

PENGARUH PROSES DELIGNIFIKASI DAN BLEACHING SEBAGAI PROSES PRETREATMENT UNTUK BAHAN BAKU BIOPLASTIK BERBASIS PATI-SELULOSA DARI LIMBAH KULIT DURIAN

R.A. Perdana¹, A. Salsabila¹, Rahmatullah¹, Rizka Wulandari Putri¹, Budi Santoso¹, Harry Waristian²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang

²Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author e-mail: rahmatullah@unsri.ac.id

ABSTRAK: Limbah kulit durian berpotensi sebagai bahan baku bioplastik karena kandungan serat yang tinggi. Selain itu limbah kulit durian dapat dijadikan tepung yang kaya akan kandungan pati. Namun serat dan pati dalam limbah kulit durian masih bercampur dengan lignin. Lignin merupakan penghalang utama bagi ekstraksi serat selulosa yang efisien untuk proses selanjutnya baik untuk pulp dan kertas, biofuel, dan bioplastik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana pengaruh proses delignifikasi dan bleaching dalam mengurangi kandungan lignin pada limbah kulit durian sebagai proses pretreatment untuk bahan baku bioplastik berbasis pati-selulosa. Metode pretreatment isolasi selulosa dan pati dilakukan melalui 2 tahap. Tahap pertama delignifikasi dengan larutan NaOH 6%, dan tahap kedua bleaching dengan larutan NaOCl 5,25%. Tepung kulit durian kemudian dianalisa kandungan selulosa dan pati, serta dikarakterisasi fisik untuk tepung dan sampel bioplastik yang dihasilkan. Hasilnya menunjukkan terjadi peningkatan kandungan selulosa 1% menjadi 6,55% setelah delignifikasi, kemudian menjadi 18,41% setelah dibleaching. Namun terjadi penurunan kadar pati pada tepung kulit durian setelah proses delignifikasi dan bleaching, dari 68,67% menjadi 26,19%. Tepung dan sampel bioplastik yang dihasilkan setelah proses delignifikasi dan bleaching berwarna bening dan elastis layaknya bioplastik pada umumnya.

Kata Kunci: Limbah kulit durian, delignifikasi, bleaching, selulosa, lignin, pati, alkali, bioplastik

ABSTRACT: Durian peel waste has the potential to be used as a raw material for bioplastics due to its high fiber content. Furthermore, durian peel waste can be made into flour rich in starch. However, the fiber and starch in durian peel waste are still mixed with lignin. Lignin is a major barrier to efficient cellulose fiber extraction for further processing into pulp and paper, biofuel, and bioplastics. This study aims to examine the effect of delignification and bleaching processes in reducing lignin content in durian peel waste as a pretreatment process for starch-cellulose-based bioplastic raw materials. The cellulose and starch isolation pretreatment method is carried out in two stages. The first stage is delignification with 6% NaOH solution, and the second stage is bleaching with 5.25% NaOCl solution. The durian peel flour is then analyzed for cellulose and starch content, as well as physical characteristics for the flour and bioplastic samples produced. The results showed an increase in cellulose content of 1% to 6.55% after delignification, then to 18.41% after bleaching. However, the starch content in the durian peel flour decreased after delignification and bleaching, from 68.67% to 26.19%. The flour and bioplastic samples produced after delignification and bleaching were clear and elastic, similar to typical bioplastics..

Keywords: Durian peel waste, delignification, bleaching, cellulose, lignin, starch, alkaline, bioplastic

1 Pendahuluan

Durian (*Durio zibethinus*) adalah salah satu jenis buah musiman yang melimpah di Indonesia khususnya di Sumatera Selatan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi buah durian di Indonesia pada tahun 2023 mencapai 1,85 juta ton, dengan produksi durian wilayah Sumatera Selatan sebanyak 39.670,7 ton [1]. Kulit durian memiliki kandungan serat kasar (62,46%), pati (36,8%), protein (19,9%) dan lignin (10,53%) [2]. Selama ini buah

durian hanya dimanfaatkan/dikonsumsi daging buahnya saja sedangkan kulit dan bijinya dibuang begitu saja. Sementara persentase berat buah durian terdiri dari daging buah 20-35%, kulit (60-75%), dan biji (5-15%). Kulit durian juga merupakan limbah organik yang sulit terdekomposisi bila dibandingkan dengan kulit buah lainnya. Hal ini akan berdampak negatif ke lingkungan seperti menimbulkan bau yang tidak sedap, mengurangi keindahan dan kebersihan, nilai estetika lingkungan, serta

menjadi sarang berbagai kuman penyakit, salah satunya kuman penyebab diare [3].

Kandungan serat dan pati yang tinggi inilah menjadikan kulit durian memiliki potensi sebagai bahan baku bioplastik. Walaupun demikian, kulit durian masih mengandung lignin yang dapat mengurangi efisiensi penggunaannya pada proses selanjutnya seperti pada pembuatan bioplastik. Lignin adalah polimer fenolik kompleks yang menyediakan material pengikat bagi polimer selulosa pada dinding sel sekunder. Lignin juga merupakan polimer utama di lamela tengah di antara dinding sel yang berdekatan [4]. Lignin menyediakan permukaan hidrofobik yang juga memungkinkan tanaman mengangkut air hingga ketinggian lebih dari 100 m [5]. Bagi industri produk kehutanan, lignin merupakan penghalang utama bagi ekstraksi serat selulosa yang efisien untuk produksi pulp dan kertas. Bagi industri bioenergi, lignin merupakan penghalang sakarifikasi untuk produksi biofuel cair [6].

Lignin dalam kulit durian perlu dihilangkan karena resistensi terhadap degradasi kimia dan biologi, yang akan memperlama proses degradasi. Pada penelitian yang dilakukan Ahmed, dkk tahun 2018 [7] menemukan bahwa lignin tidak tergedrasi selama pengomposan, atau dengan kata lain kandungan lignin konstan dalam proses pengomposan. Eklind dan Kirchmann tahun 2000 [8] menyatakan bahwa dekomposisi selulosa lebih lambat pada campuran daun, kayu keras, dan juga kayu lunak dibandingkan pada campuran kertas dan jerami. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan lignin pada masing-masing sampel ini sangat memengaruhi proses pengomposan. Selain itu kandungan lignin pada serat kulit durian menyebabkan bioplastik sukar dibentuk karena ketidakhomogenan larutan bioplastik yang dihasilkan serta mengurangi estetika dari tingkat kecerahan warna yang dihasilkan [9].

Penelitian oleh Putra, dkk (2024) [10] menunjukkan pretreatment delignifikasi limbah kulit durian dengan larutan pemasak NaOH 6% w/v dengan waktu 120 menit yang menghasilkan 83,05% w/w selulosa dan 8,03% w/w lignin. Proses bleaching dengan larutan NaOCl mampu mengurangi residu hemiselulosa dan lignin yang masih terkandung dari serat batang pisang kepok, serta menghasilkan warna yang lebih putih [11]. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengkaji bagaimana pengaruh proses delignifikasi dan bleaching dalam mengurangi kandungan lignin pada limbah kulit durian sebagai proses pretreatment untuk bahan baku bioplastik berbasis pati-selulosa menggunakan larutan NaOH agen delignifikasi dan NaOCl sebagai agen bleaching.

2 Metode Penelitian

Tahapan awal adalah pembuatan tepung kulit durian. Kulit durian dipisahkan dari bagian duri yang berwarna hijau kemudian dilakukan pemotongan dan dibersihkan dengan air mengalir. Selanjutnya dilakukan pengeringan

kulit durian dengan menggunakan oven pada suhu 80°C hingga kulit durian kering dan ringan. Lalu kulit durian kering dihaluskan dengan menggunakan chopper dan blender hingga berbentuk butiran kasar. Butiran kasar kulit durian kemudian discreening menggunakan ayakan berukuran 80 mesh.

2.1 Pretreatment Delignifikasi Kulit Durian

- 1) Larutan NaOH 6% disiapkan dengan cara melarutkan masing-masing 10 gram NaOH padat ke dalam 500 mL aquades. Larutan ini diaduk hingga NaOH larut sempurna dan siap digunakan untuk proses delignifikasi.
- 2) Sebanyak 240 gram serbuk kulit durian ditimbang (masing-masing 120 gram) dan dimasukkan ke dalam gelas beaker berisi 500 mL larutan NaOH 2% yang telah disiapkan sebelumnya.
- 3) Campuran tersebut dipanaskan pada suhu sekitar 80–100°C menggunakan hot plate selama ± 60 menit. Selama proses pemanasan, campuran diaduk secara berkala agar reaksi berlangsung merata.
- 4) Setelah selesai dipanaskan, campuran akan didinginkan hingga suhu ruang lalu disaring menggunakan kertas saring atau kain kasa untuk memisahkan padatan dari larutan.
- 5) Padatan hasil penyaringan dicuci menggunakan aquadest. Pencucian ini dilakukan beberapa kali sampai filtrat yang menjadi jernih dan tidak mengandung sisa basa.
- 6) Padatan yang telah bersih kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama ± 6 jam hingga benar-benar kering. Bahan kering ini merupakan hasil delignifikasi. Judul ditulis secara ringkas dan informatif. Hindari menuliskan singkatan dan rumus dalam judul

2.2 Proses Bleaching Kulit Durian

- 1) Serbuk kulit durian hasil delignifikasi yang telah kering kemudian diproses kembali untuk dibleaching.
- 2) Larutan NaClO sebesar 5,25% disiapkan dalam beaker glass 3000 mL.
- 3) Letakkan beaker glass yang telah berisi baycline di atas hot plate dan atur suhu hot plate sebesar 75°C.
- 4) Tambahkan serbuk kulit durian yang telah di delignifikasi ke dalam beaker glass.
- 5) Campuran tersebut dipanaskan hingga suhu 75°C selama ± 10 menit dan disertai dengan pengadukan berkala, hingga terjadi perubahan warna serbuk kulit durian menjadi putih.
- 6) Setelah selesai, campuran tersebut didinginkan hingga suhu ruang, lalu disaring dengan

menggunakan ayakan dengan ukuran 150 mesh untuk memisahkan padatan dari larutan.

- 7) Padatan hasil penyaringan tersebut dicuci dengan aquadest hingga filtratnya jernih.
- 8) Padatan yang sudah bersih kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama ± 4 jam, setelah itu didinginkan sampai suhu ruang untuk diblender kembali agar menjadi tepung kulit durian dengan tekstur yang halus dan siap digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioplastik

2.3 Analisa Kandungan Lignoselulosa dan Pati Tepung Kulit Durian

Analisa kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin, serta pati tepung kulit durian dilakukan di Laboratorium Kimia Pengolahan dan Sensoris Hasil Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya.

2.4 Uji Organoleptik Tepung Kulit Durian dan Sampel Bioplastik

Tepung pati kulit durian yang dihasilkan selanjutnya diujikan sifat-sifat fisiknya. Indikator keberhasilan diindikasikan melalui uji organoleptik menggunakan panca indra manusia. Pengujian dilakukan oleh 5 responden berdasarkan bentuk fisik, warna, dan bau.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisa Kandungan Pati dan Amilosa, dan Lignoselulosa Tepung Kulit Durian

Hasil analisa kandungan pati dan amilosa tepung kulit durian sebelum dan sesudah dilakukan proses delignifikasi dan belaching ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Hasil uji kandungan pati dan amilosa tepung kulit durian

Parameter (%)	Komposisi		Metode Analisis
	TAPI	DP	
Protein	13,03	5,04	SNI 01-2891-1992
Pati	68,67	26,19	SNI 01-2891-1992
Amilosa	7,09	5,8	SNI 01-2891-1992

*TP: Tanpa Perlakuan, DP: Dengan Perlakuan

Dari hasil analisa kandungan pati dan amilosa kulit durian sebelum dilakukan perlakuan atau delignifikasi dan bleaching menunjukkan kadar yang cukup tinggi dengan nilai 68,67% dan 7,09%. Setelah perlakuan dengan pretreatment delignifikasi dan bleaching terjadi penurunan untuk kedua parameter tersebut menjadi 26,19% dan 5,8%. Namun hal ini tidak mengurangi nilai kulit durian sebagai bahan dasar pembuatan bioplastik.

Hasil analisa lignoselulosa tepung kulit durian sebelum dan sesudah dilakukan proses delignifikasi dan bleaching ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.1 Hasil uji kandungan lignoselulosa tepung kulit durian

Keterangan	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)
Sebelum delignifikasi	1,26	45,40	6,96
Sesudah delignifikasi	6,55	44,24	6,17
Sesudah delignifikasi dan bleaching	18,41	21,76	4,05

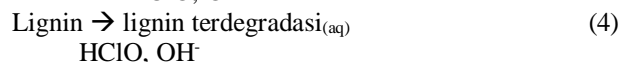
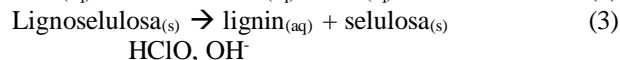
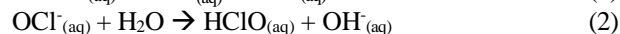
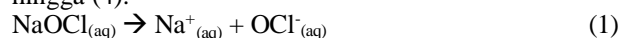
Berdasarkan Tabel 3.2 diatas, menunjukkan bahwa kandungan tepung kulit durian didominasi oleh kandungan hemiselulosa sebanyak 45,40% lalu lignin 6,96% sebelum dilakukan pretreatment. Setelah dilakukan pretreatment dengan delignifikasi menggunakan larutan NaOH terjadi kenaikan kadar selulosa menjadi 6,55% dan kadar hemiselulosa dapat mengalami sedikit penurunan menjadi 44,24%, begitu juga dengan kadar lignin menjadi 6,17%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pelarut NaOH dengan mampu merusak struktur lignoselulosa sehingga menaikkan kadar selulosa, penggunaan pelarut NaOH mampu merusak struktur lignin pada bagian amorf dan kristalin [12]. Lignin berada di antara sel dan dinding sel tumbuhan yang berfungsi sebagai pengikat antar sel. Hemiselulosa dapat diekstraksi dari serat dan kayu dengan larutan alkali [13]. Lignin pada lignoselulosa dapat dihilangkan melalui pretreatment alkali seperti yang dilakukan oleh Arviani dan Pramita (2025)[11] dimana digunakan pelarut NaOH 2% dan 3% pada proses delignifikasi serat batang pisang kepok menunjukkan penurunan kadar lignin menjadi 3,56% dan 4,48%.

Adanya pemutusan ikatan lignin-selulosa oleh NaOH menyebabkan persentase selulosa meningkat terbaca pada pengukuran. Sejalan dengan penelitian Gunam dkk., (2011) [14] dan Putra, dkk (2024) [10], dimana penambahan NaOH 2% w/v hingga 6% w/v dalam proses delignifikasi juga meningkatkan kadar selulosa sebesar 67,83% w/w dan semakin meningkat dengan kenaikan kadar selulosa menjadi 69,41% w/w NaOH ditingkatkan konsentrasinya menjadi 6% w/v.

Penggunaan senyawa basa pada proses delignifikasi dapat meningkatkan kelarutan dalam lignin, pembengkakan selulosa dan mengakibatkan lignin larut serta terpisah dari selulosa. Dimana pada penelitian Gunam dkk., (2011) [14] yang melakukan proses delignifikasi dengan ampas tebu dan Putra, dkk (2024) [10] dengan kulit durian menggunakan NaOH dengan konsentrasi 2% w/v sampai 6% w/v, diperoleh kondisi optimal pada ketika konsentrasi

NaOH sebesar 6%w/v, kadar lignin masing-masing yang diperoleh adalah 11,88%w/w, dan 8,03%.

Kemudian setelah dilanjutkan ke tahap pretreatment yang kedua dengan proses bleaching menggunakan NaOCl kembali terjadi kenaikan kadar selulosa dan penurunan kadar lignin secara signifikan pada tepung kulit durian. Dimana kadar selulosa meningkat menjadi 18,41%, dan lignin 4,05%. Proses pemutihan atau bleaching bertujuan untuk menghilangkan sisa kandungan lignin dan zat pengotor lainnya yang masih terdapat pada tepung kulit durian. Proses pemutihan atau bleaching juga dilakukan menggunakan larutan natrium hipoklorit (NaOCl). NaOCl di dalam air akan menghasilkan ion hidroksil dan asam hypochlorous (HOCl) yang merupakan oksidator kuat dan dapat memutuskan ikatan lignoselulosa (delignifikasi) dan ikatan eter dalam struktur lignin, sehingga derajat pada keputihan tepung kulit durian meningkat [15]. Perlakuan bleaching dengan NaClO berhasil menghilangkan lignin, meningkatkan tingkat keputihan, dan menyisakan selulosa. Reaksi yang terjadi saat proses bleaching menggunakan larutan NaOCl ditunjukkan dalam persamaan reaksi (1) hingga (4).



3.2 Uji Organoleptik Tepung Kulit Durian dan Sampel Bioplastik

Tepung kulit durian sebelum dan sesudah proses pretreatment delignifikasi dan bleaching kemudian dikarakterisasi fisiknya melalui uji organoleptik, indikator keberhasilan selulosa ditentukan berdasarkan bentuk fisik, warna, dan bau. Pengujian dilakukan oleh 5 responden yang mengacu pada karakteristik selulosa yang baik berdasarkan penelitian Pine et al. (2021) [16]. Tabel 1 menunjukkan hasil uji organoleptik Tepung kulit durian.

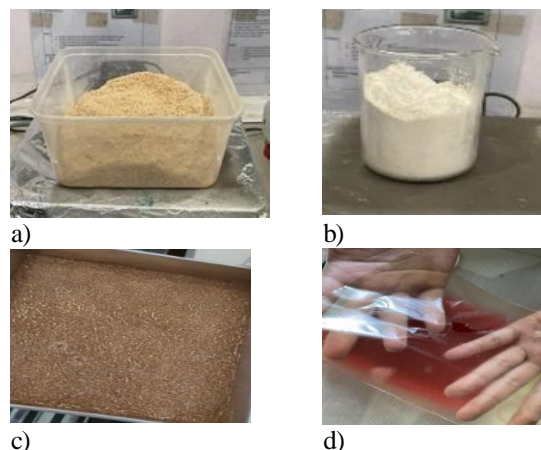
Tabel 3.3 Hasil Uji Organoleptik Sampel Tepung kulit durian sebelum dan sesudah proses pretreatment delignifikasi dan bleaching

Sampel	Indikator					
	Bentuk Fisik		Warna		Bau	
	Serbuk Halus	Menggumpal Kasar	Putih	Cokelat	Berbau	Tidak
TKD						
TAPI	-	5*	-	5*	-	5*
DP	5*	-	5*	-	-	5*
BKD						
TAPI	-	5*	-	5*	-	5*
DP	5*	-	5*	-	-	5*

Keterangan: Responden

TKD: Tepung Kulit Durian; BKD: Bioplastik Kulit Durian

TP: Tanpa Perlakuan, DP: Dengan Perlakuan



Gambar 1. Tepung kulit durian a) sebelum, dan b) sesudah proses pretreatment delignifikasi dan bleaching Bioplastik kulit durian c) sebelum, dan d) sesudah proses pretreatment delignifikasi dan bleaching

Berdasarkan Tabel 3.3 dan gambar 1, dapat diketahui bahwa hasil delignifikasi dan bleaching tepung kulit durian memiliki karakteristik fisik berbentuk serbuk, berwarna putih, dan juga tidak berbau. Untuk bioplastik dengan menggunakan tepung kulit durian yang dilakukan delignifikasi dan bleaching juga dapat menunjukkan karakteristik fisik dengan permukaan halus, berwarna putih, dan tidak berbau.

Proses delignifikasi memiliki peran penting dalam pengolahan bahan lignoselulosa seperti kulit durian. Tahapan ini berfungsi untuk menghilangkan lignin, yaitu senyawa kompleks yang dapat mengikat selulosa dan hemiselulosa dalam struktur tanaman. Dengan terlepasnya lignin, struktur serat menjadi lebih terbuka dan mudah diolah. Selulosa yang sebelumnya terperangkap kini dapat diakses dengan lebih efisien untuk proses selanjutnya. Kondisi ini meningkatkan kemampuan bahan dalam membentuk matriks bioplastik yang homogen. Proses tersebut juga membantu memperbaiki warna dan kemurnian bahan melalui pelepasan komponen pengotor alami [17].

Gambar pada sampel 1c) sebelum delignifikasi dan bleaching menunjukkan kegagalan struktur yang terbentuk masih kasar dan menyerupai kerak. Pada pembuatan sampel tersebut kulit durian memiliki kandungan lignin sebesar 6,96 % dan hemiselulosa sebesar 45,40 %. Kandungan lignin yang cukup tinggi membuat serat selulosa sulit berikatan. Akibatnya, bahan tidak mampu membentuk lembaran bioplastik yang halus dan homogen. Struktur yang muncul menjadi kaku serta mudah rapuh. Lignin yang tersisa juga menghambat pembentukan ikatan hidrogen antar rantai selulosa. Untuk memperbaikinya, proses delignifikasi juga menggunakan larutan basa NaOH

6% perlu dilakukan agar lignin dapat terlepas lebih efektif. Tahapan bleaching membantu menghilangkan pigmen alami sehingga bioplastik yang dihasilkan tampak lebih jernih.

Peningkatan kandungan selulosa menunjukkan bahwa proses delignifikasi berhasil dalam membuka struktur lignoselulosa dan melepaskan komponen penyusun utama bioplastik. Selulosa yang dengan kadar yang lebih banyak juga mampu memberikan kemampuan ikatan antarmolekul yang jauh lebih baik sehingga dapat membentuk matriks bioplastik yang padat dan homogen. Hal ini membuat film bioplastik menjadi lentur, elastis dengan struktur yang tidak kaku dibandingkan sampel sebelum delignifikasi.

Gambar 1d) pada sampel bioplastik setelah delignifikasi dan di bleaching ini menunjukkan peningkatan kualitas yang jelas dibandingkan sebelum perlakuan. Permukaan menjadi lebih halus, transparan, dan lebih lentur/elastis menandakan struktur selulosa telah menyatu sempurna. Setelah proses ini kandungan selulosa naik hingga 18,41 persen dan lignin turun tajam dari 6,96 menjadi 4,05 persen. Bleaching juga berperan penting sebagai tahap pemurnian yang menghilangkan sisa lignin dan pigmen alami. Proses ini membuat warna bioplastik lebih cerah dan struktur film menjadi lebih homogen. Kandungan selulosa yang murni dapat memperkuat ikatan antarmolekul dan meningkatkan elastisitas. Bioplastik dari hasil bleaching juga memiliki kekuatan dan fleksibilitas lebih tinggi. Hasilnya jauh lebih baik dibandingkan sampel kasar sebelum dilakukan bleaching.

4 Kesimpulan

Pretreatment tepung kulit durian dengan proses delignifikasi dengan NaOH dan belaching dengan NaOCl terbukti meningkatkan kadar selulosa yang semula bernilai 1,26% menjadi 18,41%. Tepung pati kulit durian hasil dari kedua tahap pretreatment tersebut juga berdasarkan uji organoleptik menunjukkan tepung yang lebih halus berupa serbuk, berwarna putih, dan tidak berbau. Dan sampel bioplastik yang diperoleh dari tepung pati kulit durian yang didelignifikasi dan belaching berdasarkan uji organoleptik menunjukkan bioplastik dengan permukaan halus, jernih, tidak berbau, dan lentur/elastis.

Daftar Pustaka

[1] Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Selatan, "Produksi Tanaman Sayuran dan Buah-Buahan Semusim Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Tanaman di Provinsi Sumatera Selatan, 2024," Palembang, 2025. [Online]. Available: <https://sumsel.bps.go.id/id/statistics-table/3/ZUhFd1JtZzJWVVpqWTJsV05XTllhVm hRSzFoNFFUMDkjMw==/produksi-tanaman-sayuran-dan-buah-buahan-semusim-menurut-kabupaten-kota-dan-jenis-tanaman---di-provinsi->

sumatera-selatan--2018.html

- [2] S. Haryati, R. Rahmatullah, and R. W. Putri, "Torrefaction of Durian peel and bagasse for briquette as an alternative solid fuel," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 334, no. 1, pp. 3–9, 2018.
- [3] A. S. Fajar and T. Y. Hendrawati, "PROSES PENGOLAHAN MINYAK BIJI KAPUK (Ceiba Pentandra) MENJADI METHIL ESTER MELALUI PROSES ESTERIFIKASI KATALIS KOH DAN WAKTU REAKSI," *Tek. Kim.*, 2015.
- [4] C. Plomion, A. Stokes, C. P. France, and L. De Rhe, "Wood formation in trees," *Plant Physiol*, vol. 127, pp. 1513–1523, 2015.
- [5] K. Koch, "Sucrose metabolism : regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development," *Curr. Opin. Plant Biol.*, vol. 7, pp. 235–246, 2004.
- [6] F. Chen and R. A. Dixon, "Lignin modification improves fermentable sugar yields for biofuel production," *Nat. Biotechnol.*, vol. 25, no. 7, pp. 759–761, 2007.
- [7] S. Ahmed, M. S. Rahman, M. M. Hasan, N. Paul, and A. A. Sajib, "Microbial degradation of lignocellulosic biomass : discovery of novel natural lignocellulolytic bacteria," *BioTechnologia*, vol. 99, no. 2, pp. 137–146, 2018.
- [8] Y. Eklind and H. Kirchmann, "Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II: nitrogen turnover and losses," *Bioresour. Technol.*, vol. 74, no. 2, pp. 125–133, Sep. 2000.
- [9] R. Rahmatullah, R. W. Putri, H. Waristian, A. Al Hadi, K. Handoko, and M. F. Gufron, "The Effect of Plasticizer Type and Concentration on Cellulose Acetate-Based Bioplastic from Durian Skin," *J. Ecol. Eng.*, vol. 25, no. 11, pp. 70–82, Nov. 2024.
- [10] R. Putra, M. Yerizam, and S. Yuliati, "Pretreatment Delignifikasi Limbah Kulit Durian Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol," *J. Daur Lingkung.*, vol. 7, no. 2, pp. 5–10, 2024.
- [11] E. Arviani and Ayu Pramita, "Pembuatan Selulosa dari Batang Pisang Kepok dengan Variasi Konsentrasi Pelarut NaOH dan HCl," *J. Teknol.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–7, Jun. 2024.
- [12] L. Lismeri, P. M. Zari, T. Novarani, and Y. Darni, "Sintesis Selulosa Asetat dari Limbah Batang Ubi Kayu Cellulose Acetate Synthesis from Cassava Stem," *J. Rekayasa Kim. dan Lingkung.*, vol. 11, no. 2, pp. 82–91, 2016.

- [13] B. Syamsul, "Pembuatan Pulp dari Batang Pisang," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 4, no. 2, pp. 36–50, 2015, [Online]. Available: http://ft.unimal.ic.id/teknik_kimia/jurnal
- [14] I. B. W. Gunam, N. M. Wartini, A. A. M. D. Anggreni, and P. M. Suparyana, "Delignifikasi Ampas Tebu Dengan Larutan Natrium Hidroksida Sebelum Proses Sakaraifikasi Secara Enzimatis Menggunakan Enzim Selulase Kasar Dari *Aspergillus Niger* Fnu 6018," *Teknol. Indones.*, vol. 34, no. January, pp. 1–32, 2011.
- [15] J. H. Pratama, R. L. Rohmah, A. Amalia, and T. E. Saraswati, "Isolasi Mikroselulosa dari Limbah Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dengan Metode Bleaching-Alkalinasi," *ALCHEMY J. Penelit. Kim.*, vol. 15, no. 2, p. 239, 2019.
- [16] A. T. D. Pine, N. H. Base, and J. B. Angelina, "Produksi Dan Karakterisasi Serbuk Selulosa Dari Batang Pisang (*Musa paradisiaca* L.)," *J. Kesehat. Yماسi Makasar*, vol. 5, no. 2, pp. 121–127, 2021.
- [17] A. Setiawan, F. D. M. Anggraini, T. A. Ramadani, L. Cahyono, and M. C. Rizal, "Pemanfaatan Jerami Padi Sebagai Bioplastik Dengan Menggunakan Metode Perlakuan Pelarut Organik," *Metana*, vol. 17, no. 2, pp. 69–80, 2021.