

Isolasi Selulosa Mesocarp Kulit Durian Untuk Bahan Baku Pembuatan Biofoam

Cellulose Isolation Of Durian Peel Mesocarp As Raw Material For Biofoam Manufacture

Wahyu Suryaningih^{1*}, Titik Budiati², Merry Muspita Dyah Utami², Oryza Ardhiarisca⁴, Aryanti Candra Dewi⁵

¹ Department of Agricultural Technology, Politeknik Negeri Jember

² Department of Agricultural Technology, Politeknik Negeri Jember

³ Department of animal husbandary, Politeknik Negeri Jember

⁴ Departement of business

⁵ Department of animal husbandary, Politeknik Negeri Jember

* wahyu_surya@polije.ac.id

ABSTRAK

Potensi buah durian yang tinggi menimbulkan limbah berupa kulit yang menyebabkan pencemaran lingkungan. Kulit durian mengandung selulosa tinggi sekitar 50 sampai 60%. Untuk itu perlu dilakukan eksplorasi menjadi sumber selulosa sebagai bahan baku kemasan bioplastik dan biodegradable-foam yang murah. Penelitian ini bertujuan mengetahui sifat fisik dan kimia selulosa mesocarp kulit durian. Metode penelitian dengan mengisolasi atau mengekstraksi selulosa dari mesocarp kulit durian. Proses isolasi selulosa terdiri dari 3 tahap, yaitu pembuatan tepung, proses delignifikasi menggunakan larutan alkali NaOH 10% dan proses *bleaching* menggunakan larutan hidrogen peroksida (H_2O_2) 10%. Selulosa yang dihasilkan dilakukan pengamatan terhadap sifat fisik dan kimia. Hasilnya menunjukkan bahwa selulosa mesocarp kulit durian mempunyai sifat fisik dengan bentuk serbuk, struktur granula bulat memanjang, berwarna putih kekuningan dengan nilai lightness (L) = 78,50, a^* = 4,30, dan b^* = 21,00, serta sifat kimia meliputi kadar air 6,37%, kandungan 63,27% selulosa, 13,94% hemiselulosa dan 9,54% lignin.

Kata kunci — Ekstraksi, Isolasi, Selulosa, Mesocarp kulit durian

ABSTRACT

The high potential of durian fruit creates waste in the form of skins that cause environmental pollution. Durian peel contains high cellulose of about 50 to 60%. Therefore, it is necessary to explore the source of cellulose as raw material for cheap bioplastic and biodegradable foam packaging. This study aims to determine the physical and chemical properties of durian peel mesocarp cellulose. The research method was to isolate or extract cellulose from durian peel mesocarp. The cellulose isolation process consists of 3 stages, namely flour making, delignification process using 10% NaOH alkaline solution, and bleaching process using 10% hydrogen peroxide (H_2O_2) solution. The cellulose produced was observed for physical and chemical properties. The results show that durian peel mesocarp cellulose has physical properties with powder form, elongated round granule structure, yellowish-white color with lightness (L) = 78.50, a^* = 4.30, and b^* = 21.00, and chemical properties include moisture content of 6.37%, content of 63.27% cellulose, 13.94% hemicellulose and 9.54% lignin.

Keywords — Cellulose, Durian peel mesocarp, Extraction, Isolation

OPEN ACCESS

© 2024. Wahyu Suryaningih, Titik Budiati, Merry Muspita Dyah Utami, Oryza Ardhiarisca, Aryanti Candra Dewi



Creative Commons
Attribution 4.0 International License

1. Pendahuluan

Buah durian yang dikenal sebagai buah “eksotik” karena mempunyai aroma khas yang menyengat, dan rasa manis yang unik. Durian sebagai salah satu jenis buah favorit yang sangat disukai oleh masyarakat Indonesia dan sangat potensial karena harganya mahal.

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil durian. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2023, produksi durian di Indonesia sebanyak 1,85 juta ton dan volume produksinya meningkat 17,05% dibanding tahun 2022 yang menghasilkan 1,58 juta. Sedangkan provinsi Jawa Timur menempati urutan pertama dengan jumlah produksi durian sebesar 488.356 ton. Provinsi ini terkenal memiliki berbagai jenis durian, seperti Durian Merah dari banyuwangi, Durian Kawuk dari trenggalek, dan Durian Jember arum dari Kabupaten Jember [1].

Berdasarkan persentasenya, bagian buah durian terbagi 20-35% daging buah yang dimakan, dan sisanya 79,08% bagian tidak dapat dimakan, meliputi 5-15 % biji, dan 60-70% kulit [2]. Kedua bagian tersebut merupakan limbah, dan sampai saat ini belum dimanfaatkan. Saat musim durian, biji dan kulit durian menumpuk, sehingga mencemari lingkungan.

Kulit durian berdasarkan komposisi kimianya mengandung 50-60% selulosa, 5 % lignin, hemiselulosa dan 5 % pati [3]. Selulosa merupakan senyawa polimerisasi dari unit gula yang berikatan β -1,4 D-Glukosa yang membentuk rantai panjang. Selulosa berfungsi sebagai pembentuk struktur batang, yang memberi kekuatan pohon dapat tumbuh dengan tegak dan pada kulit buah untuk melindungi daging dan bijinya [4].

Selulosa merupakan senyawa yang sangat penting dalam industri kimia, karena digunakan sebagai bahan baku pembuatan pulp dan kertas, serta bahan dan kemasan karton. Adanya perkembangan teknologi kemasan terbarukan, maka kebesaraannya juga dapat digunakan sebagai bahan baku kemasan bioplastik dan biofoam [5].

Selulosa dalam pembuatan kemasan biodegradabel-foam berfungsi sebagai *biofiller* yaitu bahan pengisi, karena mempunyai serat yang kuat. Hal ini disebabkan oleh adanya ikatan hidrogen yang kuat diantara rantai selulosa sehingga membentuk struktur kristalin,

bersifat tahan air serta mudah terdegradasi sehingga dapat mempengaruhi peningkatan sifat fisik dan mekanik biofoam [6].

Tingginya kandungan selulosa pada kulit durian, perlu dilakukan eksplorasi sebagai sumber selulosa yang potensial dan murah. Senyawa selulosa kulit durian diperoleh melalui isolasi atau ekstraksi kulit durian.

Kulit durian dibagi menjadi 3, yaitu endocarp, mesocarp dan exocarp. Bagian kulit yang dapat diisolasi adalah mesocarp karena berwarna putih. Sedangkan bagian exocarp memerlukan waktu yang lama dengan proses fermentasi dan warnanya kurang baik

Kulit durian mempunyai struktur fisikokimia yang kompleks, sehingga tidak mudah terurai. Proses isolasi atau ekstraksi selulosa melalui proses delignifikasi dengan perlakuan basa metode soda dan bleaching yang bertujuan untuk mendapatkan selulosa yang terkandung pada kulit durian. Untuk mengoptimalkan perlu ada pra-perlakuan ekstraksi selulosa.

Pra-perlakuan proses ekstraksi selulosa meliputi: 1- proses fisik, 2- kimia, 3- biologis, 4- fisikokimia, dan 5- proses berbasis pelarut hijau [7]. Proses pra-perlakuan yang dilakukan pada biomassa dan konstituen biomassa (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) yang meningkatkan efisiensi konversi dan ekstraksi.

Metode fisik dengan mengecilkan ukuran partikel, agar dapat meningkatkan aktivitas enzim, aksesibilitas mikroba, meningkatkan efisiensi konversi selama ekstraksi, dan produk yang dihasilkan. Pengecilan ukuran akan mengurangi kristalinitas selulosa yang mempengaruhi sifat kristal selulosa [8]

Metode mekanik untuk mematahkan struktur keras lignoselulosa dengan metode pemotongan, penggilingan, penghancuran, dan pengadukan untuk mengurangi ukuran partikel sehingga meningkatkan luas permukaan kandungan lignin, dan derajat polimerisasi. Perlakuan awal secara fisik dan mekanis meningkatkan efektivitas bahan kimia dan enzim untuk mengkonversi lignin dan hemiselulosa menjadi selulosa [9]

Ekstraksi selulosa dilakukan secara kimia menggunakan bahan kimia khusus, seperti asam, alkali, zat pengoksidasi, dan pelarut organik yang berfungsi untuk melarutkan kristal struktur

lignoselulosa yang kaku menjadi struktur kristal selulose. Asam, basa, oksidasi, dan sol organik digunakan sebagai bahan kimia untuk memperbesar permukaan dan memperbesar biodegradabilitas limbah pertanian [10]

Senyawa asam HCl, H₂SO₄, H₃PO₄, HNO₃, Na₂CO₃, CH₃COOH, CH₂O₂, dan C₄H₄O₄ digunakan sebagai reagen untuk memecah ikatan glikosidik lignoselulosa, yang terdapat pada senyawa selulosa dan hemiselulosa [10]. Sedangkan senyawa basa atau reagen alkali seperti NH₄OH, NH₃H₂O, dan Ca(OH)₂ digunakan dalam untuk mencairkan lignin dan hemiselulosa, mengurangi kristalinitas dan meningkatkan efisiensi konversi selulosa [11].

Senyawa oksidatif, seperti ozon dan hidrogen peroksida berfungsi memecah lignin dan hemiselulosa dan memfasilitasi pelepasan senyawa yang larut. Senyawa hydrogen peroksida (H₂O₂) akan terurai menjadi OH⁻ dan O₂ dan memecah struktur lignin dan mencegah terjadinya produk samping [12].

Isolasi mesocarp kulit durian bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan kimia selulosa yang dihasilkan. Pemanfaatan limbah kulit durian memudahkan penggunaan selulosa sebagai bahan kemasan biodegradable-foam akan mengurangi pencemaran lingkungan akibat dampak yang ditimbulkan dan meningkatkan nilai ekonomis kulit durian.

2. Target dan Luaran

Selulosa mesocarp kulit durian sebagai bahan pengisi atau *filler* dalam pembuatan kemasan biodegradable-foam yang ramah lingkungan.

3. Metodologi

Bahan dan Alat

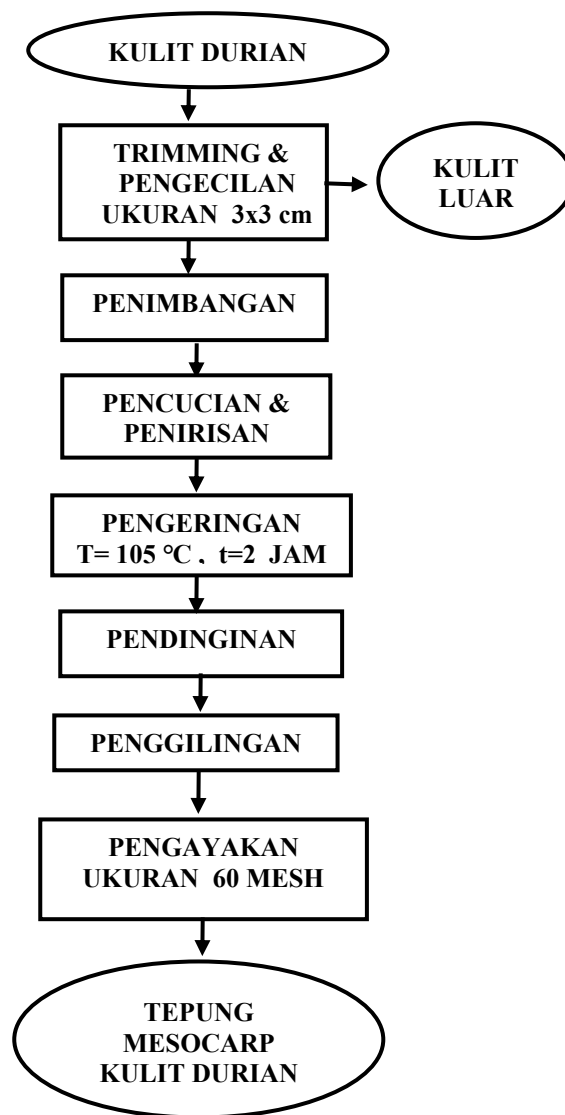
Bahan yang digunakan adalah kulit durian varietas Jember Arum, natrium hidroksida (NaOH), Peroksida (H₂O₂), larutan H₂SO₄ 1N.

Peralatan yang digunakan adalah timbangan digital, pisau, sendok, *disk mill*, ayakan 60 mesh, *food dehydrator* merk harvest, termometer, oven merk venticell, *hot plate*, dan gelas ukur, color rider (Konika Minolta CR-10 Plus) dan mikroskop.

Isolasi Selulosa

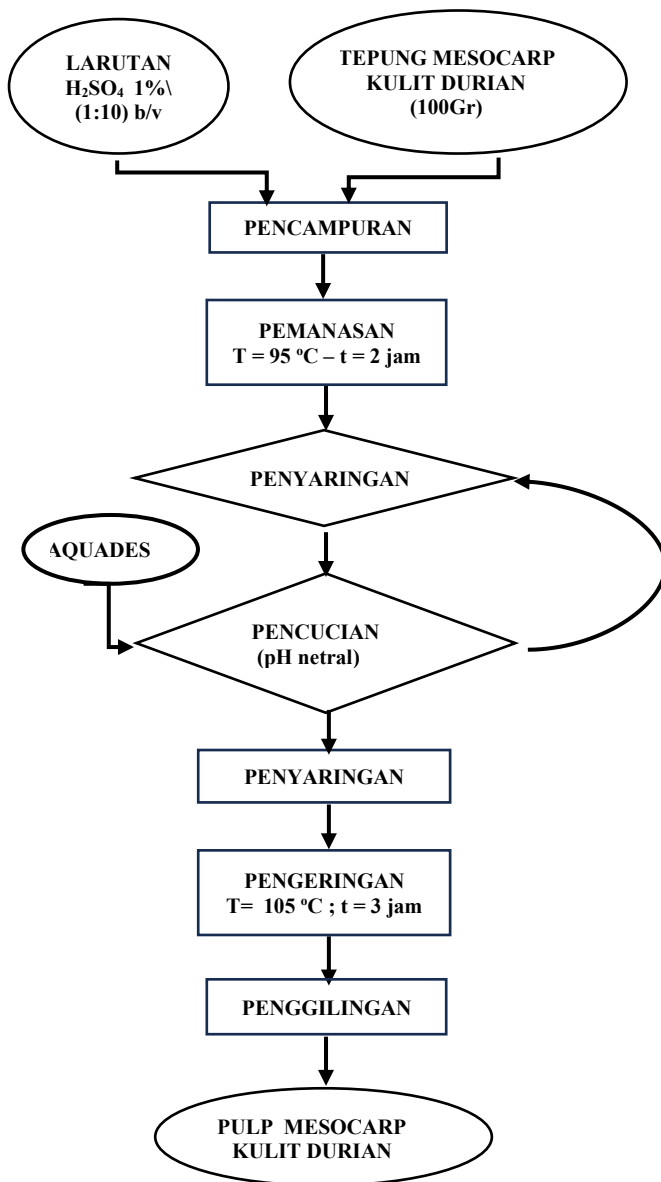
Proses isolasi atau ekstraksi mesocarp kulit durian terdiri dari 3 tahap, yaitu pra-perlakuan, lignifikasi dan pemutihan (bleaching). Untuk pra-perlakuan dilakukan secara fisik dan mekanik, yaitu pembuatan tepung kulit durian.

Pra-perlakuan atau pembuatan tepung mesocarp kulit durian melalui tahapan trimming dan pengecilan ukuran, pencucian, pengeringan dan penggilingan [4]. Untuk lengkapnya dapat dilihat pada Gambar. 1.



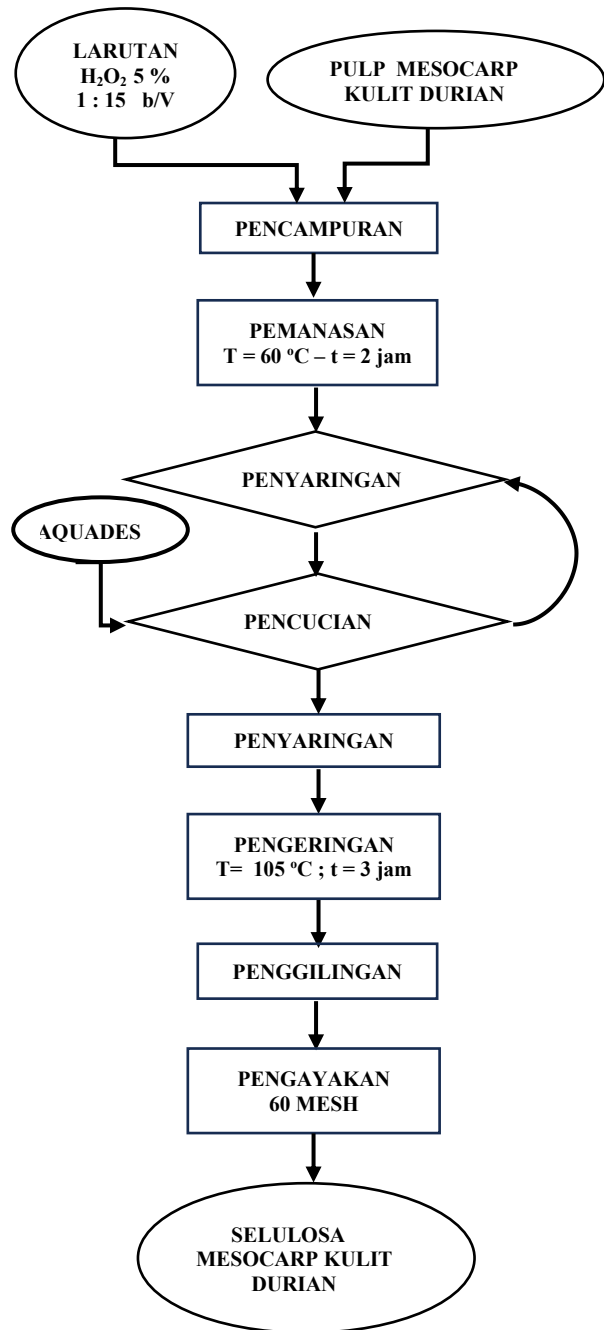
Gambar 1. Proses Pembuatan Tepung Mesocarp Kulit Durian

Proses delignifikasi bertujuan untuk memecah ikatan antara senyawa lignin dengan selulosa dengan cara melarutkan lignin dalam larutan alkali. Proses delignifikasi melalui tahapan pencampuran bahan, pemanasan, penyaringan, pencucian, pengeringan, penggilingan [13]. Prosedur lignifikasi dapat dilihat Gambar 2.



Gambar 2. Proses Delignifikasi

yaitu senyawa hidrogen peroksida (H_2O_2) pada pH 8- 12. Proses bleaching pencampuran. Pemanasan, pencucian, penyaringan, pengeringan, penggilingan dan pengayakan [14]. Tahapan proses dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Bleaching

Proses *bleaching* bertujuan untuk melarutkan sisa lignin dan hemiselulosa yang tersisa dan untuk meningkatkan derajat keputihan selulosa yang dihasilkan. Proses bleaching menggunakan larutan alkali peroksida

Parameter Pengamatan

Sifat fisik selulosa meliputi warna secara visual dan color rider Konika Minolta CR-10 Plus dan bentuk granula secara visual dan mikroskopik

Sifat kimia selulosa meliputi kadar air (AOAC), kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin menggunakan uji Lignoselulosa metode Chesson Datta.

4. Pembahasan

Sifat Fisik

Sifat fisik adalah sifat yang berhubungan dengan perubahan fisik suatu bahan. Sifat fisik selulosa mesocarp kulit durian adalah warna dan bentuk struktur garmulanya. Hasil pengamatan warna dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Warna Selulosa Kulit Durian

Parameter	Kulit Durian	
	Tepung	Selulosa
Warna	Putih	Putih Kekuningan
- Lightness (L*)	-	78,53 *
- Redness (a*)	-	4,30 *
- Yellowness (b*)	-	21,00 *
Bentuk granula	Bulat panjang	Bulat Panjang

Keterangan:

L* : Menunjukkan parameter kecerahan (Lightness), dengan nilai kecerahan berkisar dari 0-100 (hitam-putih)

a* : a (positif) menunjukkan warna kromatik kombinasi merah-hijau dengan nilai 0 sampai +80 untuk warna merah sedangkan nilai a (negatif) dari 0 s.d -80 untuk warna hijau.

b* : b(positif) menunjukkan warna kromatik kombinasi biru-kuning dengan nilai 0 sampai +70 untuk warna kuning sedangkan nilai b (negatif) dari 0 s.d -70 untuk warna biru

Warna visual selulosa mesocarp kulit durian seperti yang terlihat pada Tabel 1. antara tepung dan selulosa menunjukkan tidak berbeda, yaitu putih sampai putih kekuningan. Hasil analisa warna menggunakan color rider yaitu nilai Lightness (L*) sebesar 78,53 menyatakan warnanya cerah atau terang. Nilai a* sebesar 4,30 menyatakan warna kromatik campuran merah-hijau nilainya rendah, Nilai b* sebesar 21,00 menyatakan warna kromatik campuran biru-kuning, yang berarti warna lebih cenderung pada warna kuning [15].

Perubahan warna dipengaruhi oleh proses bleaching , yaitu senyawa oksidatif, yaitu penggunaan larutan H_2O_2 dapat meningkatkan nilai lightness (L) selulosa kulit durian serta cenderung menurunkan nilai a* dan b*. Selain itu jug disebabkan proses delignifikasi yang memecag dan melarutkan senyawa lignin dalam pelarut alkali. Konsentrasi H_2O_2 yang semakin tinggi maka semakin banyak pula ion perhidroksil (OOH^-) yang berperan sebagai oksidator dalam proses pemutihan sehingga membuat warna selulosa menjadi lebih cerah. Mekanisme reaksi senyawa H_2O_2 dengan gugus karbonil pada lignin mendegradasi senyawa lignin, serta mereduksi pigmen pada kulit durian [7] .

Konsentrasi larutan H_2O_2 dan lama proses bleaching dapat mempengaruhi hasilnya. Konsentrasi maksimum H_2O_2 adalah 10% , jika lebih dari konsentrasi tersebut, tidak dapat meningkatkan derajat kecerahan warna selulosa yang dihasilkan. Warna putih cerah pada ekstrak selulosa perlakuan hidrogen peroksida 10% menunjukkan pigmen lignin sudah larut sehingga didapatkan selulosa dengan kemurnian maksimal. Suhu dan waktu proses bleaching juga dapat mempengaruhi proses oksidasi lignin menjadi lebih baik dalam mengoksidasi gugus kromofor [16]. Proses bleaching menggunakan larutan H_2O_2 sebagai bleaching agent mampu meningkatkan derajat keputihan pada hasil selulosa, semakin tinggi konsentrasi larutan H_2O_2 dan semakin lama waktu pemutihan 32 maka semakin tinggi tingkat kecerahan yang dihasilkan [7]. Proses delignifikasi dengan perlakuan waktu 1 jam dan 2 jam terjadi peningkatan hasil derajat putih dengan perlakuan 2 jam meningkatkan derajat putih hingga mencapai 79,13% [9].

Struktur tepung dengan selulosa hampir sama, yaitu berbentuk serbuk. Bentuk struktur serbuk selulosa secara visual adalah kotak memanjang, Demikian juga dilihat menggunakan mikroskopik dengan 5 kali pembesaran, granula selulosa berbentuk bulat memanjang , lihat Gambar 1.





1a. Visual



1b. Mikroskopik 5 kali pembesaran

Gambar 1. Struktur granula Selulosa Mesocarp kulit Durian

Sifat Kimia

Sifat kimia merupakan sifat zat yang mengalami perubahan menjadi zat yang baru. Sifat kimia selulosa hasil isolasi atau ekstraksi mesocarp kulit durian berhubungan dengan komposisi penyusunnya, antara kadar air, selulosa, hemiselulosa dan lignin, seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Kadar air tepung dengan selulosa mesocarp kulit durian hampir sama, sekitar 6%. Rendahnya kadari air tersebut disebabkan proses pengeringan. Kadar air selulosa kulit durian $6,37 \pm 0,3$ % memenuhi syarat standart SNI kadar air CMC dengan standar $< 10\%$ [14]. Kadar air selulosa mesocarp kulit durian lebih rendah dibandingkan kadar air selulosa batang jagung 7,96% [14].

Tabel 2. Komposisi kimia selulosa mesocarp kulit durian

Parameter	Kulit Durian	
	Serbuk Kulit Durian	Selulosa Kulit Durian
Kadar Air (%)	$6,85 \pm 0,2$	$6,37 \pm 0,3$
Kadar Selulosa (%)	$31,1 \pm 0,3$	$63,2 \pm 0,2$
Kadar Hemiselulosa (%)	$28,1 \pm 0,5$	$13,9 \pm 0,2$
Kadar Lignin (%)	$14,5 \pm 0,2$	$9,5 \pm 0,2$

Kandungan hemiselulosa antara tepung dan selulosa mesocarp kulit durian selama proses isolasi menunjukkan penurunan sebesar 14,2%, yaitu dari $31,11 \pm 0,31\%$ menjadi $13,94 \pm 0,21\%$. Hemiselulosa lebih mudah terhidrolisa karena mempunyai ikatan paling

lemah dibandingkan selulosa dan lignin, sehingga penurunan komposisi awal serat selulosa kulit durian cukup signifikan [17].

Kandungan lignin sebelum dan sesudah proses ekstraksi menunjukkan adanya penurunan sebesar 5 %, yaitu dari 14,5% sampai 9,5% (Tabel 2). Kandungan lignin dan hemiselulosa dalam selulosa kulit durian menunjukkan penurunan, sebaliknya kadar selulosa meningkat selama proses delignifikasi dan *bleaching*. Kedua proses tersebut dapat mendegradasi struktur lignin 5% dari kandungan lignin kulit durian $14,5 \pm 0,2\%$ menurun menjadi $9,5 \pm 0,2\%$ selulosa kulit durian.

Proses delignifikasi dapat merusak struktur lignin pada serat serbuk kulit durian dan melarutkannya. Hal ini menunjukkan bahwa proses delignifikasi dapat merusak struktur lignin kulit durian dan melarutkannya [18]. Suhu dan lama proses pemasakan akan mempercepat reaksi delignifikasi pada proses *bleaching*, sehingga kandungan lignin semakin larut. Semakin tinggi suhu, maka proses pembentukan gugus anion perhidroksil (OOH-) akan semakin cepat sehingga dapat berpengaruh pada proses penghilangan kandungan lignin dalam serat, semakin rendah kandungan lignin maka kandungan hemiselulosa cenderung menurun [19].

Kandungan selulosa kulit durian meningkat 32,2% dari kadar selulosa serbuk selulosa serbuk kulit durian $31,1 \pm 0,3$ % menjadi $63,2 \pm 0,2$ % selulosa setelah proses delignifikasi dan *bleaching*. Gugus gugus ester struktur lignin dan hemiselulosa akan rusak dan terlarut selama proses delignifikasi dan *bleaching*, sehingga komponen selulosa meningkat.

Kulit durian mengandung selulosa yang berkisar 50-60% [20], sedangkan hasil analisa selulosa kulit durian varietas Jambearum jember mencapai $63,2 \pm 0,2\%$. Adanya proses degradasi parsial komponen hemiselulosa dan lignin pada proses delignifikasi dan *bleaching* dapat peningkatan persentase kandungan selulosa. Proses delignifikasi selulosa dengan larutan NaOH 10% dapat mengkonversi selulosa dengan baik. memenuhi syarat SNI untuk kadar air CMC.

5. Kesimpulan

Proses isolasi selulosa mesocarp kulit durian dengan metode ekstraksi pulping process menggunakan larutan NaOH 10% dan H₂O₂ 10% menghasilkan sifat fisik mempunyai bentuk serbuk dengan granula bulat memanjang, berwarna putih kekuningan dengan nilai warna (L, a*, b*) yaitu nilai lightness (L) = 78,50, a* = 4,30, dan b* = 21,00,

Selulosa mesocarp kulit durian mempunyai komposisi kimia, yaitu kadar air 6,37%, kandungan selulosa 63,27%, hemiselulosa 13,94 %, lignin 9,54 %.

6. Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik. Produksi Tanaman Buah-buahan, 2021-2023, <https://www.bps.go.id>
- [2] A. L. Cahyani, V. Linda, D. Guntama, M. N. Dewi, and L. Hakim, "Effect of Chitosan Variation in Starch and Cellulose Based Biofoam," *Adv. Sustain. Sci. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 3, p. 0230306, Oct. 2023, doi: 10.26877/asset.v5i3.17126.
- [3] J. Liao *et al.*, "A lightweight, biodegradable, and recyclable cellulose-based bio-foam with good mechanical strength and water stability," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 10, no. 3, p. 107788, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.jece.2022.107788.
- [4] H. M. Nugraheni, T. A. Mulyanti, and L. Badriyah, "Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Durian Mentega sebagai Carboxymethyl Cellulose(CMC)," *Semin. Nas. Sains*, no. Cmc, pp. 115–122, 2018.
- [5] W. Suryaningsih, Supriono, Budi Hariono, Titik Budiati, "Pengaruh Pasteurisasi Non-Thermal Metode UV dan Ozon Terhadap Sifat Mikrobiologi dan Organoleptik Susu Segar," *Ilm. Inov.*, vol. 22, 2020, doi: <https://doi.org/10.25047/jii.v22i2.3295>.
- [6] A. Akmala and E. Supriyo, "Optimasi Konsentrasi Selulosa pada Pembuatan Biodegradable Foam dari Selulosa dan Tepung Singkong," *Pentana J. Penelit. Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 27–40, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/pentana/article/view/11597>.
- [7] O. Romruen, T. Karbowiak, W. Tongdeesontorn, K. A. Shiekh, and S. Rawdkuen, "Extraction and Characterization of Cellulose from Agricultural By-Products of Chiang Rai Province, Thailand," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 9, pp. 0–13, 2022, doi: 10.3390/polym14091830.
- [8] R. S. Riseh, M. G. Vazvani, M. Hassanisaadi, and V. K. Thakur, "Agricultural wastes: A practical and potential source for the isolation and preparation of cellulose and application in agriculture and different industries," *Ind. Crops Prod.*, vol. 208, no. December 2023, p. 117904, 2024, doi: 10.1016/j.indcrop.2023.117904.
- [9] J. Trongnit, J. Mayakun, and K. Kaewtatip, "The effect of agar from the seaweed *Gracilaria fisheri* on properties of biodegradable starch foam," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 273, p. 132952, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.132952.
- [10] N. R. and T. C. S. I. Wayan Arnatal, 2, Suprihatin1, Farah Fahmal, "Cellulose Production from Sago Frond with Alkaline Delignification and Bleaching on Various Types of Bleach Agents," *Orient. J. chemistry*, vol. 35, no. spectroscopy, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/35Specialissue102>.
- [11] B. D. A, D. H. A, and M. K. Purkait, "A critical review on the techniques used for the synthesis and applications of crystalline cellulose derived from agricultural wastes and forest residues," *Sci. Total Environ. Direct*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118537>.
- [12] R. Oktavia, A. A., Hariono, B., bakri, A., Suryaningsih, W., Brilliantina, A., Kautsar, S., & Wijaya, "Pengaruh Suhu dan Waktu Proses Precooking Ikan Lemuru terhadap Sifat Fisik, Mikrobiologi dan Organoleptik," *Ilm. Inov.*, vol. 22, 2022, doi: <https://doi.org/10.25047/jii.v22i3.3429>.
- [13] F. Fitriani *et al.*, "Isolation and characterization of nanocrystalline cellulose isolated from pineapple crown leaf fiber agricultural wastes using acid hydrolysis," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 23, pp. 0–12, 2021, doi: 10.3390/polym13234188.
- [14] A. Amrillah, Nafira Alfi Zaini and Hanum, Farrah Fadhillah and Rahayu, "Studi Efektivitas Metode Ekstraksi Selulosa dari Agricultural Waste," [Online]. Available: <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>.
- [15] S. Taufiq, Y. I. S. Nurminabari, T. Gozali, A. Z., "Inovasi Pengembangan Kulit Macaron Menggunakan Tepung Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) Dengan Tepung Almond dan Penambahan Serbuk Black Mulberry (*Morus nigra* Sp.). Jurnal Penelitian Pertanian Terapan," *Taufiq, Y, I. S. Nurminabari, T. Gozali, A. Z., Salanita*, vol. 2, 2024, doi: <http://dx.doi.org/10.25181/jppt.v24i2.3477>.
- [16] O. Awogbemi, "Teknik pra-pengolahan limbah pertanian," *Sci. direct*, vol. 6, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100229>.



- [17] R. K. A, N. A. E.-W. B, A. D. C, and N. A. Elkasabgy, "Nanocellulose: From an agricultural waste to a valuable pharmaceutical ingredient," *Sci. direct*, vol. 163, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.242>.
- [18] S. Sutiarno, M. Muryani, A. Sucipto, R. Rahmawati, F. Fegiliani, and A. Riyanto, "Pengaruh Penambahan Tepung Umbi Porang dan Variasi Konsentrasi Flavonoid Kulit Nanas dalam Pembuatan Biofoam," *J. Fis. Flux J. Ilm. Fis. FMIPA Univ. Lambung Mangkurat*, vol. 19, no. 2, p. 101, Jun. 2022, doi: [10.20527/flux.v19i2.11445](https://doi.org/10.20527/flux.v19i2.11445).
- [19] C. Sefrin Speroni *et al.*, "Micronization increases the bioaccessibility of polyphenols from granulometrically separated olive pomace fractions," *Food Chem.*, vol. 344, p. 128689, May 2021, doi: [10.1016/j.foodchem.2020.128689](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128689).
- [20] G. . Glenn, W. . Orts, and G. A. . Nobes, "Starch, fiber and CaCO₃ effects on the physical properties of foams made by a baking process," *Ind. Crops Prod.*, vol. 14, no. 3, pp. 201–212, Nov. 2001, doi: [10.1016/S0926-6690\(01\)00085-1](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(01)00085-1).