitung nilai rata-ratanya.

2) Analisis Ketahanan Air dengan Uji Daya Serap Air (*Water Uptake*)

Bioplastik dengan ukuran 2 x 2 cm ditimbang berat awal sebagai (W₀), kemudian disiapkan wadah yang telah diisi air aquades lalu dimasukkan bioplastik selama 10 detik, lalu diangkat dari wadah berisi air dan ditimbang beratnya (W), kemudian dilakukan pengulangan hingga didapat berat yang konstan

Karakterisasi Sifat Mekanik Bioplastik

Sampel bioplastik ditempatkan di ujung instrumen kemudian dilakukan pencatatan panjang dan ketebalan awal. Lalu klik tombol start pada instrumen dan alat langsung akan menarik sampel hingga sampel terputus.

Analisis Morfologi Bioplastik

Bioplastik dipotong dengan ukuran 2 x 2 cm terlebih dahulu, kemudian direkatkan pada set holder dengan perekat ganda dan aplikasi dan dilapisi logam emas dalam keadaan vakum. Lalu sampel dimasukkan ke dalam instrumen SEM dan dilakukan pembesaran sebesar 5000 kali lalu didapatkan gambar topografi permukaan bioplastik.

Analisis Biodegradasi Bioplastik

Pertama-tama menyiapkan wadah plastik yang dilubangi sebanyak sepuluh dibawah dan disamping wadah kemudian diisi dengan 200 gram tanah lembab, bioplastik berukuran 2 x 2 cm dengan berat (W_0) dikubur selama 48 jam dengan kedalaman 3,5 cm. Setelah itu sampel dibersihkan dan ditimbang (W_t). Lalu tanah dalam wadah dibasahi dengan air deionisasi (10 mL) supaya lembab, dan sampel dikubur kembali selama 48 jam. Kemudian sampel diangkat, dibersihkan dan ditimbang. Percobaan dilanjutkan sampai sekitar 70% berat bahan hilang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Pati Kulit Singkong

Perolehan pati berdasarkan pada tersuspensinya pati kedalam fase cair, sehingga terpisah dari serat kasar, lemak maupun zat lain yang tidak larut dalam air sehingga pati yang diperoleh mengendap dalam air [13]. Pati yang dihasilkan berwarna putih kecokelatan dan beraroma singkong, pati yang diperoleh diayak menggunakan ayakan 100 mesh, proses ini bertujuan supaya pati yang dihasilkan memiliki ukuran yang seragam.

Total rendemen pati sebesar 104,9931 gram dari 1.512 gram kulit singkong atau sebesar 6,94% dari berat kulit singkong Hasil rendemen pati sama seperti pada penelitian Syuhada (2020) dengan rendemen pati kulit singkong sebesar 6,5% dan lebih tinggi dari pada penelitian Alfian (2020) sebesar 5,97% [14] [5].

Preparasi Selulosa Ampas Tebu

Proses isolasi selulosa dari ampas tebu menggunakan tiga tahapan yaitu proses delignifikasi untuk penghilangan lignin, hidrolisis asam untuk penghilangan hemiselulosa dan *bleaching* untuk pemutihan atau penghilangan sisa-sisa lignin dan hemiselulosa.

Delignifikator yang digunakan ialah NaOH 2%. NaOH digunakan untuk melarutkan lignin dan mengembangkan struktur selulosa karena sifat lignin yang mudah larut dalam basa sedangkan selulosa sukar larut dalam basa [15]. NaOH dapat merusak struktur lignin serta memisahkan sebagian hemiselulosa, ion OH⁻ dari NaOH akan memutuskan ikatan ester yang menghubungkan lignin-hemiselulosa dari struktur lignin sedangkan ion Na⁺ berikatan dengan lignin membentuk natrium fenolat [16]. Struktur lignin yang rusak akan larut dengan NaOH ditandai dengan warna hitam pada larutan.

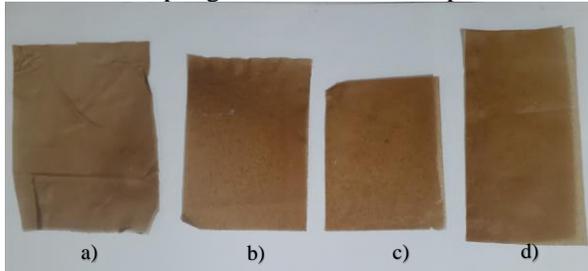
Tahap selanjutnya penghilangan hemiselulosa dengan hidrolisis asam menggunakan pelarut H₂SO₄ 4% sehingga diperoleh serat yang bebas dari lignin dan hemiselulosa. Hidrolisis merupakan proses penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Pada penelitian Maitan, dkk (2015) bahwa perlakuan asam mampu melarutkan 73% hemiselulosa dengan H₂SO₄ [17].

Serat yang diperoleh selanjutnya dilakukan *bleaching* atau pemutihan menggunakan NaOCl 4%. NaOCl digunakan untuk melarutkan sisa-sisa lignin dan hemiselulosa pada serat. Hal ini sesuai dengan penelitian Sghaier, dkk (2012) bahwa fungsi NaOCl selain sebagai pemutih juga dapat sebagai pelarut untuk menghilangkan hemiselulosa dan lignin sehingga pemurnian selulosa lebih optimal serta dapat meningkatkan kecerahan selulosa [18]. Pada tahapan *bleaching* terjadi perubahan warna selulosa dari cokelat menjadi putih kekuningan. Hasil selulosa ampas tebu yang diperoleh berwarna putih kekuningan dengan rendemen sebesar 20,86%.

Pembuatan Bioplastik

Pada proses pembuatan bioplastik diperlukan pemanasan sampai suhu 80 °C. Pemanasan ini bertujuan untuk proses gelatinisasi pada pati yang ditandai dengan mengentalnya larutan dan perubahan warna larutan dari keruh menjadi jernih. Pada dasarnya pembuatan bioplastik berbasis pati menggunakan prinsip gelatinisasi.

Bioplastik yang dihasilkan bertekstur halus dan elastis serta memiliki warna cokelat gelap seperti pada **Gambar 1**. Warna cokelat yang dihasilkan karena sifat pati kulit singkong yang berwarna putih kecokelatan. Semakin banyak selulosa yang ditambahkan maka semakin mengurangi transparansi bioplastik karena selulosa mempengaruhi ketebalan bioplastik.

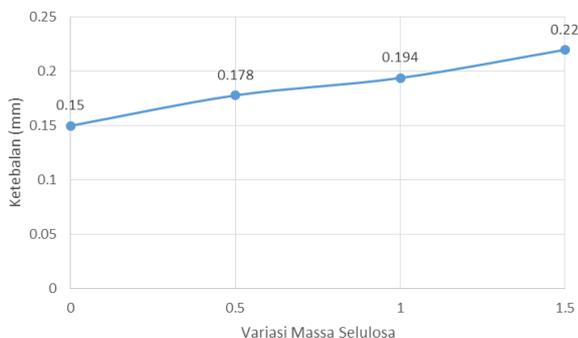


Gambar 1 Bioplastik dengan Variasi Massa Selulosa
a) 0 g; b) 0,5 g; c) 1 g; d) 1,5 g.

Analisis Karakteristik Sifat Fisik Bioplastik

Ketebalan Bioplastik

Pengukuran ketebalan penting karena dapat mempengaruhi nilai kuat tarik dan elongasi. Ketebalan juga berpengaruh terhadap ketangguhan bioplastik sebagai pengemas. Jenis komponen yang ditambahkan mempengaruhi nilai ketebalan bioplastik yang dihasilkan seperti pada **Gambar 2**.



Gambar 29 Hasil Pengukuran Ketebalan Bioplastik

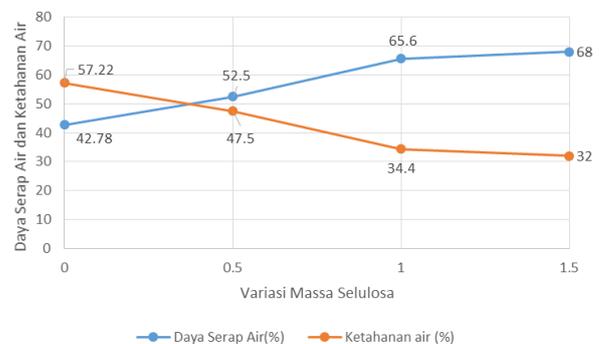
Hasil menunjukkan bahwa penambahan selulosa mempengaruhi ketebalan bioplastik. Semakin tinggi penambahan selulosa maka ketebalan bioplastik meningkat. Penelitian Ningsih, dkk (2019) juga mengalami peningkatan nilai ketebalan seiring dengan penambahan *filler* CMC dari 0,13 mm sampai 0,169 mm [19].

Hal ini sesuai dengan penelitian Darni, dkk (2018) menyatakan bahwa penambahan zat pengisi pada bioplastik dapat mempengaruhi ketebalan karena kemampuan zat pengisi untuk mengisi ruang kosong pada bioplastik [20].

Selulosa memiliki struktur rantai yang lurus dan mampu menyusup pada ruang bioplastik sehingga bioplastik dengan penambahan selulosa lebih tebal. Nilai ketebalan yang meningkat juga dapat disebabkan banyaknya padatan pada larutan sehingga bioplastik yang dihasilkan semakin tebal.

Daya Serap Air (*water uptake*) dan Ketahanan Air Bioplastik

Pengujian daya serap air dan ketahanan air bertujuan untuk mengetahui kemampuan bioplastik dalam menyerap air. Ketahanan air pada bioplastik memberikan kualitas masa simpan bioplastik. Hasil uji daya serap air dan ketahanan bioplastik terhadap air ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Hasil Pengujian Daya Serap Air dan Ketahanan Air Bioplastik.

Dari hasil menunjukkan bahwa penambahan selulosa mempengaruhi daya serap air dan ketahanan air pada bioplastik. Bioplastik tanpa penambahan selulosa memiliki daya serap air yang paling rendah yaitu sebesar 42,78% dan ketahanan air yang tinggi yaitu sebesar 57,22% sedangkan bioplastik dengan penambahan selulosa 1,5 gram memiliki daya serap air yang tinggi yaitu sebesar 68% dan ketahanan air yang rendah yaitu sebesar 32%. Semakin banyak penambahan selulosa pada bioplastik semakin tinggi penyerapan airnya dan semakin rendah ketahanan airnya.

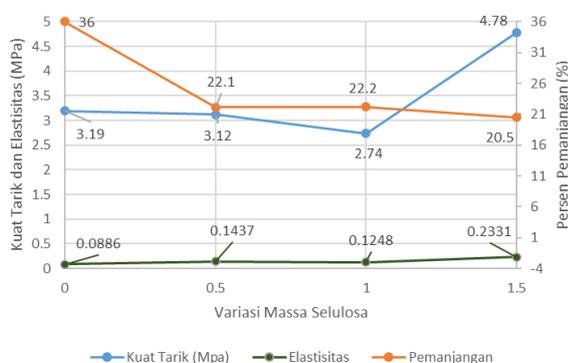
Peningkatan nilai daya serap air pada bioplastik terjadi pada penelitian Intandiana, dkk (2019) dimana bioplastik dengan kandungan selulosa tertinggi memiliki nilai daya serap air yang tinggi dibandingkan pada bioplastik tanpa penambahan selulosa [21]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Sulityo dan Ismiyati (2012) diperoleh bioplastik dari pati singkong dan selulosa dari rumput laut menghasilkan daya serap

air sebesar 80-175% dengan konsentrasi selulosa bervariasi [22].

Menurut Siswanto, dkk (2020) penambahan selulosa akan mengurangi sifat hidrofilik karena sifat selulosa yang sulit berinteraksi dengan air. Sulitnya selulosa berinteraksi dengan air karena selulosa memiliki rantai yang panjang serta ikatan hidrogen yang kuat [23]. Namun penambahan selulosa yang berlebih cenderung meningkatkan daya serap selulosa. Hal ini disebabkan karena ikatan hidrogen dalam molekul selulosa cenderung membentuk ikatan hidrogen intramolekul termasuk dengan molekul air [24].

Ukuran selulosa juga berpengaruh terhadap daya serap air, semakin kecil ukuran selulosa maka akan semakin tinggi ketahanan airnya. Hermansyah, dkk (2014) mengatakan bahwa penyerapan air pada selulosa terjadi pada bagian amorf, sedangkan jika ukuran kristalin memiliki ruang kosong yang relatif kecil, sehingga permeabilitas uap air dapat menurun. Upaya untuk menurunkan daya serap air pada bioplastik dapat memperkecil ukuran selulosa menjadi kristalin atau nanoselulosa [25].

Analisis Karakteristik Sifat Mekanik Bioplastik



Gambar 4 Hasil Pengujian Sifat Mekanik Bioplastik

Karakteristik sifat mekanik bioplastik dapat dilihat melalui pengujian kuat tarik, persen pemanjangan (elongasi), dan elastisitas (modulus young). Sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan dipengaruhi komponen penyusunnya. Hasil sifat mekanik bioplastik dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Analisis Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik bioplastik ketika diberikan beban. Nilai yang diperoleh akan menunjukkan kekuatan tegangan maksimum

bahan untuk menahan beban yang diberikan. Hasil kuat tarik bioplastik dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Hasil pengujian kuat tarik menunjukkan penambahan selulosa berpengaruh terhadap kuat tarik bioplastik. Bioplastik dengan penambahan selulosa 1,5 gram memiliki nilai kuat tarik tertinggi yaitu sebesar 4,78 Mpa. Nilai kuat tarik yang dihasilkan masih belum memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 7818:2014 dimana syarat nilai kuat tarik plastik minimal 13,7 Mpa. Namun, nilai kuat tarik yang dihasilkan lebih besar dibandingkan pada penelitian Kamaluddin, dkk (2022) yaitu sebesar 3,2893 Mpa dengan penambahan selulosa limbah kertas [26] dan penelitian Radtra, dkk (2021) sebesar 1,4988 Mpa pada *filler* kalsium karbonat dan 1,9843 Mpa pada *filler* kalsium silikat [27].

Hal ini sesuai dengan penelitian Septiosari, dkk (2014) menyatakan bahwa penambahan selulosa yang tinggi cenderung meningkatkan kekuatan tarik pada bioplastik, karena selulosa memiliki rantai polimer yang lurus dan panjang sehingga menguatkan plastik [28]. Selain itu, peningkatan nilai kuat tarik pada penambahan selulosa yang tinggi karena daya tarik permukaan yang baik dimana terbentuknya ikatan hidrogen yang kuat antara gugus hidroksil (O-H) dari pati dengan gugus hidroksil (O-H) dari selulosa [28]. Serat selulosa akan mengurangi ruang pori-pori pada plastik sehingga lebih kuat dan tahan tarikan.

Analisis Persen Pemanjangan (elongasi)

Pengujian elongasi atau persen perpanjangan pada bioplastik bertujuan untuk mengetahui kemampuan perpanjangan plastik dimana hasil berupa nilai persentase yang menunjukkan perubahan panjang plastik saat ditarik hingga putus. Semakin tinggi nilai elongasi maka plastik akan semakin fleksibel dan plastis. Hasil persen perpanjangan bioplastik berdasarkan variasi penambahan selulosa seperti pada **Gambar 4**.

Hasil menunjukkan bahwa penambahan selulosa mempengaruhi nilai elongasi pada bioplastik. Berdasarkan hasil tersebut nilai elongasi tertinggi ialah pada bioplastik tanpa penambahan selulosa yaitu sebesar 36% sedangkan nilai elongasi bioplastik terendah ialah pada bioplastik dengan penambahan massa 1,5 g yaitu sebesar 20,5%. Persen perpanjangan bioplastik yang dihasilkan belum memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 7818:2014 dimana rentang standar persen perpanjangan ialah

400-1120%. Pada bioplastik tanpa penambahan selulosa memiliki regangan yang lebih tinggi dibandingkan bioplastik dengan penambahan selulosa.

Hal ini sesuai dengan penelitian Panjaitan (2017) menyatakan bahwa penambahan selulosa berbanding terbalik dengan nilai persen elongasi, semakin banyak kandungan selulosa dalam plastik maka akan semakin menurunkan nilai persen elongasi [24]. Penurunan persen elongasi terjadi karena terdapat ikatan antara gugus hidroksil (O-H) dari pati dan gugus hidroksil (O-H) dari selulosa, kedua gugus ini saling berikatan membentuk ikatan hidrogen yang kuat, semakin banyak ikatan hidrogen akan menurunkan jarak ikatan antar molekul, selain itu ikatan ini mengurangi kebebasan pergerakan molekul pati untuk berpindah dan bergeser sehingga meningkatkan sifat kaku serta menurunkan sifat elastis pada plastik [29].

Bioplastik tanpa penambahan selulosa memiliki nilai elongasi paling tinggi juga berkaitan dengan penambahan *plasticizer*. Penambahan gliserol sebagai *plasticizer* akan meningkatkan nilai elastisitas sehingga dapat meningkatkan nilai elongasi dimana akan menurunkan gaya intermolekuler pada rantai polimer sehingga meningkatkan fleksibilitas [24]. Dari hasil percobaan bahwa penambahan selulosa belum mampu meningkatkan nilai persen elongasi.

Analisis Elastisitas (modulus young)

Pengujian modulus young atau elastisitas bertujuan untuk mengetahui elastisitas suatu plastik. Nilai modulus young merupakan ketahanan suatu plastik ketika diberi beban sampai terjadi deformasi. Modulus young berbanding lurus dengan nilai kuat tarik dan berbanding terbalik dengan nilai elongasi. Semakin kecil nilai modulus young maka akan semakin elastis suatu plastik. Nilai modulus young diperoleh dari perbandingan antara nilai kuat tarik terhadap nilai elongasi [30]. Nilai modulus young bioplastik berdasarkan variasi penambahan selulosa pada **Gambar 4**.

Penambahan selulosa pada bioplastik akan meningkatkan nilai modulus young dimana nilai modulus young yang tinggi akan memberikan kekakuan pada plastik, begitupun sebaliknya nilai modulus young yang rendah akan memberikan sifat elastis pada plastik [31]. Dari hasil tersebut bioplastik dengan penambahan selulosa 1,5 gram memiliki nilai modulus young tertinggi sebesar 0,2331 Mpa, sedangkan nilai modulus young

terendah pada bioplastik tanpa penambahan selulosa, sebesar 0,0886 Mpa.

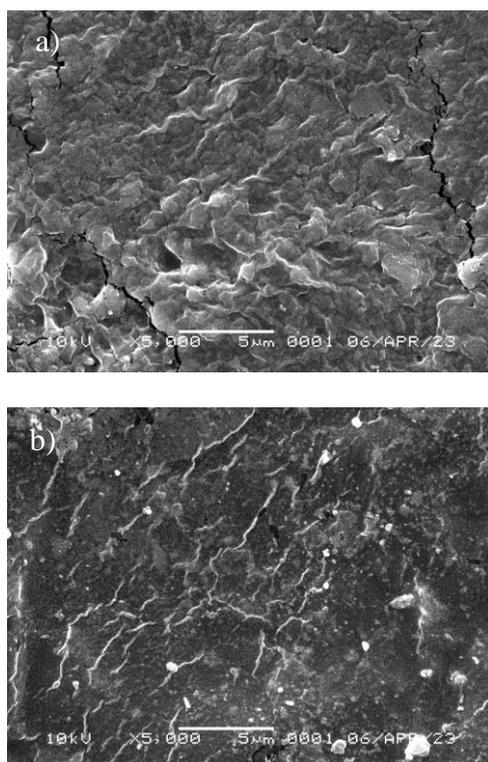
Bioplastik tanpa penambahan selulosa memiliki elastisitas yang tinggi dibandingkan bioplastik dengan penambahan selulosa. Hal ini disebabkan bioplastik tanpa selulosa memiliki jarak ikatan antar molekul yang rendah sehingga gerakan antar molekulnya lebih bebas dan dapat meningkatkan fleksibilitas serta elastisitas plastik [26]. Dari hasil percobaan bahwa penambahan selulosa cenderung menurunkan elastisitas.

Analisis Morfologi Bioplastik

Analisis morfologi bioplastik bertujuan untuk mengetahui morfologi dari bioplastik yang diperoleh. Bioplastik yang baik ialah bioplastik yang memiliki permukaan homogen. Kehomogenan bioplastik ini mempengaruhi sifat fisik dan mekanik pada bioplastik. Sampel bioplastik yang di uji menggunakan SEM yaitu pada bioplastik tanpa penambahan selulosa dan bioplastik dengan penambahan selulosa 1,5 gram. Hasil morfologi dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Bioplastik tanpa penambahan selulosa menghasilkan struktur yang tidak rata. Terlihat banyak butiran pati yang tidak tergelatinisasi sempurna serta banyaknya ruang kosong pada permukaan bioplastik yang menandakan banyak gelombang udara. Penelitian Udyani, dkk (2021) menyatakan bahwa gelombang udara yang dihasilkan disebabkan kurang homogenya pada proses pencampuran, dimana pengadukan, waktu dan suhu pengeringan yang tidak sesuai [32].

Pada bioplastik dengan penambahan selulosa 1,5 gram menghasilkan permukaan bioplastik yang tidak rata, hal tersebut disebabkan kurangnya homogen saat proses pencampuran. Selain itu sifat selulosa yang tidak larut dalam air sehingga menghasilkan permukaan yang kurang homogen. Pada permukaan terlihat bahwa terdapat retakan-retakan pada permukaan bioplastik yang menandakan ukuran selulosa masih terlalu besar sehingga partikel selulosa pada matriks pati tidak rapat. Pada penelitian Setiawan, dkk (2015) menyatakan bahwa kurang rapatnya struktur pada retakan tersebut menyebabkan air akan terserap lebih banyak [33].



Gambar 5 Hasil Pengujian SEM a) Bioplastik pati kulit singkong + gliserol; b) Bioplastik pati kulit singkong + gliserol + selulosa 1,5 g.

Selain itu terlihat banyaknya penumpukkan komponen selulosa pada beberapa titik. Penumpukkan tersebut menandakan aglomerasi pada matriks pati. Aglomerasi ini

terjadi karena tidak meratanya persebaran pengisi yang ditambahkan sehingga mengakibatkan bioplastik yang dihasilkan tidak maksimal. Jika penambahan selulosa terlalu sedikit atau banyak akan menyebabkan aglomerasi. Hal ini sesuai dengan penelitian Panjaitan, dkk (2017) menyatakan bahwa peningkatan kandungan zat pengisi menyebabkan terbentuknya aglomerat yang besar pada partikel pengisi [24].

Morfologi bioplastik tanpa penambahan selulosa terlihat banyak ruang kosong jika dibandingkan dengan morfologi bioplastik penambahan selulosa 1,5 gram. Hal ini membuktikan bahwa kemampuan selulosa sebagai zat pengisi akan mengisi ruang kosong pada bioplastik berbasis pati sehingga menghasilkan struktur yang kompak dan meningkatkan kuat tarik.

Analisis Biodegradasi Bioplastik

Pengujian biodegradasi bioplastik bertujuan untuk menentukan laju degradasi bioplastik sehingga dapat memperkirakan berapa lama waktu yang dibutuhkan bioplastik untuk terdegradasi dengan baik di lingkungan. Pengujian ini dilakukan dengan mengubur sampel menggunakan tanah dan diamati setiap 48 jam untuk mengetahui penurunan berat massa sampel yang terdegradasi. Hasil degradasi bioplastik ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Hasil Degradasi Bioplastik

Variasi massa selulosa (g)	Massa Awal (g)	Massa Per minggu (g)				Massa Hilang (%)
		2	4	6	8	
0	0,0966	0,0879	0,0814	0,0699	0,0476	50,72%
0,5	0,1020	0,0814	0,0764	0,0622	0,0452	55,68%
1	0,1026	0,0786	0,0752	0,0613	0,0404	60,62%
1,5	0,1002	0,0751	0,0700	0,0567	0,0261	73,95%

Hasil menunjukkan bahwa bioplastik dengan penambahan selulosa lebih cepat terdegradasi dibandingkan pada bioplastik tanpa penambahan selulosa. Bioplastik dengan penambahan selulosa 1,5 gram memiliki kehilangan massa lebih tinggi yaitu 73,95% dalam

waktu 56 hari sedangkan bioplastik tanpa penambahan selulosa memiliki kehilangan persen massa lebih rendah yaitu 50,72% dalam waktu 56 hari. Terjadinya degradasi secara fisik ditandai dengan penurunan massa, perubahan warna dan kerapuhan pada bioplastik seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Perubahan Morfologi Bioplastik

Minggu ke-2	Minggu ke-4	Minggu ke-6	Minggu ke-8
 Selulosa (0 g) Kaku dan kering	 Selulosa (0 g) Kaku, kering dan rapuh	 Selulosa (0 g) Kaku, kering dan rapuh, sedikit berjamur	 Selulosa (0 g) Kaku, kering, rapuh berjamur dan terurai
 Selulosa (0,5 g) Kaku dan kering	 Selulosa (0,5 g) Kering dan rapuh	 Selulosa (0,5 g) Berjamur dan terurai di tepi potongan	 Selulosa (0,5 g) Kaku, kering, rapuh berjamur dan terurai
 Selulosa (1 g) Kering dan rapuh	 Selulosa (1 g) Kering dan rapuh	 Selulosa (1 g) Rapuh, berjamur dan terurai di tepi potongan	 Selulosa (1 g) Kaku, kering, rapuh berjamur dan terurai
 Selulosa (1,5) Terurai di tepi potongan	 Selulosa (1,5 g) Terurai di tepi potongan dan berjamur	 Selulosa (1,5 g) Rapuh, berjamur dan terurai di tepi potongan	 Selulosa (1,5 g) Kaku, kering, rapuh berjamur dan terurai

Bioplastik mulai terjadi perubahan morfologi pada minggu ke-2 pada penambahan variasi selulosa 1,5 gram ditandai dengan kerusakan ditepi potongan bioplastik, selain itu terjadi perubahan elastisitasnya dimana bioplastik semakin kaku dan rapuh. Pertumbuhan jamur pada permukaan bioplastik mulai terlihat pada minggu ke-6, bioplastik dengan penambahan selulosa 1,5 gram terlihat lebih banyak jamur yang tumbuh dibandingkan pada bioplastik tanpa penambahan selulosa. Terlihat bahwa seiring penambahan selulosa, perubahan morfologi bioplastik terlihat, namun bioplastik tanpa penambahan selulosa tidak terjadi perubahan secara signifikan dibandingkan pada bioplastik dengan penambahan selulosa.

Bioplastik mulai terjadi perubahan morfologi pada minggu ke-2 pada penambahan variasi selulosa 1,5 gram ditandai dengan kerusakan ditepi potongan bioplastik, selain itu terjadi perubahan elastisitasnya dimana bioplastik semakin kaku dan rapuh. Pertumbuhan jamur pada permukaan bioplastik mulai terlihat pada minggu ke-6, bioplastik dengan penambahan selulosa 1,5 gram terlihat lebih banyak jamur yang tumbuh dibandingkan pada bioplastik tanpa penambahan selulosa. Terlihat bahwa seiring penambahan selulosa, perubahan morfologi bioplastik terlihat, namun bioplastik tanpa penambahan selulosa tidak terjadi perubahan secara signifikan dibandingkan pada bioplastik dengan penambahan selulosa [10].

Penelitian Alfian, dkk (2020) juga menghasilkan bioplastik berbasis pati kulit singkong yang terdegradasi sempurna selama 40 hari [5]. Menurut Behjat (2009) semakin banyak selulosa maka semakin cepat plastik akan terdegradasi. Jadi yang berperan sebagai faktor biodegradabilitas ialah selulosa [34].

Laju degradasi bioplastik dengan massa selulosa 1,5 gram dan 1 gram terdegradasi sempurna pada hari ke 63, bioplastik massa 0,5 gram terdegradasi sempurna pada hari ke 64, sedangkan bioplastik tanpa penambahan selulosa terdegradasi sempurna pada hari ke 68. Hasil degradasi masih belum memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu terdegradasi 60% dalam waktu 1 minggu.

Komponen lain pada bioplastik yang berperan dalam laju degradasi ialah pati dan gliserol. Kandungan pati pada bioplastik bersifat hidrofilik sehingga berperan meningkatkan penyerapan air dan memberikan ruang kondusif untuk perkembangan mikroorganisme. Selain itu, penambahan *plasticizer* juga dapat menurunkan kerapatan bioplastik menyebabkan terbentuknya rongga yang lebih besar sehingga berpotensi masuknya air sebagai media pertumbuhan mikroba yang mengurai bioplastik [32]. Wahyuningtyas, dkk (2017) juga menyatakan penambahan gliserol dapat meningkatkan degradasi karena gliserol memiliki kemampuan untuk menyerap air dengan mudah [35]. Semakin tinggi sifat hidrofilik pada bioplastik maka akan semakin banyak menyerap air sehingga kelembapan pada bioplastik semakin meningkat. Kelembapan yang tinggi dapat mempengaruhi aktivitas mikroba untuk mendegradasi.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan selulosa ampas tebu sebagai zat pengisi berpengaruh terhadap bioplastik berbasis pati kulit singkong. Selulosa yang ditambahkan dapat meningkatkan sifat fisik dan sifat mekanik.

Semakin banyak penambahan selulosa sebagai zat pengisi pada bioplastik maka semakin cepat waktu degradasi. Hasil biodegradasi terbaik pada bioplastik penambahan variasi selulosa 1,5 gram yang terdegradasi sempurna pada hari ke 63.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati sebagai

penyedia laboratorium terpadu. Serta saya ucapkan terima kasih kepada Ibu Vina Amalia, S.Pd., M.Si. serta Ibu Ira Ryski Wahyuni, M.T. atas bimbingannya. Kemudian para dosen dan seluruh pegawai di Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi. Serta saya ucapkan kepada pihak yang tidak bisa saya ucapkan satu persatu.

REFERENSI

- [1] A. Melani, N. Herawati dan A. F. Kurniawan, "Bioplastik Pati Umbi Talas Melalui Proses Melt Intercalation," *Distilasi*, vol. 2, pp. 53-67, 2017.
- [2] KLHK, "Indonesia Memasuki Era Baru Pengelolaan Sampah," https://www.menlhk.go.id/site/single_post/2753, 2020.
- [3] E. Yanwardhana, "Kemenperin," Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 8 Maret 2016. [Online]. Available: <https://www.kemenperin.go.id/artikel/14667/Industri-Bioplastik-Terganjil-Bahan-Baku>. [Diakses 14 Mei 2023].
- [4] Deutsche Welle, "DW," Deutsche Welle, 31 Agustus 2020. [Online]. Available: <https://www.dw.com/id/masih-ditemukan-pelanggaran-penggunaan-plastik-sekali-pakai-di-ibu-kota/a-54770279>. [Diakses 14 Mei 2023].
- [5] A. Alfian, D. Wahyuningtyas dan P. D. Sukmawati, "Pembuatan Edible Film Dari Pati Kulit Singkong Menggunakan Plasticizer Sorbitol Dengan Asam Sitrat Sebagai Crosslinking Agent," *Jurnal Inovasi Proses*, vol. 5, no. 2, pp. 46-56, 2020.
- [6] C. M. P. Yoshida, E. N. O. Junior dan T. T. Franco, "Chitosan Tailor-Made Films: The Effects of Additives on Barrier and Mechanical Properties," *Packaging Technology and Science*, vol. 22, pp. 161-170, 2009.
- [7] F. U. Situmorang, A. Hartiati dan B. A. Harsojuwono, "Pengaruh Konsentrasi Pati Ubi Talas (*Colocasia esculenta*) dan Jenis Plasticizer terhadap Karakteristik Bioplastik," *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, vol. 7, no. 3, pp. 457-467, 2019.

- [8] P. Treenata, P. Monvisade dan M. Yamaguchi, "The Effect Glycerol/Water and Sorbitol/Water on the Plasticization of Hydroxyethylacryl Chitosan/Sodium Alginate Films," *MATEC Web of Conference*, vol. 3033, pp. 1-4, 2015.
- [9] R. Wicaksono, K. Syamsu, I. Yuliasih dan M. Nasir, "Karakteristik Nanoserat Selulosa dari Ampas Tapioka dan Aplikasinya sebagai Penguat Film Tapioka," *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, vol. 1, no. 23, pp. 38-45, 2013.
- [10] I. M. Dewi, A. Z. Johannes, R. K. Pingak, M. Bukit dan H. I. Sutaji, "Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Jagung dengan Penambahan Serat Selulosa Dari Limbah Kertas," *Jurnal Fisika*, vol. 6, no. 2, pp. 91-96, 2021.
- [11] S. Gea, K. M. Pasaribu, A. A. Sarumaha dan S. Rahayu, "Cassava starch/bacterial cellulose-based bioplastics with *Zanthoxylum acanthopodium*," *Biodiversitas*, vol. 23, no. 5, pp. 2601-2608, 2022.
- [12] M. Samsuri, M. Gozan, R. Mardias, M. Baiquni, H. Hermansyah, A. Wijinarko, B. Prasetya dan M. Nasikin, "Pemanfaatan Selulosa Bagas Untuk Produksi Ethanol Melalui Sakarifikasi Dan Fermentasi Serentak Dengan Enzim Xylanase," *Makara, Teknologi*, vol. 11, pp. 17-24, 2007.
- [13] N. D. Sunarya, B. Rusdi dan K. M. Yuliawati, "Penelusuran Pustaka Metode Ekstraksi Pati dari Biji Tumbuhan," *Prosiding Farmasi*, vol. 7, no. 2, pp. 1-7, 2021.
- [14] M. Syuhada, S. A. Sofa dan E. Sedyadi, "The Effect of Cassava Peel Starch Addition to Bioplastic Biodegradation Based On Chitosan On Soil and River Water Media," *Biology, Medicine, & Natural Product Chemistry*, vol. 9, no. 1, pp. 7-13, 2020.
- [15] Isroi, A. Cifriadi, T. Panji, N. A. Wibowo dan K. Syamsu, "Bioplastic production from cellulose of oil palm empty fruit bunch," *Earth and Environmental Science*, vol. 65, pp. 1-9, 2017.
- [16] S. Safaria, N. Idiawati dan T. A. Zaharah, "Efektivitas Campuran Enzim Selulase Dari *Aspergillus Niger* dan *Trichoderma Reesei* Dalam Menghidrolisis Substrat Sabut Kelapa," *JKK*, vol. 2, no. 1, pp. 46-51, 2013.
- [17] G. P. Maitan-Alfenas, E. M. Visser, R. F. Alfenas, B. R. G. Nogueira, G. G. d. Campos, A. A. Milagres, R. P. d. Vries dan V. V. Guimarães, "The influence of pretreatment methods on saccharification of sugarcane bagasse by an enzyme extract from *Chrysosporthe cubensis* and commercial cocktails: A comparative study," *Bioresource Technology*, vol. 192, pp. 670-676, 2015.
- [18] A. E. O. Sghaier, Y. Chaabouni, S. Msahli dan F. Sakli, "Morphological and crystalline characterization of NaOH and NaOCl treated *Agave americana L*, fiber," *Industrial Crops and Products*, vol. 36, pp. 257-266, 2012.
- [19] E. P. Ningsih, D. Ariyani dan Sunardi, "Pengaruh Penambahan Carboxymethyl Cellulose Terhadap Karakteristik Bioplastik Dari Pati Ubi Nagara (*Ipomoea batatas L.*)," *Indo. J. Chem. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 77-85, 2019.
- [20] Y. Darni, L. Lismeri, M. Hanif, Sarkowi dan S. D. Evaniya, "Peningkatan Kuat Tarik Bioplastik dengan Filler Microfibrillated Cellulose dari Batang Sorgum," *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, vol. 18, no. 2, pp. 37-41, 2019.
- [21] S. Intandiana, A. H. Dawam, Y. R. Denny, R. F. Septiyanto dan I. Afifah, "Pengaruh Karakteristik Bioplastik Pati Singkong dan Selulosa Mikrokristalin Terhadap Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas," *EduChemia*, vol. 4, no. 2, pp. 185-194, 2019.
- [22] H. W. Sulityo dan Ismiyati, "Pengaruh Formulasi Pati Singkong-Selulosa Terhadap Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas PADA pembuatan bioplastik," *KONVERSI*, vol. 1, no. 2, pp. 23-30, 2012.
- [23] Y. D. SISWANTO, "Potensi Bioplastik Berbasis Pati Kulit Singkong dengan Pengisi Selulosa Sabut Kelapa Berdasarkan Studi Literatur," Departemen Kimia Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2020.
- [24] R. M. Panjaitan, Irdoni dan Bahruddin, "Pengaruh Kadar dan Ukuran Selulosa Berbasis Batang Pisang terhadap Sifat dan

- Morfologi Bioplastik Berbahan Pati Umbi Talas,” *Jom FTEKNIK*, vol. 4, no. 1, pp. 1-7, 2017.
- [25] H. Hermansyah, R. Carissa, M. B. Faiz dan P. Deni, “Food Grade Bioplastic based on Corn Starch with Banana Pseudostem Fibre/Bacterial Cellulose Hybrid Filler,” *Advanced Materials Research*, vol. 997, pp. 158-168, 2014.
- [26] M. A. Kamaluddin, Maryono, Hasri, M. U. Genisa dan H. P. Rizal, “Pengaruh Penambahan Plasticizer Terhadap Karakteristik Bioplastik dari Selulosa Limbah Kertas,” *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, vol. 7, no. 02, pp. 197-208, 2022.
- [27] A. H. A. Radtra dan S. Udjiana, “Pembuatan Plastik Biodegradable dari Pati Limbah Tongkol Jagung (*Zea Mays*) dengan Penambahan Filler Kalsium Silikat dan Kalsium Karbonat,” *Distilat*, vol. 2, no. 7, pp. 427-435, 2021.
- [28] A. Septiosari, Latifah dan E. Kusumastuti, “Pembuatan Dan Karakterisasi Bioplastik Limbah Biji Mangga Dengan Penambahan Selulosa dan Gliserol,” *Indonesian Journal of Chemical Science*, vol. 2, no. 3, pp. 157-162, 2014.
- [29] Maulida, M. Siagian dan P. Tarigan, “Production of Starch Based Bioplastic from Cassava Peel Reinforced with Microcrystalline Cellulose Avicel PH101 Using Sorbitol as Plasticizer,” *Journal of Physics*, vol. 710, pp. 1-7, 2016.
- [30] Y. Darni, T. M. Sitorus dan M. Hanif, “Produksi Bioplastik dari Sorgum dan Selulosa Secara Termoplastik,” *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, vol. 10, no. 2, pp. 55-62, 2014.
- [31] I. Amri, Khairani dan Irdoni, “Sintesis dan karakterisasi bioplastik dari bahan baku ubi kayu (starch cassava) dan serat nanas,” *Chempublish Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 62-70, 2019.
- [32] K. Udyani, K. Rinto dan Y. Handarni, “Pengolahan Limbah Penggilingan Padi Menjadi Bioplastik menggunakan Plastisizer Sorbitol,” *Journal of Industrial Process and Chemical Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 18-24, 2021.
- [33] H. Setiawan, R. Faizal dan A. Amrullah, “Penentuan Kondisi Optimum Modifikasi Konsentrasi Plasticizer Sorbitol Pva Pada Sintesa Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Pati Sorgum dan Chitosan Limbah Kulit Udang,” *Saintekno*, vol. 13, no. 1, pp. 29-38, 2015.
- [34] T. Behjat, A. R. Russly, C. A. Luqman, A. Y. Yus dan L. Nor Azowa, “Effect of PEG on the Biodegradability Studies of Kenaf Cellulose-Polyethylene Composites,” *International Food Research Journal*, vol. 16, pp. 243-247, 2009.
- [35] N. E. Wahyuningtiyas dan H. Suryanto, “Analysis of Biodegradation of Bioplastics Made of Cassava Starch,” *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 41-54, 2017.