DOI: http://dx.doi.org/10.25181/jppt.v26i1.4813 **pISSN 1410-5020**
Jurnal Penelitian Pertanian Terapan Vol. 26(1): 79-93 **eISSN 2407-1781**
Website: http://www.jurnal.polinela.ac.id/JPPT

Isolasi Selulosa Dari Serat Buah Lontar (Borassus Flabellifer L.) Asal Pulau Timor Serta Aplikasinya Sebagai Bahan Baku Bioplastik

Cellulose Isolation From Lontar Fruit Fiber (Borassus Flabellifer L.) of Timor Island and Its Application as Bioplastic Raw Material

Anastasia Grandivoriana Nomi[1*], Christin Hendriyani Bonnu[2], dan Marlon Jusak Rinaldy Benu[3]

[1]Politeknik Pertanian Negeri Kupang, Program Studi Penyuluhan Pertanian Lahan Kering
[2]Politeknik Pertanian Negeri Kupang, Program Studi Teknologi Industri Hortikultura
[3]Universitas Nusa Cendana, Program Studi Kimia

[*]E-mail: nomianastasya@gmail.com

ABSTRACT

The increasing use of synthetic polymer-based plastics derived from non-renewable resources has caused serious problems for the environment and human health. Therefore, the development of bioplastics based on natural polymers has become a sustainable solution. This study aims to isolate cellulose from the fibers of the lontar palm fruit (Borassus flabellifer Linn.) and apply it as a raw material for bioplastic production. Lontar fruit fibers were treated through an alkaline stage using NaOH, bleaching using H_2O_2, and acid hydrolysis using H_2SO_4. The results showed a final cellulose yield of 46,33 ± 0,57%, indicating the dominance of the cellulose fraction after the elimination of hemicellulose and a portion of lignin. FTIR analysis confirmed the presence of characteristic cellulose functional groups, such as hydroxyl (-OH) groups, C-H bonds, and β-1,4-glycosidic bonds (C-O-C), as well as very low lignin absorption intensity. The isolated cellulose was subsequently incorporated into a bioplastic formulation using gelatin and glycerin as plasticizers. The resulting bioplastic exhibited a tensile strength of 3.98 ± 0.19 MPa and an elongation of 20.66 ± 3.05%, a thickness of 0.96 ± 0.16 mm, and water absorption that increased at 5-minute intervals over a 20-minute period. These results indicate that cellulose from lontar fruit fibers has the potential to be utilized as a raw material for environmentally friendly bioplastics and supports the utilization of biomass waste in dryland areas.

Keywords: *Bioplastic, Cellulose, Delignification, FTIR, Lontar*

Disubmit : 19 Februari 2026; **Diterima:** 11 Maret 2026; **Disetujui :** 27 April 2026;

PENDAHULUAN

Pencemaan lingkungan menjadi masalah serius baik bagi negara maju maupun negara berkembang. Industri plastik dianggap sebagai salah satu industri yang memproduksi bahan polimer sintetik yang banyak dimanfaatkan termasuk pengemasan (Babaremu *et al.*, 2023). Kebutuhan plastik di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya. Dimana perkapita mencapai 17 kg per tahun dengan pertumbuhan konsumsi mencapai 6-7% per tahunnya (Asngad *et al.*, 2019). Plastik merupakan produk polimerisasi sintetik yang yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari untuk berbagai tujuan karena dinilai lebih ekonomis, tidak mudah rusak, ringan, dan fleksibel. Penggunaan plastik saat ini semakin tinggi dan menyebabkan

Lisensi
Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi-BerbagiSerupa 4.0 Internasional.

ketergantungan manusia pada plastik. Kebanyakan plastik seperti PVC agar tidak bersifat kaku dan rapuh, ditambahkan dengan bahan lain seperti *Epoxidyzed Soybean* Oil (ESBO, di(2-ethylhexyl)*adipate* (DEHA) (Behairy *et al.,* 2021), *acetyl tributyl citrate* (ATBC), dan di(2-ethylhexyl)*phthalate* (DEHP) (Liu *et al.,* 2020) dimana bahan-bahan tersebut memiliki sifat karsinogenik yang berdampak pada kesehatan manusia. Bahaya lain penggunaan plastic adalah ketika digunakan sebagai pembungkus makanan karena dapat terkontaminasi ke dalam makanan Selain itu, bahan baku plastik berasal dari bahan tak terbarukan yaitu minyak bumi. Penggunaan bahan tak terbarukan ini juga menyebabkan penumpukan sampah, pencemaran dan kerusakan lingkungan (Rahmawati *et al.,* 2016) karena plastik sangat sulit terdekomposisi (’Vasile, 2000).

Bioplastik merupakan plastik ramah lingkungan yang dapat terurai secara hayati oleh mikroorganisme dan terbuat dari bahan polimer alami seperti pati, selulosa, dan lemak. Proses pembuatan plastik dengan sifat biodegradable ini menggunakan bahan yang memiliki sifat terbarukan, yaitu dengan memanfaatkan senyawa yang ada pada tumbuhan. Bioplastik dapat digunakan seperti plastik konvensional biasa namun setelah dibuang ke lingkungan akan hancur oleh aktivitas mikroorganisme dan menghasilkan air serta senyawa yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Salah satu bahan alam yang digunakan untuk membuat bioplastik adalah selulosa. Selulosa merupakan biopolymer alam yang melimpah dan memiliki sifat ramah lingkungan, ditemukan pada tumbuhan dan dapat diperbaharui (Mulyadi, 2019). Selulosa terdiri dari unsur unsur C, O, dan H dengan rumus empirik ($C_6H_{10}O_5$) dengan ikatan hydrogen yang sangat erat. Belakangan ini selulosa dijadikan sebagai bahan baku alternatif dalam industri sehingga menyebabkan permintaan selulosa terus meningkat. Hal ini terjadi karena semakin berkuranganya cadangan bahan baku yang tak terbarukan. Kebanyakan selulosa berasosiasi dengan lignin yang disebut sebagai lignoselulosa. Untuk memperoleh selulosa murni, perlu dilakukan proses hidrolisis untuk memecah ikatan lignin dan hemiselulosa, memecah struktur kristal lignoselulosa serta meningkatkan porositas bahan (Hachaichi *et al.,* 2021). Hidrolisis merupakan reaksi kimia yang memecah molekul menjadi dua bagian dengan penambahan molekul air (H_2O) yang bertujuan untuk mengkonversi polisakarida menjadi bentuk yang lebih sederhana (Widihastuty & Ramadhani, 2019). Salah satu bagian molekul akan memiliki ion hydrogen atau asam (H^+) dan bagian lainnya memiliki ion hidroksi atau basa (OH^-). Biasanya hidrolisis ini terjadi saat garam dari asam lemah atau basa lemah atau bahkan keduanya terlarut di dalam air. Penambahan asam, basa dan enzim juga berfungsi untuk membuat reaksi hidrolisis dapat terjadi pada kondisi penambahan air. Proses hidrolisis dilakukan dengan metode kimiawi secara basa melalui proses alkali dengan menambahkan larutan NaOH yang bertujuan untuk mengurangi kandungan lignin dan meningkatkan kadar selulosa

Pulau Timor adalah salah satu Pulau di Nusa Tenggara Timur (NTT) yang dikenal dengan ekosistem khas lahan kering. salah satu tanaman yang tumbuh di daerah beriklim kering ini adalah lontar *(Borassus flabellifer Linn.)*. Masa penyimpanan buah lontar tergolong pendek sehingga penggunaan komersial buah lontar yang sudah matang sangat terbatas. Buah lontar di NTT belum dimanfaatkan secara maksimal sehingga hanya menjadi pakan ternak atau dibiarkan begitu saja sebagai sampah (limbah). Dari 25-35% buah lontar yang biasa dikonsumsi mengandung 65-75% sabut (Bhogadi, 2021) Komposisi sabut lontar pada kondisi kering mengandung 89,2% selulosa, 5,4 % air, 3,1 % karbohidrat dan 2,3 % abu (Akshana *et al.,* 2024). Tujuan penelitian ini adalah isolasi selulosa dari serat buah lontar dan memanfaatkan selulosa hasil isolasi sebagai bahan baku utama pembuatan bioplastik. Oleh karena itu melalui penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan bioplastik dengan bahan dasar selulosa dari serat buah lontar asal Pulau Timor yang selama ini belum dimanfaatkan secara maksimal.

METODE PENELITIAN

Waktu dan tempat . Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Politeknik Pertanian Negeri Kupang dan analisis FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Institut Teknologi Sepuluh

Nopember, Surabaya yang berlangsung dari bulan Juli-September 2025. Buah lontar dikumpulkan dari tiga lokasi berbeda di Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur, Indonesia. Data yang diperoleh dalam penelitian ini dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan karakteristik selulosa yang dihasilkan. Hasil rendemen dan kadar air dihitung menggunakan persamaan matematis serta gugus fungsi dari analisis FTIR diolah menggunakan perangkat lunak OPUS versi 4.2.

Alat dan Bahan. Alat yang digunakan dalam penelitian ini : desikator, hot plate magnetic stirrer, pompa vakum, neraca analitik, oven, *stopwatch* dan peralatan gelas. Bahan-bahan yang digunakan: serat buah lontar, aquadest, NaOH, H_2O_2, H_2SO_4, gelatin dan gliserin.

Prosedur kerja

Persiapan sampel. Sampel buah lontar diambil dari Pulau Timor, Nusa Tenggara Timur sebanyak 7 buah yang sudah matang dan jatuh ke tanah namun belum mengering. Kulit dan biji dipisahkan lalu diambil serat buah lontar untuk dijadikan sampel. Serat buah lontar yang sudah dipisahkan dari biji dan kulit lontar kemudian dicuci di air mengalir hingga bersih lalu dikeringkan dibawah sinar matahari selama ± 3 hari. Sampel diayak menggunakan ayakan 80 mesh dan dikeringkan kembali selama 1 jam menggunakan oven dengan suhu 60^0C (Silsia *et al.*, 2018). 30 g sampel kemudian diambil untuk proses isolasi selulosa yang dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali.

Alkali treatment. 30 g serbuk serat lontar, dimasukkan ke dalam gelas beker dan ditambahkan 500 mL pelarut NaOH 6% dengan perbandingan 1:25 (b/v), kemudian dipanaskan di atas hot plate sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer pada suhu 80^0C selama 120 menit (Batu *et al.*, 2024). Residu yang dihasilkan kemudian disaring dan dicuci menggunakan akuades hingga pH netral dan air cucian menjadi jernih. Endapan yang diperoleh kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105^0C selama 10 jam dan ditimbang.

Bleaching treatment. Endapan yang telah ditimbang kemudian dilanjutkan dengan proses pemutihan. Sebanyak 100 mL larutan H_2O_2 4% ditambahkan lalu dipanaskan diatas hot plate sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 80^0C selama 120 menit (Sun *et al.*, 2017). Campuran kemudian disaring dan dicuci menggunakan akuades hingga pH netral dan diperoleh endapan berwarna putih. Endapan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80^0C, selama 120 menit untuk mendapatkan selulosa serat buah lontar.

Hidrolisis Asam

Selulosa serat buah lontar diberikan perlakuan menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) 64% dan dipanaskan pada suhu 45^0C selama 30 menit sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* (Beck-candanedo, *et al.*, 2006). Campuran yang diperoleh disaring dan dicuci secara menyeluruh dengan akuades untuk menghilangkan asam, kemudian dikeringkan pada suhu 50^0C menggunakan oven selama 120 menit.

Rendemen. Rendemen selulosa ditentukan berdasarkan perbandingan antara massa selulosa kering yang diperoleh setelah proses isolasi dengan massa awal serat buah lontar sebelum perlakuan. Perhitungan rendemen menggunakan persamaan:

$$Rendemen = \frac{Berat\ akhir\ (g)}{Berat\ awal\ (g)}\ x\ 100\%$$

Kadar air. 1 g selulosa dtempatkan dalam cawan porselen yang telah diketahui beratnya lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105^0C selama 2 jam dan didinginkan dalam desikator lalu ditimbang. Proses ini dilakukan hingga berat konstan.

$$\%\ Kadar\ Air\ = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} x100\%$$

Keterangan :

W_0 = berat cawan kosong

W_1 = berat sampel + cawan sebelum dikeringkan
W_2 = berat sampel + cawan setelah dikeringkan (konstan)

Identifikasi gugus fungsi menggunakan FTIR. Identifikasi gugus fungsi di lakukan di Laboratorium Kimia Analitik Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya. Dalam analisis ini digunakan Spektrometer *Scientific* dalam rentang panjang gelombang 400-4000 cm^{-1} pada resolusi 4 cm^{-1} dan jumlah payar 32 yang dioperasikan dengan peranti lunak OPUS versi 4.2 dan disimpan dalam format *Data Point Table* (DPT). Kemudian dilakukan pra-pengolahan data (*baseline correction, normalisasi dan smothing*).

Pembuatan Bioplastik (Akshana *et al.*, 2024) . Pada penelitian ini digunakan metode *solvent casting* dengan mencampurkan selulosa serat buah lontar, gliserin dan gelatin sesuai perlakuan dengan perbandingan 1 g selulosa : 5 g gelatin : 1,5 g gliserin : 80 mL akuades. Selanjutnya larutan diaduk dan dipanaskan di atas hot plate pada suhu 75^0C selama 20 menit. Larutan yang telah tergelatinisasi dicetak menggunakan aluminium foil dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 50^0C selama 8 jam.

Uji kuat Tarik dan elongasi. Pengujian kuat tarik dan elongasi dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) Zwick Z.05. Bioplastik digunting dengan ukuran 3 x 5 cm lalu dimasukkan ke dalam grip penguncian lalu sampel ditarik ada kecepatan 10 mm/menit hingga putus. Kuat tarik adalah rasio antara beban maksimum dengan luas penampang awal sampel.

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A_0}$$

Keterangan :
σ = Kuat tarik (MPa)
F_{max} = Gaya maksimum (N)
A_0 = Luas penampang awal
Uji elongasi menyatakan presentase pertambahan panjang material dibanding panjang awalnya.

$$\text{Elongasi (\%)} = \frac{L_f L_0}{L_0}\ x100\%$$

Keterangan :
Lf = Panjang akhir saat putus (mm)
L0 = Panjang awal (mm)

Uji ketebalan. Pengukuran ketebalan bioplastik dilakukan menggunakan mikrometer digital pada 4 titik yang berbeda dengan ketelitian 0,01 mm. Pembacaan hasil pengukuran dilakukan secara langsung dan ketebalan rata-rata bioplastik diperoleh dari tiga kali pengulangan pengukuran.

Uji daya serap air dan ketahanan air. 2 x 2 cm bioplastik direndam dalam akuades 10 mL selama 20 menit pada suhu ruang. Selanjutnya setiap interval 5 menit, sampel diangkat untuk dilakukan pengukuran massa. Artinya, pengukuran dilakukan sebanyak lima kali pada menit ke-0 (sebelum direndam), ke- 10, dan ke- 10. Pengukuran berkala dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa banyak air yang diserap oleh sampel seiring waktu. Setelah perendaman kemudian sampel diangkat dan dikeringkan serta ditimbang Kembali untuk memperoleh massa akhir.

$$Daya\ serap\ air\ (\%)\ =\ \frac{\Delta W}{W_0}\ x\,100\%$$

Keterangan:
ΔW = Perubahan massa (g)
W_0 = Massa awal (g)

Selanjutnya, dilakukan pengukuran ketahanan air untuk mengetahui sejauh mana sampel mampu menahan penyerapan air. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Ketahanan air (\%)} = 100\% - \text{Daya serap air (\%)}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi sampel. Preparasi sampel serat buah lontar dilakukan dengan dicuci dan dikeringkan selama 3 hari dibawah matahari sehingga mudah dihancurkan menggunakan *blender* lalu disaring menggunakan saringan 80 mesh untuk memperkecil ukuran, menyeragamkan ukuran, dan memperbesar luas permukaan (Nurfajriani *et al.*, 2026). Selanjutnya sampel digunting kecil ± 1 mm dan dijemur kembali selama 1 hari lalu dihancurkan menggunakan mesin penghancur dan diperoleh berat sampel sebanyak 432 g. Setelah itu dikeringkan kembali menggunakan oven pada suhu 60^0C selama 30 menit dan diperoleh 367 g sampel yang siap dipakai. Pengeringan dilakukan dengan tujuan agar berat sampel lebih konstan dan menjaga struktur serat agar tidak mudah ditumbuhi mikroorganisme. Selain itu serat lontar yang kering akan menyerap larutan kimia dengan lebih baik saat proses delignifikasi dan hidrolisis.

Alkali treatment. Delignifikasi diawali dengan proses alkali yang merupakan tahap krusial dalam isolasi selulosa serat buah lontar dan bertujuan untuk memecah ikatan lignin dan hemiselulosa. Secara kimiawi, larutan NaOH 6% memutus ikatan antara lignin dan hemiselulosa dengan selulosa, sehingga struktur serat menjadi lebih longgar dan berpori. Secara visual, proses ini menyebabkan serat membengkak dan larutan berubah menjadi berwarna kecoklatan yang mengindikasikan keberhasilan Sebagian komponen non-selulosa. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Lestari *et al.*, 2018) bahwa pada proses alkali menggunakan NaOH menghasilkan warna merah kecoklatan dan terjadi pembengkakan *(swelling)* pada selulosa pertanda telah terjadinya ionisasi oleh ion Na^+ membentuk ion alkoksida RO- yang akan memudahkan pertukaran gugus hidroksi dengan gugus karboksil pada tahap selanjutnya. Penentuan pH dilakukan menggunakan pH meter digital dengan cara memasukan pH meter ke dalam residu yang telah dicuci menggunakan akuades. Pengulangan sebanyak tiga kali dilakukan untuk meminimalisir kesalahan eksperimental dan menjamin reliabilitas data. Hasil perhitungan menunjukkan nilai 24,06 ± 0,35 g, di mana semakin kecil standar deviasi mengindikasikan bahwa distribusi larutan NaOH 6% pada sampel telah berlangsung secara homogen disetiap pengulangan dan bisa dikatakan bahwa prosedur ini memiliki keterulangan yang baik. Tabel 1 menunjukkan pH 7,4 dan kadar air 9% hasil perlakuan alkali dengan standar pH dan kadar air berdasarkan literatur.

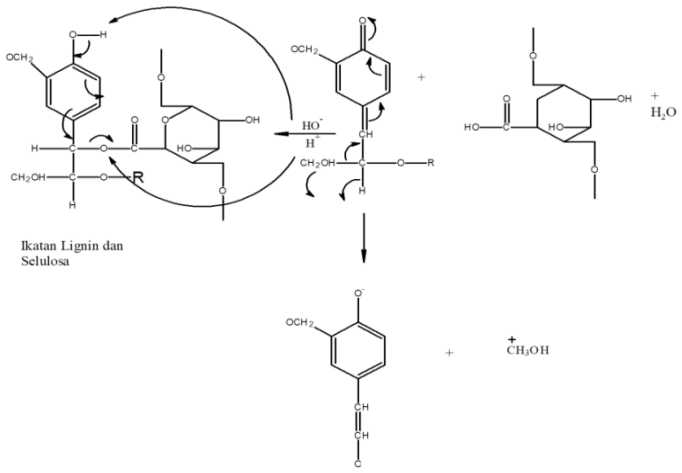
Tabel 1. Hasil pengamatan pH dan Kadar Air pada Perlakuan Alkali

Parameter	Selulosa serat buah lontar	Standar
pH	7,4 ± 0,2	5,0-7,5 (Rowe *et al.*, 2019)
Kadar Air (%)	9,1 ± 0,1	5-10% (Rai *et al.*, 2025)

Setelah pH netral kemudian serat dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105^0C selama 10 jam. Serat yang diperoleh memiliki tekstur yang lebih kasar dari sebelumnya serta lebih ramping, kemungkinnan besar karena lapisan lilin *(wax)*, pektin dan sebagian lignin telah luruh. Selain itu, dilakukan pengujian kadar air untuk 1 g serat yang telah dikeringkan dan diperoleh 9% kadar air, di mana standar kadar air untuk proses alkali serat alami berada pada kisaran 5-10%. Keberhasilan perlakuan alkali didukung oleh data FTIR yang menunjukkan penurunan intensitas pada pita serapan khas lignin (1600-1500 cm^{-1}) yang membuktikan bahwa sebagian besar komponen lignin pada serat lignoselulosa telah berhasil dieliminasi. Berikut merupakan mekanisme pemutusan ikatan antara lignin dan selulosa menggunakan NaOH.

Bleaching treatment. Proses pemutihan dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan sisa lignin, hemiselulosa dan zat pengotor lainnya yang ditandai dengan perubahan warna menjadi lebih cerah karena terputusnya ikatan C-C dalam struktur lignin. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemutihan berlangsung efektif dalam meningkatkan kemurnian serat untuk tahap pengolahan berikutnya yaitu hidrolisis asam. Pemutihan dilakukan dengan menggunakan larutan H_2O_2 sebagai agen pemutih yang memiliki sifat ramah lingkungan dan tidak menghasilkan residu berbahaya. Meskipun H_2O_2 memiliki sifat asam lemah, namun

ketika dilakukan proses bleaching pada selulosa serat lontar, pH menjadi 10,9. Hal ini menandakan bahwa proses *bleaching* berjalan secara maksimal karena pada tahap ini H_2O_2 terurai menjadi HOO^-. Ion inilah yang berperan untuk memecah pigmen warna pada serat alami sehingga serat menjadi putih (Supriyanto *et al.*, 2025). Pelarut H_2O_2 dalam air akan terurai menjadi H^+ dan OOH^-, dimana OOH^- yang berperan sebagai penghilang lignin (Lestari & Kartika, 2016). Pemutihan dilakukan dengan dipanaskan di atas hot plate dengan suhu 80^0C dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* agar reaksi yang terjadi berlangsung merata. Selanjutnya dilakukan penyaringan dan pencucian hingga pH netral lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80^0C selama 120 menit. Pencucian dilakukan dengan menggunakan akuades dan kondisi pH diamati secara berkala menggunakan pH meter digital.



Gambar 1. Mekanisme pemutusan ikatan antara lignin dan selulosa

Tabel 2. Hasil Pengamatan pH dan Kadar Air pada proses *Bleaching*

Parameter	Selulosa serat buah lontar	Standar
pH *(bleaching)*	10,5 ± 0,1	10,5-11,5 (Sun *et al.*, 2017)
pH (netral)	7,4 ± 0,2	6,9-8,0 (Dutra *et al.*, 2018)
Kadar Air (%)	7,6 ± 0,1	7—10% (Schreeb & Sjöstrand, 2025)

Setelah pencucian menggunakan akuades dan diperoleh pH netral, pH yang diperoleh telah memenuhi standar di mana jika pH >8 selulosa rentan terhadap reaksi *peeling* yang mengikis ujung rantai molekul terutama saat terpapar panas pada proses pengeringan. Begitu pula jika pH <6 maka selulosa dapat mengalami hidrolisis asam yang memutus rantai polimer, menurunkan derajat polimerisasi dan membuat serat menjadi rapuh (Navarro & Warmoeskerken, 2007). Produk akhir yang diperoleh pada proses *bleaching* jauh lebih cerah dibandingkan proses.

$H_2O_2 \rightarrow 2OH^*$

$H_2O_2 + OH^* \rightarrow OOH^* + H_2O$

$OOH + OH^* \rightarrow H_2O_2 + 2O$

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Lempang (2017), kayu yang memiliki kandungan lignin yang tinggi dapat dilihat dari warnanya yang lebih tua sedangkan jika ligninnya rendah maka warnanya juga akan lebih muda. Sejalan dengan penelitian terdahulu, selulosa yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki warna yang lebih cerah dari pada serat aslinya maupun dari proses alkali menggunakan NaOH.

Hidrolisis asam. Setelah sampel ditimbang, dilanjutkan dengan proses hidrolisis asam yang dilakukan agar molekul besar yang dihasilkan diubah menjadi lebih kecil. Hidrolisis asam bertujuan untuk meningkatkan kristalinitas dan kekuatan mekanik serat. Ketika direndam menggunakan asam sulfat (H_2SO_4)

64%, ikatan β-1,4-glikosidik menjadi terputus pada bagian amorf, sementara bagian kristalin yang lebih stabil akan bertahan (Habibi *et al.*, 2010). Hal ini perlu dibuktikan dengan menganalisis XRD untuk mengetahui seberapa besar bagian kristalin disbanding bagian amorf. Semakin tinggi konsentrasi dan suhu asam yang digunakan maka semakin cepat pula ikatan β-1,4-glikosidik terputus. Namun jika kondisi asam dan suhu terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi glukosa menjadi hidroksimetilfurfural (HMF) (Sun *et al.*, 2017), sehingga perlu dikontrol dengan baik. Hasil hidrolisis dicuci dan disaring hingga pH netral lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 50^0C. Gugus H^+ pada asam sulfat akan mengubah serat menjadi gugus radikal melalui reaksi hidrolisis yang terjadi antara selulosa dengan asam.

Tabel 3. Hasil pengamatan pH pada proses hidrolisis asam

Parameter	Selulosa serat Buah Lontar	Standar
pH (netral)	6,9 ± 0,1	6-7 (Nagarajan *et al.*, 2019)
% Kadar Air	6,2 ± 0,3	5-10% (Standar Nasional Indonesia (SNI), 2005)

Penggunaan H_2SO_4 64% menyebabkan permukaan serat memiliki muatan Listrik negatif di mana muatan ini akan saling tolak menolak sehingga selulosa yang dihasilkan tidak menggumpal dan menyebar merata sebagai partikel kecil meskipun asam telah dicuci hingga pH netral.



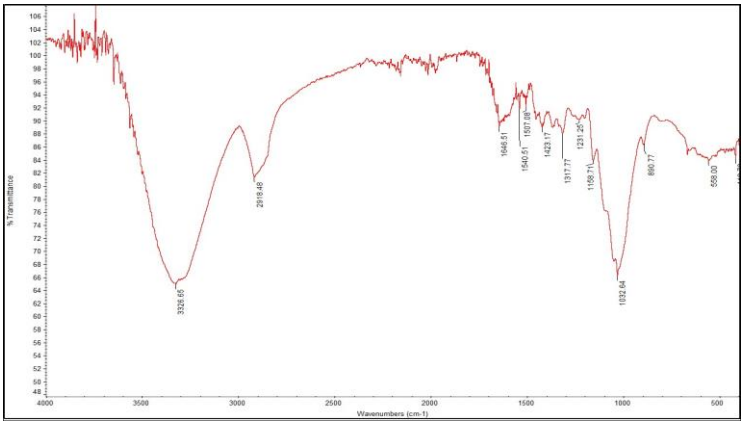
Gambar 2. a) Serat buah lontar sebelum proses delignifikasi, b) selulosa setelah proses hidrolisis

Kadar air. Berdasarkan hasil penimbangan dan perhitungan, kadar air sampel sebesar 6.2 ± 0,3 yang menunjukkan bahwa sebagian besar air bebas telah tereliminasi selama proses pengeringan. Nilai ini memenuhi standar nasional Indonesia (SNI) No. 08-7070 tahun 2005 untuk produk selulosa yaiti maksimal 7%. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi ketelitian penentuan kadar air berhubungan dengan penanganan sampel seperti jenis, ukuran partikel dan kelembaban udara pada ruang penelitian. Rendahnya kadar air pada material hasil isolasi juga didukung oleh hasil analisis FTIR, khususnya pita serapan yan melebar pada daerah regangan O-H tanpa peningkatan intensitas yang signifikan. Hal ini menunjukkan air bebas tidak mendominasi spektrum, dan pita O-H yang teramati berasal dari gugus hidroksil selulosa itu sendiri. Meskipun selulosa kaya akan gugus hidroksil yang bersifat hidrofilik, kadar air yang relatif rendah menunjukkan bahwa sebagian besar gugus -OH tidak berikatan dengan air bebas, melainkan terlibat dalam ikatan hydrogen intramolekul dan intermolekul antar rantai selulosa. Kondisi ini sangat penting dalam aplikasi bioplastik karena kadar air yang rendah dapat meningkatkan stabilitas dimensi, homogenitas, serta menurunkan degradasi selama proses pembentukan bioplastik.

Rendemen. Hasil yang diperoleh menunjukkan terjadinya penyusutan ukuran dari serat yang semula panjang dan kasar berubah menjadi lebih halus dan berwarna keabu-abuan setelah proses hidrolisis asam.

Penurunan rendemen setelah proses hidrolisis asam disebabkan oleh terurainya komponen amorf selulosa, hemiselulosa dan lignin. Penurunan ini menunjukkan bahwa proses hidrolisis berhasil meningkatkan kemurnian selulosa pada serat buah lontar. Hasil yang diperoleh menunjukkan rendemen akhir 46,33 ± 0,57 yang menandakan bahwa fraksi utama yang tersisa setelah perlakuan kimia dan termal didominasi oleh komponen struktural yang relatif stabil, terutama selulosa. Nilai standar deviasi yang rendah (< 2%) menunjukkan tingkat presisi yang tinggi dan konsistensi yang baik dalam prosedur isolasi selulosa yang dilakukan. Tidak terdeteksinya pita serapan khas hemiselulosa pada spektrum FTIR menunjukkan bahwa hemiselulosa telah berhasil dieliminasi secara signifikan, namun pita serapan pada daerah 1600-1500 cm^{-1} yang dikaitkan dengan struktur aromatik lignin masih teramati, sehingga lignin residual masih berkontribusi terhadap massa akhir sampel. Namun demikian, berdasarkan hasil yang diperoleh dapat dikategorikan sebagai fraksi yang kaya selulosa *(cellulose-rich fraction).* Setelah melalui proses alkali, *bleaching* dan hidrolisis asam pada serat buah lontar, lignin terurai dan terpisah serta selulosa yang dihasilkan siap diaplikasikan sebagai bahan baku pembuatan bioplastik dengan formulasi yang telah ditentukan.

Identifikasi gugus fungsi. Teknik spektroskopi FTIR telah banyak digunakan karena merupakan metode yang relatif mudah untuk mendapatkan informasi langsung tentang komposisi kimia (Reddy *et al.*, 2016). Identifikasi gugus fungsi menggunakan FTIR dilakukan untuk serat buah lontar yang telah melalui proses delignifikasi. Spektrum FTIR menunjukkan bahwa serat buah lontar hasil delignifikasi memiliki komposisi kimia yang identik. Gambar 3 menunjukkan pita serapan dari gugus fungsi yang membedakan senyawa serat lignoselulosa : selulosa, hemiselulosa, dan lignin.



Gambar 3. Spektrum FTIR serat buah lontar

Pita lebar yang dihasilkan pada bilangan gelombang 3326.65 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus hidroksil (-OH) yang kuat dalam jumlah besar dan merupakan ciri utama selulosa dan berperan penting dalam pembentukan ikatan hidrogen (Reddy *et al.,* 2016). Gugus ini sangan berpengaruh terhadap sifat mekanik dan fleksibilitas bioplastik yang dihasilkan. Pada pita serapan 2918.48 cm^{-1} terdapat C-H streching dari gugus alkil dalam ikatan alifatik selulosa, lignin dan hemiselulosa. Pada serapan 1646.51 cm^{-1} umumnya berkaitan dengan air terikat karena sifat higroskopisnya, sedangkan pada pita serapan 1540.51 cm-1 merupakan ikatan C=C aromatik yang mengindikasikan kemungkinan adanya sisa lignin dalam jumlah sangat kecil, yang menunjukkan proses delignifikasi berlangsung cukup efektif. Pita serapan 1507.08 cm-1 sesuai dengan deformasi C-H dalam gugus metil, metilen dan metoksil dari lignin. Pita serapan pada bilangan gelombang 1423.17 dan 1317.77 cm^{-1} masing-masing merupakan vibrasi -CH2 selulosa dan vibrasi tekukan -OH dari selulosa (Hospodarova *et al.,* 2018). Keberadaan pita serapan pada 1032.64 cm^{-1} serta

890.77 cm^{-1} merupakan bukti kuat adanya ikatan β-1,4-glikosidik (C-O-C) yang merupakan struktur dasar selulosa (Majeed *et al.*, 2024), bukan polisakarida yang lain. Sehingga secara keseluruhan, hasil analisis FTIR mengonfirmasi bahwa selulosa yang diisolasi dari serat buah lontar memiliki struktur kimia khas selulosa dan berpotensi digunakan sebagai bahan baku bioplastik berbasis polimer alami.

Tabel 4. Daerah serapan FTIR Serat buah lontar

Daerah Serapan (cm-1)	Gugus fungsi
3500-3200	O-H streching
3000-2900	C-H Streching
1650-1640	C=O
1542-1540	C=C
1510-1460	C-H
1450-1410	C-H bending
1370-1310	C-H
1050-1020	C-O-C
900-870	C-H bending

Pembuatan Bioplastik. Pada penelitian ini digunakan metode *solvent casting* dengan mencampurkan selulosa serat buah lontar, gliserin dan gelatin sesuai perlakuan. Penambahan gliserin *(plasticizer)* dan gelatin juga berpengaruh dalam pembuatan bioplastik. Gliserin berfungsi untuk menurunkan kekakuan bioplastik serta meningkatkan fleksibilitas dan elastisitas (Benitez *et al.*, 2024), sedangkan gelatin berfungsi sebagai pembentuk dasar struktur bioplastik dan meningkatkan kuat tarik *(tensile strength)* (Vijayakumar *et al.*, 2024). Berdasarkan hasil yang diperoleh, secara utuh bioplastik dapat dikelupas dari cetakan tanpa sobekan dengan warna kecoklatan karena keberadaan selulosa serat buah lontar.



Gambar 4. Bioplastik dengan bahan baku selulosa serat buah lontar

Uji kuat Tarik dan Elongasi. Jika dibandingkan dengan standar polimer komersial untuk pengemasan, nilai kuat tarik sebesar 3,96 MPa masih memerlukan optimasi lebih lanjut. Nilai kuat tarik yang dihasilkan adalah <5 MPa biasanya mengindikasikan bahwa serat selulosa kemungkinan belum terikat secara kimiawi dengan kuat pada matriks gelatin karena masih terdapat gelembung saat pencetakan sehingga dapat melemahkan struktur bioplastic. Nilai ini 3,98 ± 0,19 MPa tergolong rendah jika dibandingkan dengan plastik komersial, namun cukup umum ditemukan pada bioplastik tanpa modifikasi kimia tambahan. Bioplastik dengan nilai kuat tarik <5 sudah cukup untuk aplikasi kemasan ringan yang tidak menanggung beban besar seperti sachet kopi atau pembungkus (Nanda & Ulhakim, 2023). Nilai ini konsisten dengan temuan (James *et al.*, 2021) yang menyatakan bahwa bioplastik tanpa modifikasi kimia umumnya memiliki kuat tarik dalam rentang rendah. Rendahnya kekuatan ini diindikasikan sebagai akibat dari ikatan antarmuka yang lemah antara serat selulosa dan matriks, sebagaimana ditegaskan oleh Ashebir *et al.* (2024) bahwa keberadaan *voids* atau gelembung udara akibat dispersi yang tidak homogen bertindak sebagai

konsentrator tegangan yang melemahkan struktural material. Agar karakteristik mekanik pada bioplastik berbasis selulosa serat buah lontar meningkat, penggunaan agen pengikat silang *(cross-linker)* dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan kuat tarik serta memperkecil ruang kosong yang dapat dimasuki oleh molekul air sehingga mampu memenuhi standar SNI.

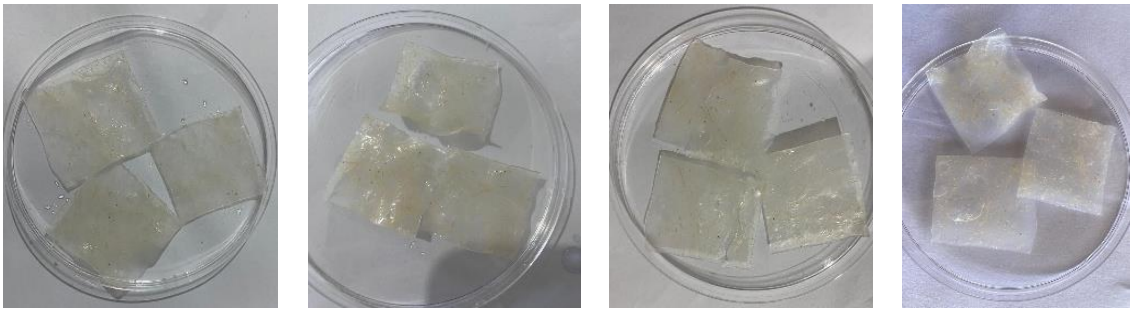
Tabel 5. Hasil uji kuat tarik, elongasi dan ketebalan bioplastik serat buah lontar

Ulangan nilai kuat Tarik (MPa)		mean ± *SD*	Ulangan nilai elongasi (%)	Mean ± *SD*	Ketebalan (mm)	mean ± *SD*
1	3,85		18		0,74	
2	3,9	3,98 ± 0,19	24	20,66 ± 3,05	1,09	0,96 ± 0,16
3	4,21		20		1,05	
					0,96	
Standar		>3,92 (JIS K-1707)		≥ 21% SNI (718.7:2016)		< 0,25 (JIS K-1707)

Pada uji elongasi, nilai yang diperoleh di tabel 5 adalah 20,66% yang menunjukkan bahwa bioplastik yang dihasilkan tidak getas karena nilainya mendekati Standar Nasional Indonesia (SNI 7188.7:2016) yaitu minimal 21%. Bioplastik yang dihasilkan menunjukkan tingkat fleksibilitas yang cukup kompetitif jika dibanding dengan ambang batas SNI 7188.7:2016. Meskipun sedikit dibawah standar, karakteristik ini menunjukkan selulosa serat buah lontar memiliki potensi besar untuk diaplikasikan sebagai material pengemas organic dengan optimasi lebih lanjut.

Uji ketebalan. Ketebalan bioplastik diukur menggunakan mikrometer digital dengan ketelitian 0,01 mm. titik pengukuran dilakukan pada empat bagian bioplastik yang telah dipotong dengan ukuran yang sama dan diperoleh rata-rata 0,96 ± 0,16 mm. Menurut *Japanese Industrial Standard* (JIS), ketebalan bioplastik yang dihasilkan diharapkan <0,25 mm. Namun dalam penelitian ini dihasilkan bioplastik yang nilainya >0,25 mm. Hal ini disebabkan oleh jumlah larutan yang dituang ke cetakan saat metode *casting* terlalu banyak dibanding luas wadahnya, selain itu perlu dilakukan optimasi terlebih dahulu mengenai komposisi selulosa, gliserin, gelatin dan air yang digunakan agar melihat viskositas larutan sehingga tidak terlalu kental. Pengukuran pada empat titik bioplastik yang dihasilkan juga terlihat cukup berbeda dikarenakan bioplastik yang dihasilkan memiliki ketebalan yang tidak merata.

Uji daya serap air dan ketahanan air. Uji daya serap air pada bioplastik dilakukan untuk memahami seberapa besar interaksi material tersebut dengan lingkungan lembab atau air. Informasi ini sangat krusial untuk menentukan kelayakan aplikasi material sebagai pengemas makanan, mengingat sifat alami bioplastik yang cenderung hidrofilik.



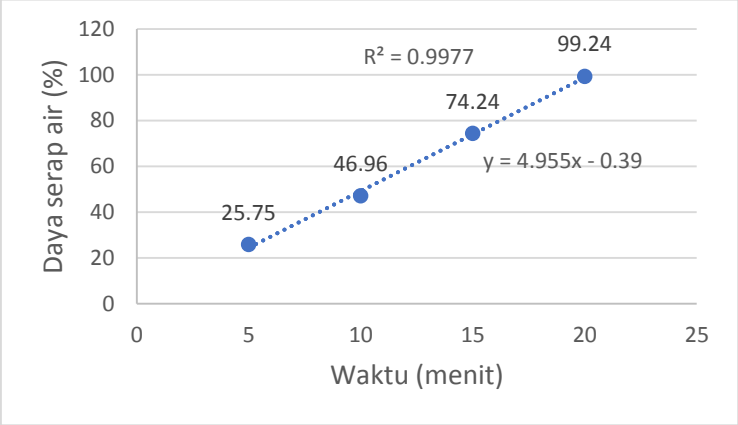
Gambar 5. Bioplastik dengan waktu perendaman (a) 5 menit, (b) 10 menit, (c) 15 menit, (d) 20 menit

Kecenderungan perubahan daya serap air dan ketahan air setelah direndam dalam air selama waktu tertentu disajikan dalam Tabel 6. Nilai ketahanan air diperoleh dari selisih antara 100% dengan daya serap air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bioplastik memiliki daya serap air yang tinggi seiring bertambahnya waktu perendaman. Hal ini disebabkan oleh sifat hidrofilik matriks biopolimer yang kaya akan gugus hidroksil, yang memfasilitasi difusi air ke dalam struktur film melalui pembentukan ikatan hydrogen (Vieira *et al.*, 2026). Karakteristik ini membatasi penggunaan material untuk produk yang terpapar lingkungan basah dalam jangka panjang. Namun, ketahanan air yang signifikan pada menit ke-5 (74,24%) menunjukkan bahwa bioplastik ini tetap memiliki potensi sebagai kemasan sekali pakai untuk produk yang segera dikonsumsi, sebagaimana didukung (Ismaya *et al.*, 2021) yang mengklasifikasikan film berbasis polimer alami layak digunakan sebagai pengemas makanan dengan durasi penggunaan singkat.

Tabel 6. Daya serap air dan ketahanan air

Berat awal (g)	Waktu (menit)	Berat akhir (g)	Daya serap air (%)	Ketahanan air (%)
0,44 ± 0,026	5	0,55 ± 0,01	25,75	74,24
0,44 ± 0,026	10	0,64 ± 0,04	49,96	53,03
0,44 ± 0,026	15	0,76 ± 0,02	74,24	25,75
0,44 ± 0,026	20	0,87 ± 0,01	99,24	0,75

Kenaikan nilai serapan air yang berkisar antara 24-25% setiap interval 5 menit menunjukkan bahwa laju air ke dalam bioplastik berlangsung secara konstan dan cepat. Peningkatan daya serap air seiring waktu biasanya disebabkan oleh keberadaan gugus hidroksil (-OH) yang bebas pada selulosa serat buah lontar. Pada menit ke 5, penyerapan air terjadi pada permukaan bioplastik. Namun pada menit ke-15 hingga 20, air mulai berdifusi lebih dalam ke bagian internal. Hal ini menyebabkan terjadinya pengembangan *(swelling*) pada rantai polimer, yang memperlebar jarak antar molekul dan memfasilitasi lebih banyak air untuk masuk. Semakin lawa waktu, semakin kecil nilai ketahanan airnya yang mengindikasikan bahwa plastik memiliki ketahan air yang cukup rendah.



Gambar 6. Hubungan antara waktu perendaman dengan daya serap air

Grafik pada Gambar 6 menunjukkan peningkatan linear yang kuat, mengindikasikan bahwa laju difusi air kedalam matriks polimer berlangsung secara konstan selama periode pengamatan 20 menit. Akurasi pengukuran didukung oleh nilai koefisien determinsi (R^2) sebesar 0,99 dan membuktikan bahwa mekanisme penyerapan air pada material ini mengikuti pola difusi terprediksi dan belum mencapai titik kesetimbangan (Singan & Chiang, 2017) hingga menit ke-20. Linearitas yang dihasilkan menunjukkan bahwa gugus hidroksil pada rantai selulosa masih tersedia untuk berikatan dengan molekul air melalui ikatan hidrogen

(Etale *et al*., 2023). Nilai R^2 = 0,99 menunjukkan bahwa variasi data sangat kecil, yang berarti data yang diperoleh memiki keterulangan yang baik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Selulosa yang diisolasi dari serat buah lontar (*Borassus flabellifer* Linn.) dalam penelitian ini menunjukkan potensi sebagai bahan baku bioplastik ramah lingkungan. Bioplastik yang dihasilkan memiliki kuat tarik 3,98 ± 0,19 MPa, elongasi 20,66 ± 3,05%, dan ketebalan 0,96 ± 0,16 mm, serta menunjukkan peningkatan daya serap air selama pengujian. Secara fisik, bioplastik yang dihasilkan berwarna kecoklatan akibat penambahan selulosa. Temuan ini menunjukkan bahwa serat buah lontar berpotensi sebagai sumber biomassa alternatif untuk pengembangan bioplastik. Namun demikian, diperlukan penelitian lanjutan melalui optimasi komposisi selulosa, gelatin, dan gliserol, serta modifikasi kimia dan pengujian degradasi untuk meningkatkan sifat mekanik dan memastikan kesesuaian dengan standar mutu yang berlaku.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Pertanian Negeri Kupang atas dukungan dan pendanaan melalui hibah Penelitian Dosen Pemula.

DAFTAR PUSTAKA

Vasile, C. (2000) *Degradation and Decomposition*. Second Edition. Edited by C. Vasile. Romania: Romanian Academy.

Akshana, R. S., Sobini, N., Kirushanthi, T., & Srivijeindran, S. (2024). Synthesis of cellulose nano fiber from palmyrah fruit fiber and its applicability as a reinforcement agent on starch based biodegradable film. *Ceylon Journal of Science*, 53(3). Available at: https://doi.org/10.4038/cjs.v53i3.8257.

Ashebir, D. A., Hendlmeier, A., Dunn, M., Arablouei, R., Lomov, S. V., Di Pietro, A., & Nikzad, M. (2024). Detecting multi-scale defects in material extrusion additive manufacturing of fiber-reinforced thermoplastic composites: a review of challenges and advanced non-destructive testing techniques. *Polymers*, 16(21), 2986.].

Asngad, A., Marudin, J.E. & Cahyo, S.D. (2019) "Kualitas Bioplastik Dari Umbi Singkong Karet Dengan Penambahan Kombinasi Plasticizer Gliserol Dengan Sorbitol Dan Kitosan," *Jurnal Bioeksperimen*, 5(1), pp. 1–10. Available at: https://doi.org/10.23917/bioeksperimen.v5i1.2795.

Babaremu, K., Oladijo, O.P. & Akinlabi, E. (2023) "Biopolymers : A suitable replacement for plastics in product packaging," *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 6(4), pp. 333–340. Available at: https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.01.001.

Batu, M. S., Kolo, M. M., & Rika, F. (2024). Synthesis of Cellulose Acetate From Coil Waste (Borassus flabellifer L) Using Delignification Time Variations: Sintesis Selulosa Asetat Dari Limbah Sabut Lontar (*Borassus flabellifer* L) dengan Menggunakan Variasi Waktu Delignifikasi. *Stannum: Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, *6*(2), 63-70. Available at: https://doi.org/10.33019/jstk.v6i2.4113.

Beck-candanedo, S., Viet, D. & Gray, D.G. (2006) "Induced phase separation in cellulose nanocrystal suspensions containing ionic dye species," *Cellulose*, pp. 629–635. Available at: https://doi.org/10.1007/s10570-006-9084-x.

Behairy, A., Abd El-Rahman, G. I., Aly, S. S., Fahmy, E. M., & Abd-Elhakim, Y. M. (2021). Di (2-ethylhexyl) adipate plasticizer triggers hepatic, brain, and cardiac injury in rats: Mitigating effect of Peganum harmala oil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111620.Available at: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111620.

Benitez, J. J., Florido-Moreno, P., Porras-Vázquez, J. M., Tedeschi, G., Athanassiou, A., Heredia-Guerrero, J. A., & Guzman-Puyol, S. (2024). Transparent, plasticized cellulose-glycerol bioplastics for food packaging applications. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 273, 132956.

Bhogadi, S. (2021) Palmyrah fruit (Borassus flabellifer L.): Source of immunity and healthy food: A review. Available at: http://www.thepharmajournal.com.

Buenafe, R. J. Q., Kumanduri, V., & Sreenivasulu, N. (2021). Deploying viscosity and starch polymer properties to predict cooking and eating quality models: A novel breeding tool to predict texture. *Carbohydrate Polymers*, 260, 117766.

Dewi, R., & Hartari, W. R. (2025). Peningkatan Karakteristik Sifat Fisika Serat Tkks Menggunakan NaOH dan H2O2 Untuk Pembuatan Biodegradabel Pot. *Jurnal Pengembangan Agroindustri Terapan*, *4*(2).

Dutra, E. D., Santos, F. A., Alencar, B. R. A., Reis, A. L. S., de Souza, R. D. F. R., Aquino, K. A. D. S., ... & Menezes, R. S. C. (2018). Alkaline hydrogen peroxide pretreatment of lignocellulosic biomass: status and perspectives. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 8(1), 225-234. 8.

Etale, A., Onyianta, A. J., Turner, S. R., & Eichhorn, S. J. (2023). Cellulose: a review of water interactions, applications in composites, and water treatment. *Chemical reviews*, *123*(5), 2016-2048. Available at: https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00477.

Habibi, Y., Lucia A, L. & Rojas, J.O. (2010) "Cellulose Nanocrystals : Chemistry, Self-Assembly, and Applications," *American chemistry Society*, 1(10).

Hachaichi, A., Kouini, B., Kian, L. K., Asim, M., & Jawaid, M. (2021). Extraction and characterization of microcrystalline cellulose from date palm fibers using successive chemical treatments. *Journal of Polymers and the Environment*, *29*(6), 1990-1999. Available at: https://doi.org/10.1007/s10924-020-02012-2.

Hospodarova, V., Singovszka, E. & Stevulova, N. (2018) "Characterization of Cellulosic Fibers by FTIR Spectroscopy for Their Further Implementation to Building Materials," *Scientific Researh Publishing*, 9, pp. 303–310. Available at: https://doi.org/10.4236/ajac.2018.96023.

Ismaya, F.C., Fithriyah, N.H. & Hendrawati, T.Y. (2021) "Pembuatan dan karakterisasi edible film dari nata de coco dan gliserol," *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 13(1).

Jing-Min Liu, Chun-Yang Li, Ning Zhao, Zhi-Hao Wang, Shi-Wen Lv, Ji-Chao Liu, Li-Jun Chen, Jun Wang & Yan Zhang, S.W. (2020) "Migration regularity of phthalates in polyethylene wrap film of food packaging," *Food Engineering, Materials Science, & Nanotechnology* [Preprint].

Lempang, M. (2017) "Sifat Dasar dan Kegunaan Kayu Agathis (Agathis hamii M . Dr .) dari Sulawesi Selatan Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea," *Jurnal Penelitian kehutanan Walacea*, 6(2), pp. 157–167. Available at: https://doi.org/10.18330/jwallacea.2017.vol6iss2pp157-167.

Lestari, M. D., Sudarmin, S., & Harjono, H. (2018). Ekstraksi selulosa dari limbah pengolahan agar menggunakan larutan NaOH sebagai prekursor bioetanol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, *7*(3), 236-241.

Lestari, R.S.D. & Kartika, S.D. (2016) "Pengaruh Konsentrasi H2O2 Terhadap Tingkat Kecerahan Pulp Dengan Bahan Baku Eceng Gondok Melalui Proses Organosolv," *Jurnal Integrasi Prose*, 6(1), pp. 45–49.

Majeed, H., Iftikhar, T. & Rehman, M. (2024) "Extraction and characterization of novel alternative cellulosic fiber for sustainable textiles from Aloe barbadensis Miller stems (agricultural waste)," *Heliyon Cell Press*, 10(18).

Mulyadi, I. (2019) "Isolasi dan Karakkterisasi Selulosa : Review," *Jurnal Saintika Unpam : Jurnal Sains dan Matematika Unpam*, 1(2), p. 177. Available at: https://doi.org/10.32493/jsmu.v1i2.2381.

Nagarajan, K. J., Balaji, A. N., Thanga Kasi Rajan, S., & Sathick Basha, K. (2019). Effect of sulfuric acid reaction time on the properties and behavior of cellulose nanocrystals from Cocos nucifera var-Aurantiaca peduncle's cellulose microfibers. *Materials Research Express*, *6*(12), 125333.

Nanda, R.A. & Ulhakim, M.T. (2023) "Analysis of The Effects of Variable Food Packaging Seals on Tensile Test Results for PET-LDPE-Aluminum Foil Composite Materials," *Rekayasa Energi Manufaktur*, 8(2).

Navarro, A. & Warmoeskerken, Æ.M.M.C.G. (2007) "Analysis of the effects of catalytic bleaching on cotton," pp. 385–400. Available at: https://doi.org/10.1007/s10570-007-9120-5.

Nurfajriani, Yusuf, M., Herlinawati, & Ardila, M. (2026). Physical properties of polymer composite reinforced by salak bark fiber (*Salacca zalacca*) and nipah bark fiber (*Nypa fruticans*). *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, *9*(1), 137–142. https://doi.org/10.24114/ijcst.v9i1.72448

Rahmawati, M. P., Fajriyanti, L. A., Afiddah, T., & Mustikaningtyas, D. (2023, July). Perbedaan sifat bioplastik limbah kulit singkong dengan bioplastik tepung tapioka. In *Proceeding Seminar Nasional IPA*.

Rai, P.S., Unnikrishnan, S. & Chandrashekar, A. (2025) "Influence of alkali treatment on physiochemical and morphological properties of palmyra fibers," *Industrial Crops & Products*, 224(December 2024), p. 120298. Available at: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.120298.

Reddy, K. O., Maheswari, C. U., Dhlamini, M. S., & Kommula, V. P. (2016). Exploration on the characteristics of cellulose microfibers from Palmyra palm fruits. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, *21*(4), 286-295. Available at: https://doi.org/10.1080/1023666X.2016.1147799.

Restu Widihastuty, Y. & Nur Ramadhani, A. (2019) *Review: Hidrolisis Lignoselulosa dari Agricultural Waste Sebagai Optimasi Produksi Fermentable Sugar*. Available at: http://equilibrium.ft.uns.ac.id.

Rowe, R., Sheskey, R.P. & Quinn, M. (2019) *Handbook of Pharmaceutical Excipients, Sixth edition*.

Schreeb, A. Von & Sjöstrand, B. (2025) "Drying and hornification of swollen cellulose," *Cellulose*, 32(9), pp. 5179–5189. Available at: https://doi.org/10.1007/s10570-024-06352-3.

Silsia, D., Efendi, Z. & Febri, T. (2018) "Karakterisasi Karboksimetil Selulosa (CMC) Dari Pelepah Kelapa Sawit," *Jurnal Agroindustri*, 8(Cmc), pp. 53–61.

Singan, G. & Chiang, L.K. (2017) "The relationship between absorbancy and density of bioplastic film made from hydrolyzed starch," *AIP Conference Proceedings* [Preprint].

Standar Nasional Indonesia (SNI) (2005) "No. 08-7070."

S Sun, X., Hou, Q., Zhang, B., & Zhao, G. (2017). Improving the efficiency of hydrogen peroxide bleaching of chemimechanical pulp by continuous replenishment of bleaching chemicals. *Tappi Journal*, *16*(6), 332-340. 16(6), pp. 331–339.

Vieira, E. F., Amaral, T., Domingues, V. F., & Delerue-Matos, C. (2026). Hydrophobicity Strategies of Starch-Based Films: Recent Advances and Perspectives. *Polymers*, *18*(4), 490.

Vijayakumar, N., Sanjay, A. V., Al-Ghanim, K. A., Nicoletti, M., Baskar, G., Kumar, R., & Govindarajan, M. (2024). Development of biodegradable bioplastics with sericin and gelatin from silk cocoons and fish waste. *Toxics*, *12*(7), 453.1–13.