

PEMANFAATAN SELULOSA DARI KULIT SINGKONG SEBAGAI BAHAN DASAR PEMBUATAN SEDOTAN RAMAH LINGKUNGAN

A. A. Mustaqim*, K. A. J. B. Seto, A. N. Makarim, K. Afriani

Program Studi Analisis Kimia, Politeknik AKA Bogor, Bogor, Indonesia

**Email: aliakbarmustaqim31@gmail.com*

ABSTRAK

Penggunaan sedotan biodegradable merupakan salah satu cara untuk mengurangi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh sedotan plastik. Dalam penelitian ini, sedotan dibuat terutama dari selulosa, dengan penambahan kitosan sebagai agen hidrofobik dan pati sebagai perekat. Selulosa diisolasi dari kulit singkong melalui proses delignifikasi menggunakan larutan NaOH 1% pada suhu 80°C selama 2 jam, diikuti dengan proses pemutihan dengan NaClO₂ 10% dan asam asetat glasial dengan perbandingan 4:1 v/v pada suhu 80°C selama 2 jam. Terakhir, proses hidrolisis asam dilakukan dengan menggunakan H₂SO₄ 5M pada suhu 80°C selama 2 jam. Selulosa yang diekstraksi digunakan untuk menyiapkan sedotan dengan dan tanpa penambahan lilin lebah. Karakterisasi sedotan meliputi kekuatan tekan, uji pembengkakan, dan analisis termal menggunakan DSC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selulosa yang diperoleh dari proses delignifikasi, pemutihan, dan hidrolisis asam masing-masing sebesar 51,11 ± 0,56%, 76,29 ± 4,41%, dan 19,85 ± 5,83%. Kandungan alfa-selulosa setelah hidrolisis sebesar 91,25%, dan spektrum FTIR menunjukkan adanya puncak peregangan O-H pada bilangan gelombang 3336,0 cm⁻¹ dan puncak peregangan C-H pada 2905,5 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya senyawa hidrokarbon alkana alifatik. Hasil uji *swelling* sedotan tanpa dan dengan lilin lebah masing-masing sebesar 58,56 ± 0,02% dan 12,58 ± 13,28% selama 30 menit. Nilai kuat tekan sedotan adalah 235,06 ± 48,57 N, dan karakteristik termal menunjukkan transisi kaca sebesar 266°C dan titik leleh sebesar 237°C. Uji karakteristik fisik didapatkan sedotan yang dihasilkan berbentuk padat, tidak berbau, tidak berasa, berwarna coklat muda, dan bertekstur kasar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sedotan ramah lingkungan yang dihasilkan memiliki sifat fisik yang baik. Produk ini berpotensi menjadi alternatif yang ramah lingkungan pengganti sedotan plastik dan mendukung upaya pengurangan limbah plastik.

Kata kunci: biodegradable; kitosan; kulit singkong; sedotan; selulosa

ABSTRACT

Using biodegradable straws is a way to reduce the environmental damage caused by plastic straws. In this study, the straws were made primarily from cellulose, with the addition of chitosan as a hydrophobic agent and starch as an adhesive. Cellulose was isolated from cassava peel through a delignification process using 1% NaOH solution at 80°C for 2 hours, followed by a bleaching process with 10% NaClO₂ and glacial acetic acid in a ratio of 4:1 v/v at 80°C for 2 hours. Finally, an acid hydrolysis process was carried out using 5M H₂SO₄ at 80°C for 2 hours. The extracted cellulose was used to prepare the straws with and without the addition of beeswax. The characterization of the straws included compression strength, swelling tests, and thermal analysis using DSC. The results showed that the cellulose obtained from the delignification, bleaching, and acid hydrolysis processes were 51.11 ± 0.56%, 76.29 ± 4.41%, and 19.85 ± 5.83%, respectively. The content of alpha-cellulose after hydrolysis was 91.25%, and the FTIR spectra showed an O-H stretching peak at wave number 3336.0 cm⁻¹ and a C-H stretching peak at 2905.5 cm⁻¹ that indicated the presence of aliphatic alkane hydrocarbon compounds. Swelling test results of the straws without and with beeswax were 58.56 ± 0.02% and 12.58 ± 13.28%, respectively, over 30 minutes. The compression strength value of the straws was 235.06 ± 48.57 N, and the thermal characteristics showed a glass transition of 266°C and a melting point of 237°C. The resulting biodegradable straws were solid, odorless, tasteless, light brown, and had a rough texture. Physical characteristic tests resulted in biodegradable straws that are solid, odorless, tasteless, light brown, and rough textured. The results indicated that the straws had good physical properties. This product has the potential to be an environmentally friendly alternative to plastic straws and supports efforts to reduce plastic waste.

Keywords: biodegradable; chitosan; cassava peel; cellulose; straw

PENDAHULUAN

Plastik adalah polimer dengan rantai panjang atom yang mengikat satu molekul dengan molekul lainnya. Rantai panjang ini membentuk polimer berupa ratusan atau ribuan molekul sederhana yang tersusun secara berulang. Penggunaan plastik yang sangat luas disebabkan plastik banyak mempunyai keunggulan seperti harga yang murah, tahan air, ringan, mudah dibentuk dan lain-lain. Namun plastik juga mempunyai kerugian karena susah terdegradasi secara alami yang menyebabkan polusi dan kerusakan lingkungan (Syaubari *et al.*, 2018).

Indonesia memproduksi sampah plastik sebesar 64 juta ton setiap tahunnya dengan perkiraan sebesar 3,2 juta ton yang berada di lautan (Widyati *et al.*, 2022). Dari keseluruhan jumlah sampah plastik yang ada di Indonesia salah satu penyumbang terbesarnya yaitu sedotan plastik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh *Divers Clean Action* penggunaan sedotan plastik di Indonesia sangat tinggi yaitu sebanyak 93,2 juta batang setiap harinya (Alicia, 2018). Salah satu solusi untuk meminimalisir polutan dan kerusakan lingkungan yang ditimbulkan oleh sedotan plastik yaitu dengan menggunakan sedotan ramah lingkungan. Sedotan ramah lingkungan dapat dibuat dengan bahan dasar selulosa dari kulit singkong. Singkong merupakan salah satu makanan alternatif penghasil karbohidrat selain beras di Indonesia. Berdasarkan data *Trademap*, pada tahun 2020, Indonesia telah mengekspor produk singkong beku sebanyak 16.529 ton. Namun singkong hanya dimanfaatkan pada daun dan umbinya saja tanpa memanfaatkan kulitnya.

Kulit pada umbi singkong dapat dimanfaatkan sebagai sumber selulosa. Selulosa adalah senyawa hidrokarbon yang mempunyai rumus molekul $(C_6H_{10}O_5)_n$. Merupakan senyawa organik yang jumlahnya melimpah di bumi dan dapat terdegradasi secara alami dan merupakan penyusun utama dinding sel tumbuhan. Selulosa di alam ditemukan dalam bentuk lignoselulosa, tidak dalam bentuk murni (Mulyadi, 2019). Selulosa mempunyai sifat berserat (fiber) dan tidak larut dalam air. Selulosa tidak dapat dicerna oleh manusia, karena manusia tidak memiliki enzim selulase. Selulosa adalah polimer dari polisakarida berantai lurus yang tersusun atas glukosa atau unit selobiosa dengan penghubung ikatan β -1,4-

glukan. Terdapat serat-serat yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan kertas didalam selulosa (Dewi *et al.*, 2019).

Tepung tapioka, atau kanji atau yang sering juga disebut tepung aci merupakan pati yang berasal dari singkong. Tepung tapioka biasanya digunakan sebagai perekat atau pengisi karena mudah didapatkan dan harganya murah (Lestari, 2013). Tepung dapat digunakan sebagai bahan perekat pada briket (Nuwa, 2018). Kadar amilopektin yang tinggi dalam tepung tapioka menyebabkan sifat yang tidak mudah menggumpal, berdaya lekat tinggi, tidak mudah rusak, dan suhu gelatinisasinya rendah (Tjokroadikoesomo, 1993).

Beeswax merupakan lilin yang tidak larut dalam air yang dihasilkan dari sarang lebah *Apis mellifera* L. atau spesies *Apis* yang lainnya (Jacobsen, 2011). *Beeswax* memiliki tekstur butir halus, berbentuk potongan atau pelat kuning atau cokelat muda, fraktur nonkristalin, dan bau khas samar. Ketika dihangatkan, beeswax dapat menjadi lentur dan lembut (Rowe, 2009).

Kitosan merupakan biopolimer polisakarida kationik terdiri dari gugus β -1,4-glukosamin yang dapat berasal dari krustasea, ikan, dan kulit udang. Kitosan merupakan produk deasetilasi kitin dari eksoskeleton krustasea. Sifatnya non-toksik, bio kompatibel. Dapat digunakan sebagai antimikroba, antioksidan, dan bahan aditif untuk makanan dan farmasi (Fahmiati *et al.*, 2019). Kitosan juga dapat digunakan sebagai bahan yang menambah sifat hidrofobik suatu material (Qadri, 2023).

Pada penelitian ini akan dibuat sedotan ramah lingkungan dengan menggunakan kombinasi selulosa dari kulit singkong, kitosan, tepung tapioka dan *beeswax*. Penggunaan dari perekat tepung tapioka dan *beeswax* sejauh ini belum pernah dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan tahap isolasi selulosa dari kulit singkong dan dilakukan karakterisasi terhadap selulosa yang didapat berupa karakterisasi kadar selulosa, FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), dan DSC (*Differential Scanning Calorimetry*).

Isolasi selulosa dari kulit singkong dilakukan melalui 3 tahapan yaitu alkalisasi, *bleaching*, dan hidrolisis asam. Alkalisasi akan melarutkan lignin dan beberapa komponen lain dari serat kayu. *Bleaching* akan menghilangkan lignin yang tersisa setelah proses alkalisasi dan menghilangkan pigmen-pigmen warna pada

kayu agar menjadi lebih putih. Proses hidrolisis asam akan menghilangkan residu yang tertinggal dan mencerahkan produk.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini antara lain, kulit singkong (didapat dari petani), kitosan (dari toko makanan), tepung tapioka (curah dari pasar), NaOH teknis, NaClO₂ p.a (Merck Jerman), H₂SO₄ p.a (Merck Jerman), asam asetat glasial p.a (Merck Jerman), alkohol-benzena (1:2) p.a (Merck Jerman).

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, *hot plate*, desikator, peralatan gelas, neraca analitik, neraca kasar, lumpang alu, pipet volume, oven, *cheese cloth*, tanur, set soklet, instrumen *Fourier Transform Infra-Red* (Agilent), instrumen spektrofotometer uv-vis (Agilent), instrumen *Universal Testing Machine* (Testometric), instrumen *Differential Scanning Calorimetry* (Setaram), *moisture analyzer* (Uni-block). Penelitian dilakukan di Laboratorium Organik Politeknik Akademi Kimia Analisis Bogor.

Cara Kerja

Ekstraksi Selulosa Kulit Singkong

Proses ekstraksi selulosa dilakukan dengan cara memasukkan sebanyak 200 g kulit singkong yang sudah dikeringkan dengan cara dianginkan dan dihaluskan secara mekanik ke dalam larutan NaOH 1% sampai tinggi larutan melebihi tinggi sampel, dipanaskan pada suhu 80°C dan diaduk dengan kecepatan 300 rpm selama 2 jam. Setelah selesai, sampel disaring menggunakan *cheese cloth*, dicuci dengan air hingga pH mencapai netral dan dikeringkan di oven pada suhu 65°C. Selanjutnya produk *dibleaching* menggunakan NaClO₂ 10% w/v dan asam asetat glasial dengan perbandingan 4:1 pada suhu 80°C dan 300 rpm selama 2 jam. Setelah selesai, sampel disaring menggunakan *cheese cloth*, dicuci dengan air hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 65°C. Selanjutnya produk dihidrolisis menggunakan H₂SO₄ 5M pada suhu 80°C dan kecepatan pengadukan 300 rpm selama 2 jam. Setelah selesai, sampel disaring menggunakan *cheese cloth*, dicuci dengan air hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 65°C.

Uji Kadar Air

Sampel sebanyak 2 g ditimbang langsung di alat *moisture analyzer*, kemudian alat dinyalakan dan sampel bahan dipanaskan pada suhu 110°C. Kadar air akan tertera pada alat setelah proses selesai.

Uji Kadar Abu

Kadar abu ditentukan dengan cara memanaskan cawan porselen pada suhu 550°C hingga diperoleh bobot yang konstan. Sampel sebanyak 2 g ditimbang pada cawan porselen konstan dan dipanaskan pada suhu 550°C hingga terbentuk abu yang berwarna putih dan bobot sampel yang konstan.

Uji Kadar Ekstraktif dalam Alkohol-Benzena(1:2)

Sampel sebanyak 2 g ditimbang pada selongsong kertas. Kemudian labu bulat dipanaskan di dalam oven dan ditimbang hingga didapat bobot konstan dan dilakukan proses sokletasi selama +- 8 jam menggunakan pelarut alkohol-benzena(1:2). Lalu labu dikeringkan menggunakan oven dan ditimbang hingga didapatkan bobot konstan.

Uji Kadar Klason Lignin

Sampel ditimbang sebanyak 2 g kemudian ditambahkan H₂SO₄ 72% sebanyak 5 mL lalu diaduk. Kemudian diencerkan hingga konsentrasi H₂SO₄ menjadi 4% dan diautoklaf selama 1 jam. Sampel disaring, filtrat disimpan untuk pengukuran lignin terlarut asam dan endapan dicuci dengan air panas kemudian dikeringkan dan ditimbang beratnya.

Uji Kadar Lignin Terlarut Asam

Filtrat hasil kadar klason lignin diencerkan sebanyak yang diperlukan. H₂SO₄ 4% disisapkan sebagai blanko. Sampel kemudian diukur absorbansinya pada panjang gelombang 205 nm.

Uji Kadar Holoselulosa

Sampel sebanyak 2 g ditimbang pada erlenmeyer dan ditambahkan akuades sebanyak 40 mL. Sebanyak 1,5 mL NaClO₂ 25% dan 0,125 mL asam asetat glasial ditambahkan ke erlenmeyer lalu dipanaskan dalam *waterbath* selama 1 jam pada suhu 80°C. Sampel didinginkan dan disaring lalu dicuci dengan air dingin dan terakhir dicuci menggunakan aseton lalu dikeringkan dan ditimbang bobotnya.

Uji Kadar α -Selulosa

Sebanyak 2 g sampel ditimbang dan ditambahkan 6,25 mL NaOH 17% lalu diaduk. Kemudian ditambahkan 8,25 mL akuades ke dalam campuran dan diaduk. Sampel kemudian disaring dan dibilas menggunakan NaOH 8,3% sebanyak 25 mL lalu dicuci dengan akuades. Sampel ditambahkan asam asetat 10% sebanyak 10 mL dan dibiarkan terendam selama 3 menit lalu disaring. Sampel dibilas menggunakan akuades hingga netral lalu dikeringkan dan kemudian ditimbang.

Pembuatan Sedotan Kulit Singkong

Sedotan dibuat dengan cara merendam terlebih dahulu selulosa yang telah diisolasi dengan air panas sampai mengembang selama \pm 30 menit sebelum digunakan kemudian dihaluskan menggunakan lumpang alu. Tepung tapioka dicampur dengan air dengan perbandingan massa 1:1. Dibuat campuran lem menggunakan tepung tapioka yang sudah basah dicampur dengan larutan kitosan 5% w/v dengan perbandingan 2:1. Selulosa dan campuran lem disatukan dengan perbandingan selulosa 2:1,5 campuran lem, adonan sedotan diaduk kemudian dihaluskan dengan lumpang alu hingga menyatu sempurna. Kemudian dicetak ke silinder dari silikon, lalu dibuat lubang pada bagian tengah adonan dan dikeringkan pada suhu 55°C selama 24 jam. Kemudian didinginkan dan dikeluarkan dari cetakan. Dibuat variasi menggunakan *beeswax* sebagai pelapis.

Identifikasi Gugus Fungsi Sedotan Kulit Singkong

Sedotan kulit singkong yang dibuat diidentifikasi gugus fungsi yang terkandung di dalamnya menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR). Sampel diletakkan pada instrumen yang sudah dibersihkan dengan alkohol. Gugus fungsi yang terkandung dalam sedotan kulit singkong dapat diketahui berdasarkan *peak* absorpsi yang muncul pada bilangan gelombang tertentu.

Uji Kuat Tekan Sedotan Kulit Singkong

Sampel diletakkan di instrumen *Universal Testing Machine* (UTM). Alat akan otomatis menekan sampel hingga sampel pecah. Tekanan maksimum yang dapat diterima sedotan sebelum sedotan pecah dapat diketahui berdasarkan *peak* gaya (N).

Uji Swelling Sedotan Kulit Singkong

Sampel ditimbang bobot awalnya, kemudian direndam dalam akuades selama 30 menit, lalu dilap menggunakan tisu dan ditimbang bobotnya. Sampel kemudian direndam lagi di dalam air selama 30 menit dan dilakukan hal yang sama sebanyak 4 kali ulangan atau waktu total mencapai 120 menit. Rasio *swelling* ditentukan menggunakan rumus:

$$\% \text{ Swelling} = [(W_a - W_k)/W_k] \times 100$$

W_a adalah bobot akhir sampel setelah direndam (g), dan W_k adalah bobot sampel kering (g) (Afriani, 2024).

Uji Karakteristik Termal Sedotan Kulit Singkong

Sampel ditimbang sebanyak 4,9 mg ke dalam *pan*, lalu *pan* ditutup dan di *press* hingga tidak ada celah. Dibuat juga blangko, yaitu *pan* tanpa sampel yang dilakukan perlakuan yang sama. *Pan* yang berisi sampel dan blangko dimasukkan ke instrumen *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) dan instrumen dijalankan. Karakteristik termal sampel dapat dilihat dari suhu temperatur gelas dan temperatur leleh.

Uji Aplikasi

Sedotan kulit singkong digunakan untuk meminum air dengan suhu ruang, suhu tinggi, dan suhu rendah. Sedotan kulit singkong dilihat apakah terdapat remahan material yang ikut tersedot atau tidak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi Selulosa

Pada penelitian ini, proses isolasi selulosa melalui 3 tahapan yaitu alkalisasi yang bertujuan untuk melarutkan lignin dan beberapa komponen lain dari serat. *Bleaching* yang bertujuan untuk menghilangkan lignin yang tersisa setelah proses alkalisasi dan menghilangkan pigmen-pigmen warna pada serat agar menjadi lebih putih. Hidrolisis asam yang bertujuan untuk menghilangkan residu yang tertinggal dan mencerahkan produk. Gambar 1 menunjukkan perubahan warna dari hasil yang didapat dari tiap tahapan tersebut.

Hasil isolasi selulosa kulit singkong yang didapat bervariasi karena banyak sampel yang lolos saat penyaringan dilakukan sehingga mempengaruhi *yield* yang didapat. Rangkuman data dari % rendemen terdapat pada Tabel 1.



Gambar 1. Sampel (A) Bahan Baku dan setelah Proses (B) Alkalisasi, (C) *Bleaching*, (D) Hidrolisis

Tabel 1. Hasil Isolasi Selulosa Kulit Singkong

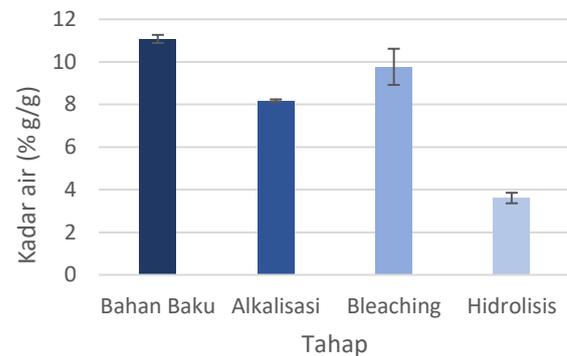
Tahap	Rendemen (%)
Alkalisasi	(51,11 ± 0,56)
<i>Bleaching</i>	(76,29 ± 4,41)
Hidrolisis	(19,85 ± 5,83)

Kadar Air

Penentuan kadar air bertujuan untuk mengetahui berapa banyak air yang ada pada sampel agar dapat diketahui bobot sebenarnya dari sampel tanpa air.. Rangkuman data uji kadar air dapat dilihat pada Tabel 2.

Tren penurunan kadar air tiap proses disebabkan karena lepasnya molekul air yang terikat pada bahan pada tiap prosesnya. Penelitian yang dilakukan oleh Akhadiarto (2010) menemukan bahwa kadar air pada kulit singkong kering adalah sebesar 13,07%. Perbedaan dapat disebabkan oleh perbedaan metode, alat dan bahan yang digunakan. Semakin lama proses pengeringan kulit singkong maka semakin sedikit kadar air yang didapat. Proses hidrolisis selulosa menggunakan asam sulfat yang menghancurkan senyawa organik lain dalam kulit singkong sehingga yang tersisa hanya selulosa. Dapat disimpulkan bahwa proses hidrolisis membuat

kadar air di dalam kulit singkong menjadi lebih sedikit. Diagram batang uji kadar air dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Batang Kadar Air

Tabel 2. Kadar Air

Tahap	Kadar Air (%)
Bahan Baku	11,08 ± 0,19
Alkalisasi	8,19 ± 0,05
<i>Bleaching</i>	9,77 ± 0,85
Hidrolisis	3,61 ± 0,18

Kadar Abu

Kadar abu menunjukkan berapa banyak oksida logam yang terkandung di dalam sampel. Kadar abu yang terkandung pada sampel kulit singkong pada tiap proses ekstraksi mengalami penurunan. Pada proses alkalisasi didapatkan kadar sebesar 3,41%, pada proses *bleaching* didapatkan kadar sebesar 3,59%, pada proses hidrolisis asam 2,01%. Pada proses hidrolisis asam didapatkan kadar abu terkecil yaitu 2,01%. Hal tersebut menyatakan bahwa kandungan zat anorganik pada bahan berhasil terpisah melalui karena terlarut ke dalam asam sulfat yang digunakan. Maka dari proses tersebut kemurnian selulosa yang didapatkan kemungkinan cukup tinggi. Rangkuman data uji kadar abu dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kadar Abu

Tahap	Kadar Abu (%)
Bahan baku	3,85 ± 0,00
Alkalisasi	3,41 ± 0,11
<i>Bleaching</i>	3,59 ± 1,40
Hidrolisis	2,01 ± 1,58

Kadar Ekstraktif dalam Alkohol-Benzena (1:2)

Zat lainnya yang terkandung dalam bahan diekstrak oleh alkohol-benzena (1:2) untuk mengetahui jumlah zat organik lainnya yang masih terkandung dalam bahan. Pada proses alkalisasi didapatkan kadar ekstraktif dalam alkohol-benzena (1:2) sebesar 9,57%. Pada proses alkalisasi, lignin, dan zat organik lainnya yang terkandung pada bahan diharapkan keluar secara sempurna ditandai perubahan warna pada bahan yang menjadi hitam kecokelatan. Maka kadar zat organik selain selulosa yang terkandung pada proses alkalisasi jumlahnya cukup sedikit. Pada proses *bleaching* didapatkan kadar ekstraktif sebesar 76,03% yang lebih besar dibanding proses alkalisasi. Proses *bleaching* menggunakan asam asetat glasial dan natrium klorit yang kemungkinan terjebak pada serat selulosa yang fungsinya membuat warna bahan menjadi putih. Pada proses hidrolisis asam didapatkan kadar ekstraktif dalam alkohol-benzena sebesar 15,55%. Kadar ekstraktif pada proses hidrolisis asam lebih tinggi daripada proses alkalisasi kemungkinan karena sisa pereaksi pada proses *bleaching* yang masih tersisa pada selulosa.

Bahan baku memiliki kadar sebesar 9,02%, hal ini karena ikatan antar komponen zat yang terkandung dalam bahan baku belum terpecah sehingga zat yang dapat larut dalam alkohol-benzena belum bisa sepenuhnya melarut kedalam alkohol-benzena. Rangkuman data uji kadar ekstraktif dalam alkohol-benzena dapat dilihat dalam Tabel 4.

Kadar Klason Lignin

Klason lignin disebut juga sebagai lignin tidak terlarut asam. Pada pengujian kadar klason lignin didapatkan kadar klason lignin

pada sampel alkalisasi 5,52%; *bleaching* 4,53%; hidrolisis 25,14%; bahan baku 16,99%. Pada hasil hidrolisis, kadar klason lignin sangat besar dibandingkan bahan baku. Hal ini dikarenakan setelah proses hidrolisis, lignin banyak terbuang sehingga menyisakan endapan yang sukar terlarut asam. Pada bahan baku didapatkan kadar klason lignin 16,99%. Berdasarkan kelas komponen kayu Indonesia kadar klason lignin kulit singkong tergolong rendah. Dalam industri *pulp* dan kertas, kadar klason lignin dapat digunakan untuk memprediksi sifat *pulp* yang dihasilkan dan konsumsi alkali selama proses *pulping*. Rangkuman data uji kadar klason lignin dan kelas komponen kayu dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 4. Kadar Ekstraktif dalam Alkohol-Benzena(1:2)

Tahap	Kadar ekstraktif dalam alkohol benzena (%)
Bahan Baku	9,02
Alkalisasi	9,57
<i>Bleaching</i>	76,03
Hidrolisis Asam	15,55

Tabel 5. Kadar Klason Lignin

Tahap	Kadar klason lignin (%)
Bahan Baku	16,99
Alkalisasi	5,52
<i>Bleaching</i>	4,53
Hidrolisis	25,14

Tabel 6. Kelas Komponen Kayu

Komponen kimia %	Kelas komponen		
	Tinggi	Sedang	Rendah
Selulosa	44	41-44	41
Lignin	32	28-32	28
Pentosan	13	8-13	8
Zat Ekstraktif	7	5-7	5
Abu	>0,89	0,89	<0,89

Sumber : Departemen Pertanian (1976)

Kadar Lignin Terlarut Asam

Pada pengujian kadar lignin terlarut asam didapatkan kadar lignin terlarut asam: pada tahap alkalisasi adalah 26,7339; pada tahap *bleaching* 26,6156; pada tahap hidrolisis 26,6245 dan pada bahan baku adalah 26,5850. Kadar lignin terlarut asam pada alkalisasi lebih besar dibandingkan pada bahan baku, begitu juga dengan *bleaching* dan hidrolisis. Hal ini dikarenakan pada proses alkalisasi terjadi reaksi dimana lignin dipisahkan dengan selulosa. Ini membuat ikatan kimia yang menyatukan lignin dan selulosa rusak dan membuat lignin lebih mudah larut. Rangkuman data uji kadar lignin terlarut asam dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Kadar Lignin Terlarut Asam

Tahap	Kadar lignin terlarut asam (%)
Bahan Baku	26,58
Alkalisasi	26,73
<i>Bleaching</i>	26,62
Hidrolisis	26,62

Kadar Holoselulosa

Holoselulosa adalah fraksi karbohidrat yang merupakan gabungan antara selulosa dan hemiselulosa. Holoselulosa diperoleh dari bahan baku dengan metode delignifikasi menggunakan zat pengoksidasi kuat atau larutan asam atau basa pada suhu tinggi. Kandungan holoselulosa bervariasi tergantung pada jenis tanaman. Fraksi holoselulosa menjadi bahan pertimbangan ketika memilih bahan dasar pembuatan *pulp* atau kertas karena merupakan bahan baku pembuatan *pulp* atau kertas. Dari hasil uji didapat kadar holoselulosa pada bahan baku (kulit singkong) yaitu 24,61%; alkalisasi 47,3%; *bleaching* 79,73%; hidrolisis 76,89%. Rangkuman data uji kadar holoselulosa dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kadar Holoselulosa

Tahap	Kadar holoselulosa(%)
Bahan Baku	24,61
Alkalisasi	47,30
<i>Bleaching</i>	79,73
Hidrolisis	76,89

Berdasarkan persyaratan sifat kayu untuk bahan baku *pulp* (FAO, 1980 dalam Syafii dan Siregar (2006)), kulit singkong termasuk ke dalam kategori ‘kurang’ sebagai bahan baku *pulp* dengan kadar holoselulosa kurang dari 60%. Persyaratan sifat kayu dapat dilihat pada Tabel 9.

Kadar α -Selulosa

α -selulosa merupakan selulosa berantai panjang, tidak larut dalam larutan basa kuat. α -selulosa digunakan sebagai parameter tingkat kemurnian selulosa. Kualitas selulosa murni atau yang paling tinggi dinamakan α -selulosa. Kandungan α -selulosa yang lebih besar dari 92% memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan propelan atau bahan peledak. Sedangkan kandungan selulosa dengan kualitas di bawah 92% dapat digunakan sebagai bahan baku pada industri kertas (*pulp*) dan industri sandang/kain (Nuringtyas, 2010).

Penambahan NaOH 17 % bertujuan untuk mengetahui banyaknya alfa selulosa yang mengendap, sebab alfa selulosa merupakan selulosa yang tidak larut dalam larutan basa kuat atau larutan NaOH 17%. Pada pencucian menggunakan larutan asam asetat berfungsi untuk membebaskan dari basa atau netral, diperoleh data yang dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 9. Persyaratan Sifat Kayu untuk Bahan Baku *Pulp*

Sifat Kayu	Kualitas <i>Pulp</i>		
	Baik	Cukup	Kurang
Warna kayu	putih-kuning	coklat-hitam	hitam
Massa jenis	<0,501	0,501-0,601	>0,600
Panjang serat (nm)	>1,600	0,900-1,600	<0,900
Holoselulosa (%)	>65	60-65	<60
Lignin (%)	<25	25-30	>30
Zat ekstraktif (%)	<5	5-7	>7

Sumber : FAO, 1980 dalam Syafii dan Siregar (2006)

Tabel 10. Kadar α -Selulosa

Tahap	Kadar α -selulosa(%)
Bahan Baku	72,50
Alkalisasi	76,17
<i>Bleaching</i>	76,60
Hidrolisis	91,25

Berdasarkan uji alfa selulosa diperoleh hasil kadar alfa selulosa pada sampel bahan baku, alkalisasi, *bleaching*, dan hidrolisis berturut turut yaitu 72,50%, 76,17%, 76,60% dan 91,25%. Berdasarkan data tersebut kadar alfa selulosa paling besar diperoleh pada sampel tahap hidrolisis, sebab berdasarkan perlakuan awal sampel kulit singkong diekstrak terlebih dahulu untuk mendapatkan selulosanya, proses ekstraksi tersebut melalui 3 tahapan yaitu alkalisasi, *bleaching* dan hidrolisis yang akan menghilangkan lignin dan senyawa lain yang tersisa. Oleh karena itu sampel hidrolisis kadar selulosanya lebih tinggi sebab kemurnian selulosanya lebih tinggi dibandingkan dengan sampel tahapan lainnya.

Hasil Pembuatan Produk

Dari penelitian yang dilakukan, telah dibuat suatu produk sedotan terbaru yang menggunakan bahan berbasis selulosa dari kulit singkong. Proses pembuatannya melibatkan kanji sebagai perekat dan kitosan. Kitosan dan kanji terlebih dahulu dicampur untuk membuat lem. Selulosa harus direndam terlebih dahulu di dalam air panas sampai mengembang ± 30

menit sebelum digunakan. Proses pencetakan menggunakan material berbahan silikon berbentuk tabung. Cetakan yang digunakan bahannya terbuat dari silikon untuk menghindari campuran sedotan menempel pada cetakan. Cetakan yang digunakan berukuran pendek dikarenakan cetakan yang berukuran panjang belum tersedia. Produk yang dibuat memiliki bentuk padatan berbentuk tabung, tidak berbau, tidak berasa, berwarna cokelat muda dan bertekstur kasar. Foto produk dapat dilihat pada Gambar 3.

Terdapat variasi produk dengan penambahan *beeswax* pada bagian luarnya, namun produk dengan penambahan *beeswax* memiliki beberapa kendala seperti lapisan *beeswax* yang tidak merata pada permukaan dan titik lelehnya yang rendah sehingga dikhawatirkan ada beberapa bagian *beeswax* yang ikut terlarut ke dalam minuman.

Identifikasi Gugus Fungsi

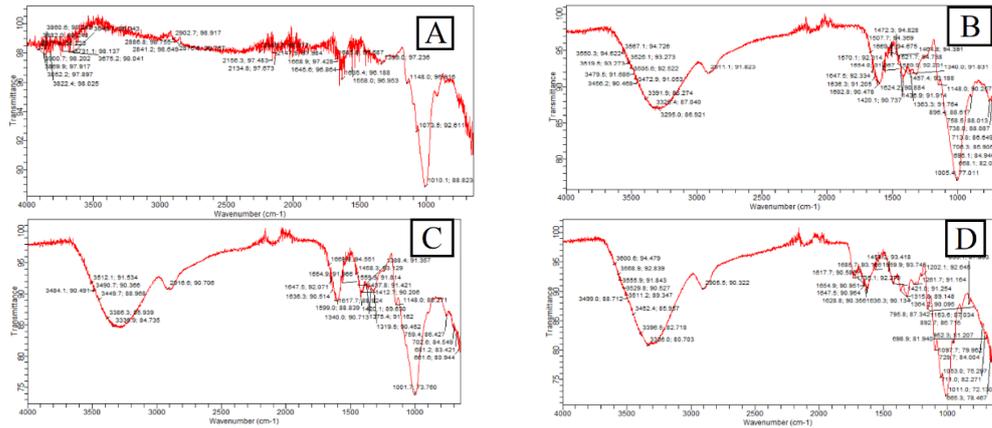
Identifikasi gugus fungsi menggunakan FTIR dilakukan pada sampel bahan baku dan isolasi selulosa. Pada sampel hasil isolasi selulosa dilakukan uji FTIR pada hasil setiap tahap, yaitu alkalisasi, *bleaching* dan hidrolisis. Data FTIR pada sampel tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

Pengujian FTIR juga dilakukan pada sedotan berbasis selulosa dengan variasi sedotan tanpa *beeswax* dan dengan penambahan *beeswax*. Hasil dapat dilihat pada Gambar 5.

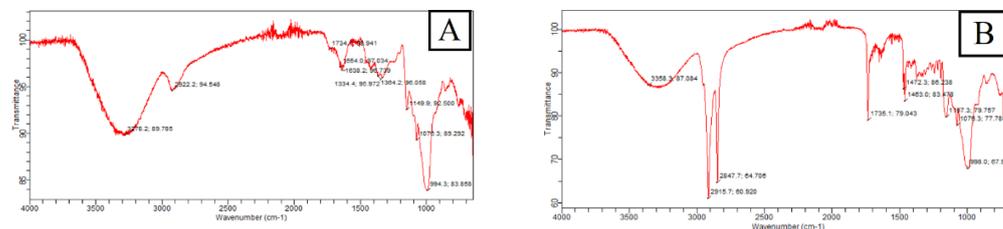


Gambar 3. Produk yang Dihasilkan dan Cetakan yang Digunakan

Pemanfaatan Selulosa dari Kulit Singkong sebagai Bahan Dasar Pembuatan Sedotan Ramah Lingkungan
(A. A. Mustaqim, K. A. J. B. Seto, A. N. Makarim, K. Afriani)



Gambar 4. Spektrum FTIR Sampel Hasil (A) Bahan Baku, (B) Alkalisasi, (C) Bleaching, (D) Hidrolisis



Gambar 5. Spektrum FTIR Sedotan Berbasis Selulosa (A) tanpa Beeswax, (B) dengan Beeswax

Pada sampel bahan baku terdapat *peak* C-H *stretching* alkana pada bilangan gelombang 2902,7 cm^{-1} , *peak absorbed water* pada 1635,8 cm^{-1} dan C-C *stretching* pada 1010,1 cm^{-1} . Pada sampel setelah proses alkalisasi terdapat *peak* O-H *stretching* yang kuat dan luas pada 3295,0 cm^{-1} yang menandakan terdapat banyak gugus -OH pada sampel. Terdapat pula *peak* C-H *stretching* alkana pada 2911,1 cm^{-1} , *peak absorbed water* pada 1620,1 cm^{-1} dan C-C *stretching* pada 1005,4 cm^{-1} . Pada sampel setelah proses bleaching terdapat *peak* O-H *stretching* yang kuat dan lebar pada 3336,9 cm^{-1} , *peak* C-H *stretching* alkana pada 2916,6 cm^{-1} , *peak absorbed water* pada 1617,7 cm^{-1} dan *peak* C-C *stretching* pada 1001,7 cm^{-1} . Pada

sampel setelah proses hidrolisis terdapat *peak* O-H *stretching* pada bilangan gelombang 3336,0 cm^{-1} , *peak* C-H *stretching* pada 2905,5 cm^{-1} yang menunjukkan adanya senyawa hidrokarbon alifatik alkana. Pada bilangan gelombang 1628,8 cm^{-1} terdapat *peak* untuk *absorbed water*. *Peak absorbed water* muncul karena di dalam molekul selulosa terdapat air yang susah dihilangkan karena adanya interaksi selulosa dengan air (Abraham, 2011). Terdapat juga *peak* C-C *stretching* pada bilangan gelombang 1011,0 cm^{-1} . Data rangkuman FTIR untuk sampel bahan baku, hasil proses alkalisasi, bleaching dan hidrolisis dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Data FTIR Sampel Bahan Baku dan Setelah Proses Alkalisasi, Bleaching, dan Hidrolisis

Sampel	Bilangan Gelombang (cm^{-1})			
	O-H <i>stretching</i>	C-H <i>stretching</i>	<i>Absorbed water</i>	C-C <i>stretching</i>
Bahan Baku	-	2902,7	1635,8	1010,1
Alkalisasi	3295,0	2911,1	1620,1	1005,4
Bleaching	3336,9	2916,6	1617,7	1001,7
Hidrolisis	3336,0	2905,5	1628,8	1011,0

Pada sampel sedotan selulosa tanpa penambahan *beeswax* didapatkan *peak* O-H yang lebar dan kuat pada bilangan gelombang 3278,2 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus -OH dalam jumlah banyak pada sedotan. Pada bilangan gelombang 2922,2 cm^{-1} terdapat *peak* C-H *stretching* yang menandakan adanya hidrokarbon alifatik alkana pada sedotan. Ditemukan juga *peak absorbed water* (OH *bending*) pada 1638,2 cm^{-1} yang menunjukkan adanya air yang terperangkap dalam molekul selulosa. Terdapat juga *peak* C-C *stretching* pada 1076,3 cm^{-1} . Pada sampel sedotan berbasis selulosa dengan penambahan *beeswax* terdapat *peak* O-H *stretching* pada bilangan gelombang

3358,3 cm^{-1} yang kuat dan lebar namun tidak ditemukan *peak* C-H *stretching* dan *absorbed water* seperti variasi sebelumnya. Terdapat juga *peak* C-C *stretching* pada bilangan gelombang 998,0 cm^{-1} . Terlihat *peak* C=O keton pada bilangan gelombang 1735,1 cm^{-1} . *Peak* ini muncul karena *beeswax* mengandung gugus keton pada strukturnya. Terdapat 2 *peak* C-H *stretching* aldehyd pada bilangan gelombang 2915,7 cm^{-1} dan 2847,7 cm^{-1} hal ini menandakan pada struktur kimia sedotan dengan *beeswax* terdapat gugus aldehyd. Data rangkuman uji gugus fungsi menggunakan FTIR pada sampel tersebut dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Data FTIR Sampel Sedotan Berbasis Selulosa dengan Variasi tanpa *Beeswax* dan dengan Penambahan *Beeswax*

Sampel	Bilangan Gelombang cm^{-1}					
	O-H <i>stretching</i>	C-H <i>stretching</i>	<i>Absorbed water</i>	C-C <i>stretching</i>	C=O	C-H <i>Stretching aldehyde</i>
Sedotan tanpa <i>beeswax</i>	3278,2	2922,2	1638,2	1076,3	-	-
Sedotan dengan <i>beeswax</i>	3358,3	-	-	998,0	1735,1	2915,7 - 2847,7

Uji Kuat Tekan

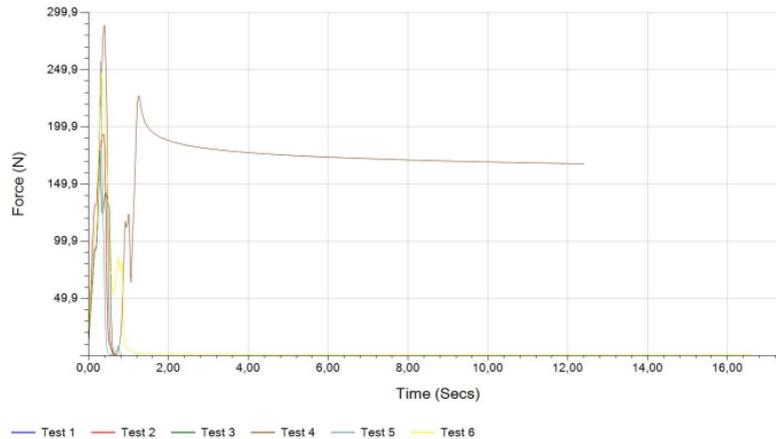
Universal Testing Machine (UTM) dapat digunakan untuk menguji kuat tarik dan kekuatan tekan bahan. Pengujian kuat tarik dan tekan dapat dilakukan dengan berbagai standar pada berbagai bahan, komponen, dan struktur. Uji tekan juga merupakan salah satu pengujian yang dilakukan pada material untuk mengetahui karakteristik dan sifat mekanik material terutama kekuatan dan ketahanan terhadap beban yang diberikan. Dari pengujian ini, maka kita bisa menentukan apakah material seperti ini cocok atau tidak dengan kebutuhan penggunaan. Jenis bahan yang biasa digunakan untuk melakukan uji tekan yaitu bahan logam, polimer dan plastik maupun bahan yang bekerja dengan proses penarikan lainnya. Dari *Testing Machine* ini akan didapat kurva gaya(F) terhadap kekuatan bahan. Rangkuman data uji kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 13.

Tekanan yang diberikan kepada sedotan diuji untuk mengetahui titik energi yang dibutuhkan hingga sedotan patah. Uji tekan

dilakukan sebanyak lima kali ulangan, dengan rata-rata energi yang dibutuhkan hingga sedotan patah sebesar $0,272 \pm 0,125$ Joule. Pada pengujian ditemukan perbedaan energi yang dibutuhkan untuk membuat sedotan patah. Energi terkecil sebesar 0,198 Joule menyebabkan sedotan patah terbelah dua, energi terbesar sebesar 0,443 Joule sedotan terbelah dua dan titik tekannya hancur menjadi kepingan. Struktur sedotan yang bulat dan berlubang dengan bahan baku selulosa yang berkarakter sangat keras menyebabkan tekanan yang diberikan ke sedotan dapat membuat sedotan terbagi dua secara horizontal ataupun vertikal dengan rata. Namun pada beberapa sampel, sedotan tidak terbelah dua dengan rata melainkan hancur. Berdasarkan data yang diperoleh, kekuatan sedotan terhadap tekanan dapat dikategorikan baik, karena tekanan dari gigitan mulut manusia tidak cukup untuk merusak atau menghancurkan sedotan. Kurva uji tekan dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 13. Uji Kuat Tekan

Contoh	Force @ Peak (N)	Energy to Peak (J)	Energy to Break (J)
Rata-rata	235,06 ± 48,57	0,111 ± 0,051	0,272 ± 0,125



Gambar 6. Kurva Uji Kuat Tekan

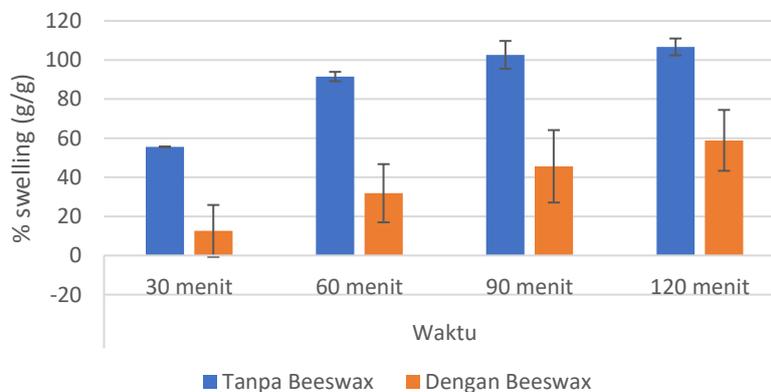
Uji Swelling

Uji *swelling* dilakukan untuk mengetahui terjadinya ikatan dalam polimer serta struktur ikatan dalam polimer yang ditentukan melalui penambahan berat polimer setelah terjadinya penyerapan air. Parameter baik atau tidaknya kualitas dari produk sedotan ramah lingkungan ini, salah satunya dipengaruhi oleh daya serap

air. Semakin tinggi kemampuan produk menyerap air maka semakin rendah kualitas dari produk tersebut karena berkaitan dengan ketahanannya saat disimpan dan saat digunakan. Pada penelitian ini produk direndam pada suhu ruangan (30°C). Rangkuman data uji *swelling* dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Uji Swelling Produk

Waktu	Kadar Air (%)	
	Produk tanpa beeswax	Produk dengan beeswax
30 menit	58,56 ± 0,02	12,58 ± 13,28
60 menit	91,53 ± 2,40	31,86 ± 14,84
90 menit	102,63 ± 7,12	45,62 ± 18,53
120 menit	106,70 ± 4,31	58,90 ± 15,58



Gambar 7. Diagram Uji Swelling

Pada penelitian ini uji *swelling* dilakukan 2 tahap, yaitu uji *swelling* pada produk yang tidak menggunakan *beeswax* dan uji *sweelling* pada produk yang menggunakan *beeswax* sebagai pembanding. Pada tahap pertama uji *swelling* dilakukan pada produk yang tidak menggunakan *beeswax* dan diperoleh hasil yaitu pada 30 menit pertama diperoleh persentase kadar air yang terserap ke dalam produk pada ulangan pertama dan kedua sebesar 58,57 % dan 58,54%, lalu pada menit ke 60 diperoleh hasil persentase kadar air yang terserap ke dalam produk pada ulangan pertama dan kedua sebesar 89,83% dan 93,23%, kemudian pada menit ke 90 diperoleh persentase kadar air yang terserap ke dalam produk pada ulangan pertama dan kedua sebesar 97,59% dan 107,66%. Pada menit ke 120 terakhir diperoleh persentase kadar air yang terserap ke dalam produk pada ulangan pertama dan kedua yaitu sebesar 103,65% dan 109,74%. Sedangkan pada tahap kedua uji *swelling* dilakukan pada produk yang menggunakan *beeswax* dan diperoleh hasil yaitu pada 30 menit pertama diperoleh kadar air yang terserap ke dalam produk sebesar 21,97% dan 3,19% , lalu pada menit ke 60 diperoleh kadar air yang terserap ke dalam produk sebesar 42,35% dan 21,36, kemudian pada menit ke 90 diperoleh kadar yang terserap ke dalam produk sebesar 58,72% dan 32,51% . Pada menit ke 120 terakhir diperoleh kadar air yang terserap ke dalam produk sebesar 69,87% dan 47,83%. Dari data tersebut menunjukkan bahwa kekuatan produk yang tidak menggunakan *beeswax* hanya bisa bertahan (mempertahankan bentuknya) selama 120 menit, sebab pada menit ke 120 kadar air yang terserap ke dalam produk mencapai > 100% yang mengakibatkan produk mengalami pengembangan yang cukup besar sehingga tidak dapat mempertahankan bentuknya seperti semula, sedangkan data pada produk yang menggunakan *beeswax* menunjukkan bahwa produk masih bisa bertahan (mempertahankan bentuknya) pada menit ke 120, sebab kadar air yang terserap ke produk < 100% sehingga produk belum mengalami pengembangan yang cukup besar dibandingkan produk yang tidak menggunakan *beeswax*, hal tersebut dikarenakan penambahan

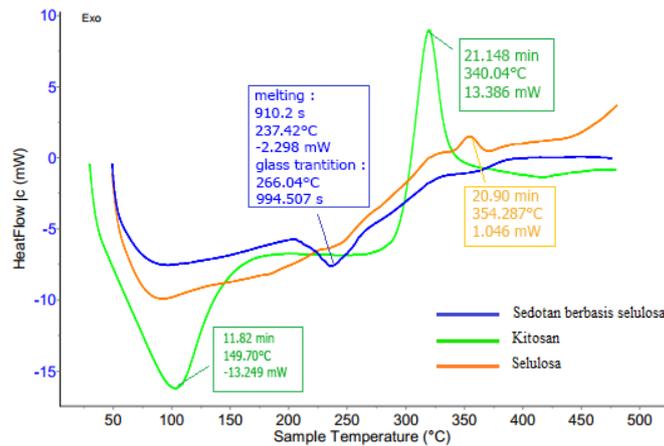
beeswax (lilin lebah) dapat melapisi permukaan produk sehingga air yang terserap ke dalam produk menjadi lambat karena terhalangi oleh lapisan lilin dari *beeswax*.

Uji Karakteristik Termal

Bahan utama sedotan diuji menggunakan instrumen DSC untuk mengetahui karakteristik termal sedotan. Kitosan berada di fase transisi gelas pada suhu 149°C. Kemudian akan terdekomposisi pada suhu 340°C. Sifat termal kitosan yang diteliti oleh Retno, *et al.* (2020) menyatakan bahwa titik leleh kitosan mikrosfer ditaut silang dengan glutaraldehida di suhu 117°C dan terdegradasi di suhu 240-230°C. Selulosa terdekomposisi pada suhu 355°C. Perbandingan dengan hasil penelitian Andromeda dan Diah pada DSC bambu petung yang kandungan selulosanya sangat tinggi menunjukkan titik leleh bambu petung Indonesia di 354,34°C, dan bambu petung Filipina di 341°C. Setelah bahan-bahan dicampur dan dicetak membentuk sedotan, terbentuk material komposit antara kitosan dengan selulosa yang menyebabkan *peak* endo kitosan pada produk sedotan bergeser. Sedotan berada di transisi gelas pada suhu 266°C, meleleh pada suhu 237°C. Kurva uji karakteristik termal dapat dilihat pada Gambar 8.

Uji Aplikasi

Sampel sedotan tanpa *beeswax* dan sedotan dengan *beeswax* dilakukan percobaan digunakan untuk meminum teh pada suhu rendah, air mineral pada suhu ruangan, dan kopi pada suhu tinggi. Sedotan dapat digunakan dengan normal seperti sedotan lainnya tanpa adanya hambatan dalam penyedotan, tidak ada perubahan rasa pada minuman yang diminum, sedotan tanpa *beeswax* tetap utuh selama 30 menit pertama dan tidak ada remahan material sedotan yang terlepas dari sedotan dan ikut terminum. Pada sedotan yang menggunakan *beeswax* tetap utuh setelah 90 menit dan tidak ada remahan material yang terlepas dari sedotan dan ikut terminum. Hasil uji aplikasi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Kurva Uji Karakteristik Termal Kitosan, Selulosa dan Produk menggunakan instrumen DSC



Gambar 9. Hasil Uji Aplikasi Sedotan

SIMPULAN

Sedotan bahan alam yang terbuat dari serat selulosa limbah kulit singkong berhasil dibuat dengan penambahan kitosan sebagai anti air dan kanji tapioka sebagai perekat. Selulosa didapatkan dengan ekstraksi manual dari limbah kulit singkong yang didapatkan dari pasar terdekat. Hasil produk sedotan yang dibuat dapat digunakan untuk minum. Sedotan berbasis selulosa dapat bertahan dalam selama 30 menit pada teh bersuhu rendah, normal, dan pada kopi bersuhu tinggi. Sedotan terbelah ketika diberikan energi sebesar $0,272 \pm 0,125$ Joule. Kekuatan sedotan tanpa *beeswax* ketika digunakan diuji dengan uji *swelling* mampu bertahan dengan baik selama 30 menit, dan sedotan dengan *beeswax* mampu bertahan dengan baik selama $58,90 \pm 15,58$ menit.

DAFTAR PUSTAKA

Abraham, E., Deepa, B., Pothan, L. A., Jacob, M., Thomas, S., Cvelbar, U., & Anandjiwala, R. 2011. Extraction of nanocellulose fibrils from lignocellulosic fibres: A novel

approach. *Carbohydrate Polymers*. 86(4): 1468-1475.

Aditama, A. G., & Ardhyanta, H. 2017. Isolasi selulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit untuk nano filler komposit absorpsi suara: Analisis FTIR. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2): F229-F232.

Afriani, K., SULAIMAN, S., & Maulia, G. 2024. Synthesis and Characterization of Hydrogel Alginate/Poly (N-Vinyl-2-Pyrrolidone) with Double Ionic Cross-Bonded for Drug Delivery and Antibacterial Agent. *Egyptian Journal of Chemistry*. 67(2): 205-213.

Arwini, N. P. D. 2022. Sampah plastik dan upaya pengurangan timbulan sampah plastik. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*. 5(1): 72-82.

Agustin, A. T. 2013. Gelatin ikan: sumber, komposisi kimia dan potensi pemanfaatannya. *Media Teknologi Hasil Perikanan*. 1(2).

Akhadiarto, S. (2010). Pengaruh pemanfaatan limbah kulit singkong dalam pembuatan pelet ransum unggas. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 11(1): 127-138.

Bayer, I. S., Guzman-Puyol, S., Heredia-Guerrero, J. A., Ceseracciu, L., Pignatelli, F., Ruffilli, R., ... & Athanassiou, A. 2014. Direct transformation of edible vegetable waste into bioplastics. *Macromolecules*. 47(15): 5135-5143.

Dewi, I. A., Ihwah, A., Setyawan, H. Y., Kurniasari, A. A. N., & Ulfah, A. 2019. Optimasi proses delignifikasi pelepah pisang untuk bahan baku pembuatan kertas seni. *Sebatik*. 23(2): 447-454.

- Departemen Pertanian. Vademecum Kehutanan Indonesia. 1976.
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 2014. Farmakope Indonesia, Edisi V. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 798.
- Dallan, P. R. M., da Luz Moreira, P., Petinari, L., Malmonge, S. M., Beppu, M. M., Genari, S. C., & Moraes, A. M. 2007. Effects of chitosan solution concentration and incorporation of chitin and glycerol on dense chitosan membrane properties. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*. 80(2): 394-405.
- Ehrman, T. 1996. Determination of acid-soluble lignin in biomass. *NREL Chemical Analysis and Testing Task Laboratory Analytical Procedure*. 004: 1-7.
- Fadhilah, M. R. 2022. Karakterisasi Kitosan dari Fungi 19A15-RF (*Aspergillus ochraceus*) yang Berasosiasi Dengan Spons.
- Hidayat, F., Syaubari, S., & Salima, R. 2020. Pemanfaatan Pati Tapioka dan Kitosan dalam Pembuatan Plastik Biodegradable dengan Penambahan Gliserol sebagai Plasticizer. *Jurnal Litbang Industri*. 10(1):33-38.
- Irmayani, I., & Syahril, S. 2020. Kebijakan Cukai Kantong Plastik Sebagai Dampak Eksternalitas Lingkungan. *EKOMBIS: JURNAL FAKULTAS EKONOMI*. 6(1).
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., & Law, K. L. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*. 347(6223): 768-771.
- Jacobsen, P. L. 2011. The Little Lip Book. Carma Laboratories. Inc, USA.
- Kusumawati, E., & Haryadi, H. 2021. Ekstraksi dan Karakterisasi Serat Selulosa dari Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*). *Fluida*. 14(1): 1-7.
- Khantayanuwong, S., Khemarom, C., & Salaemae, S. 2017. Effects of shrimp chitosan on the physical properties of handsheets. *Agriculture and Natural Resources*. 51(1): 53-56.
- Kanani, N., Ekasari, E., Subkhan, A., Wardalia, W., & Riky, R. 2018. Pengaruh penambahan gliserol dan lilin lebah pada susut berat buah sawo khas Banten. *Jurnal Konversi*. 7(2): 8.
- LE, W. 1946. Chlorite holocellulose, its fractionation and bearing on summative wood analysis and on studies on the hemicelluloses. *Tech Assoc Pap*. 29: 210-218.
- Liu, J., Wang, C., Ewulonu, C. M., Chen, X., Wu, M., & Huang, Y. 2022. Fabrication of superhydrophobic and degradable cellulose paper materials for straw application. *Cellulose*. 29: 527-540.
- Lestari, D. 2013. Pengaruh Substitusi Tepung Tapioka Terhadap Tekstur dan Nilai Organoleptik Dodol Susu (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Laksono, A. D., & Agustiningtyas, D. T. 2019. Pengaruh Faktor Geografi Terhadap Karakteristik Bambu Petung. *SPECTA Journal of Technology*. 3(1): 25-32.
- Lestari, R. S. D., Jayanudin, J., Irwanto, D., Bahaudin, R., Wardhana, R. L., & Muhammad, F. 2020. Preparasi dan karakterisasi kitosan tertaut silang glutaraldehida sebagai matrik Pupuk urea. *Jurnal Integrasi Proses*. 9(2): 27-33.
- Muhammad, M., Ridara, R., & Masrullita, M. 2021. Sintesis Bioplastik dari Pati Biji Alpukat dengan Bahan Pengisi Kitosan. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 9(2): 1-11.
- Mulyadi, I. 2019. Isolasi dan karakterisasi selulosa. *Jurnal Sainika Unpam: Jurnal Sains dan Matematika Unpam*. 1(2): 177-182.
- Muhammad, M., Ridara, R., & Masrullita, M. 2021. Sintesis Bioplastik dari Pati Biji Alpukat Dengan Bahan Pengisi Kitosan. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 9(2): 1-11.
- Mackay, R. G., & Tait, J. M. 2012. Handbook of chitosan research and applications. (*No Title*).
- Mosquera, M. R. 2019. Banning plastic straws: the beginning of the war against plastics. *Earth Jurisprudence & Envntl. Just. J.* 9: 5.
- MAILLARD, M. R. 2019. Pembuatan Kitosan Termodifikasi. *Jurnal Kimia dan Kemasan*. 41(2): 105-109.

- Nuringtyas, T. R. 2010. Karbohidrat. *Universitas Gajah Mada, Yogyakarta*.
- Nuwa, N., & Prihanika, P. 2018. Tepung Tapioka Sebagai Perekat dalam Pembuatan Arang Briket: Tapioca Flour as in Adhesive Making of Bricket. *PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat*. 3(1): 34-38.
- Putera, R. D. H. 2012. Ekstraksi serat selulosa dari tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dengan variasi pelarut. *Skripsi, Universitas Indonesia, Depok*.
- Qiu, N., Sha, M., & Xu, X. 2022. Evaluation and future development direction of paper straw and plastic straw. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1011(1): 012029. IOP Publishing.
- Qadri, O. R. J., Hamzah, F. H., & Ayu, D. F. 2023. Variasi konsentrasi kitosan dalam pembuatan bioplastik berbahan baku jerami nangka. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 17(1): 106-113.
- Rowell, R. M. 2005. Handbook of wood chemistry and wood composites. CRC press.
- Rowe, R. C., Sheskey, P., & Quinn, M. 2009. *Handbook of pharmaceutical excipients*. Libros Digitales-Pharmaceutical Press.
- Sari, A. M., Hendrawati, T. Y., Ananda, K. R., & Erdawati, E. 2020. Pengaruh Variasi Massa Kitosan Terhadap Yield dalam Pembuatan Nanoemulsi Kitosan dengan Metode Gelasi Ionik dan Freezing. *Jurnal Teknologi*. 12(2): 107-122.
- Syafii, W., & Siregar, I. Z. 2006. Sifat Kimia dan Dimensi Serat Kayu Mangium (*Acacia mangium Willd.*) dari Tiga Provenans. Chemical Properties and Fiber Dimension of *Acacia mangium Willd.* from Three Provenances. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 4(1): 28-32.
- Schrieber, R., & Gareis, H. 2007. *Gelatine handbook: theory and industrial practice*. John Wiley & Sons.
- Safwani, S., & Riza, M. 2018. Synthesis of biodegradable plastic from tapioca with N-Isopropylacrylamid and chitosan using glycerol as plasticizer. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 345(1): 012049. IOP Publishing.
- Saputro, D. F., Widiarto, S., & Yuwono, S. D. 2016. Studi Pendahuluan Pembuatan dan Karakterisasi Plastik Ramah Lingkungan dari Campuran Polisterena-Poli Asam Laktat. In *Prosiding Seminar Nasional Sains, Matematika, Informatika dan Aplikasinya*. 3(3).
- Sasria, N., Asrilisyah, A., Lubis, M. P. D., Zulfikar, A., & Tanjung, R. A. 2020. Sintesis dan karakterisasi plastik biodegradable berbasis pati nasi aking dan kitosan cangkang udang. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*. 16(2): 231-236.
- Soebijanto, T. 1986. HFS dan industri ubi kayu lainnya. *PT. Gramedia, Jakarta*.
- Safitri, M. D., & Fauzia, A. 2020. Sosialisasi Pengurangan Penggunaan Sedotan Plastik Di Lingkungan Sekolah dan Masyarakat. *Jurnal Pengabdian Masyarakat MIPA dan Pendidikan MIPA*. 4(2): 122-130.
- Templeton, D., & Ehrman, T. 1995. Chemical analysis and testing task: LAP-003 (Determination of acid-insoluble lignin in Biomass) National Renewable Energy Laboratory. *Golden, USA*.
- Tappi, T. 1997. 264 cm-97: Preparation of Wood for Chemical Analysis. *Technical Association of the Pulp and Paper Industry*.
- Tappi, T. 2002. 211 om-02. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: Combustion at 525° C. *TAPPI test methods*, 5.
- Tappi, T. 1997. Solvent extractives of wood and pulp. *TAPPI T. 204*.
- Wahidah, W. 2022. Konsep green economy pada produk sedotan purun di Desa Banyu Hirang, Kecamatan Amuntai Selatan, Kabupaten Hulu Sungai Utara. *Doctoral dissertation*. IAIN Palangka Raya).
- Zhou, X., Yi, C., & Deng, D. 2021. Sustainable development strategy of beverage straws for environmental load reduction. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 784 (1): 012041. IOP Publishing.