

Dilute Alkali Treatment as an Effective Strategy for Valorizing Young Coconut Coir as Cellulose Source

Margareta N. Cahyanti^{1*}, B. K. Wibowo¹, Y. A. Steefian¹, D. A. Stefani¹, D. Anggaran¹

¹Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga, Indonesia;

Article History

Received : April 25th, 2024

Revised : May 15th, 2024

Accepted : Juny 06th, 2024

*Corresponding Author:

Margareta N. Cahyanti,
Program Studi Kimia, Fakultas
Sains dan Matematika,
Universitas Kristen Satya
Wacana Salatiga, Indonesia;
Email:
margareta.cahyanti@uksw.edu

Abstract: Optimal utilization of the abundant young coconut coir has not been achieved, and not even an investigation into its potential as a source of cellulose has been conducted. Carbonized biomass and bioethanol are examples of energy carriers that can be produced from the cellulose found in young coconut coir. Additionally, cellulose can be utilized in the process of creating advanced materials like cellulose nanofibers and nanocrystals. In order to obtain cellulose from biomass, a treatment is required. The purpose of this study is to investigate how dilute alkali treatment affects the composition of young coconut coirs. Sodium hydroxide solutions at 1.5 and 3% concentrations were used in the alkaline treatment, which was carried out for one hour at room temperature and then for two hours at 100°C. The biomass-to-sodium hydroxide solution ratio was 1:24. The percentage of yield that is achieved following treatment with diluted alkali varies between 29.70 and 30.28%. Following treatment with 3% sodium hydroxide, the concentration of water-soluble compounds dropped from 45% to 3%. Following sodium hydroxide treatment, there was a decrease in the amounts of hemicellulose and lignin. Following a 3% alkali treatment, the cellulose content increased significantly from 19% to 66%. The significant increase in cellulose content after alkali treatment can be used to choose a treatment for young coconut coir during valorization.

Keywords: alkali treatment, biomass, waste.

Pendahuluan

Kelapa merupakan salah satu tanaman tropis yang paling banyak ditanam di Indonesia. Produksi kelapa di Indonesia pada tahun 2017-2021 mencapai lebih dari 2,8 juta ton per tahun (Mediaperkebunan, 2022). Daging buah kelapa adalah bahan utama untuk membuat kopra, santan kelapa, dan minyak kelapa. Daging kelapa muda juga dapat dimakan langsung. Selain daging buah, kelapa mempunyai serabut dengan proporsi 38–44 % (Subiyanto, 2000). Pemanfaatan serabut kelapa pada umumnya lebih banyak dilakukan pada serabut kelapa tua. Serabut kelapa tua dapat digunakan sebagai media tanam (Putri Ayu et al., 2021), pupuk organik cair (Novianto et al., 2020), maupun bahan baku pembuatan genteng beton (Lubis dan Hermanto, 2020). Pemanfaatan serabut kelapa muda masih

kurang diteliti. Pemanfaatan serabut kelapa muda dapat didasarkan pada kenyataan bahwa serabut kelapa mengandung lignin sebanyak 35%–45% dan selulosa 23%–43% (Budianto et al., 2021).

Selulosa merupakan rantai polisakarida yang terbentuk dari gabungan glukosa sebagai monomer. Selulosa banyak digunakan dalam industri kertas, kosmetik, dan farmasi (Pinto et al., 2022). Monomer dalam selulosa juga dapat dipecah untuk digunakan sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan mikroba yang dapat menghasilkan surfaktan (Haq et al., 2021), bioetanol (Awoyale dan Lokhat, 2021), dan biohidrogen (Prasertcharoensuk et al., 2019). Selain itu, selulosa juga dapat diubah menjadi nanokristal selulosa (Song et al., 2019). Nanokristal selulosa dapat digunakan dalam bidang kesehatan, farmasi, elektronika, nanokomposit, dan kapasitor super. Mereka

memiliki sifat terbarukan, biokompatibel, tidak beracun, dan biodegradabel, dan permukaan kimia mereka mudah disesuaikan (Shankaran, 2018).

Selulosa harus diekstrak sebelum dapat diaplikasikan. Karena struktur yang kompleks dari serat biomasa, proses ekstraksi selulosa menjadi proses yang tidak mudah dilakukan. Dalam biomassa, hemiselulosa berikatan dengan serat selulosa secara non kovalen, dan lignin bersifat seperti lem di antara keduanya. Lignin mengisi ruang antara selulosa dan hemiselulosa. Ketiganya membentuk suatu struktur yang terkait silang secara 3D yang stabil (Haq et al., 2021). Perlakuan harus dilakukan untuk dapat mengurai struktur kompleks dalam serat biomassa sehingga selulosa dapat dimanfaatkan secara lebih optimal. Perlakuan dapat berupa perlakuan kimia, mekanis, fisik, atau kombinasi dari semua ini. Perlakuan secara kimia dapat melibatkan penggunaan asam atau alkali. Perlakuan dengan alkali bertujuan mengurangi kandungan lignin serta menghasilkan produk dengan porositas tinggi (Fajriutami et al., 2016; Keshav et al., 2023).

Perlakuan alkali dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai bahan kimia bersifat alkali. NaOH adalah salah satu alkali yang paling banyak digunakan. NaOH digunakan bukan hanya karena merupakan alkali yang efektif dalam mengekstrak lignin, tetapi juga karena menghasilkan senyawa yang tidak berbahaya selama proses perlakuan (Kataria et al., 2013; Rogoski et al., 2023). Hasil penelitian Barman et al. (2020) menunjukkan bahwa jumlah lignin yang terekstrak dari kayu pinus meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi NaOH. Pada perlakuan dengan NaOH 7,5%, jumlah lignin yang terekstrak adalah 38%, dan nilai ini meningkat menjadi 63% ketika konsentrasi NaOH digunakan 20%. Kandungan selulosa meningkat seiring dengan penurunan kandungan lignin dalam biomassa. Vardhini et al. (2019) menyatakan serat pohon pisang yang diberi perlakuan alkali dengan NaOH dengan konsentrasi 10% pada temperatur 80°C selama jam menunjukkan bahwa kandungan selulosa meningkat dari 70% menjadi 76%.

Penelitian mengenai perlakuan alkali sebagai tahap awal pemanfaatan biomasa telah

banyak dilakukan, namun penelitian tentang perlakuan alkali pada serabut kelapa muda sebagai tahap awal valorisasi serabut kelapa muda sebagai sumber selulosa masih belum banyak dilakukan. Penelitian tentang perlakuan basa dengan konsentrasi tinggi pada serabut kelapa muda antara lain dilakukan Sarumaha dan Muchtar (2022) untuk ekstraksi selulosa dan Klunklin et al. (2023) untuk proses produksi karboksi metil selulosa. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan konsentrasi alkali yang lebih rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui bagaimana perlakuan alkali encer berdampak pada komposisi serabut kelapa muda. Penggunaan alkali encer dalam proses awal valorisasi serabut kelapa muda diharapkan dapat menghasilkan suatu metode valorisasi serabut kelapa muda yang lebih ramah lingkungan.

Bahan dan Metode

Bahan

Serabut kelapa muda diperoleh dari penjual es kelapa muda di kawasan Salatiga. Setelah dikumpulkan sampel dipotong kecil untuk dikeringkan pada suhu 50°C sampai massa konstan diperoleh. Sampel kemudian dihaluskan dengan grinder dan disimpan dalam plastik dengan *sealer*. Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah aquades, NaOH, asam dan sulfat dengan grade *pro analysis* yang diperoleh dari Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan mulai bulan Agustus 2023 sampai dengan bulan Januari 2024 di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana.

Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi NaOH dalam proses pretreatment. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah yield, kandungan senyawa larut air, kandungan hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Variable terkontrol dalam penelitian ini adalah sumber bahan, rasio sampel dan larutan alkali, lama perlakuan dan suhu perlakuan.

Perlakuan Alkali Encer

Sebanyak 5 gram sampel dimasukkan dalam botol 250 ml dan ditambah 120 ml NaOH dengan konsentrasi 1,5 dan 3 %. Sampel diaduk secara manual setiap 10 menit selama satu jam pada suhu ruang. Sampel kemudian dipanaskan pada suhu 100 °C selama 2 jam. Sampel kemudian didinginkan dan disaring. Biomasa kemudian dicuci dengan aquades sampai netral. Kemudian dikeringkan pada suhu 60 °C. Yield biomasa dinyatakan berdasarkan persen massa berdasarkan persamaan (1).

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{massa setelah perlakuan}}{\text{massa sebelum perlakuan}} \times 100\% \quad (1)$$

Analisis Komposisi Serat Biomassa

Pengukuran komposisi serat biomassa dilakukan berdasarkan metode Chesson-Datta yang telah dimodifikasi. Sebanyak 1 g sampel (massa a) kemudian direfluks dengan 120 ml akuades pada suhu 100°C selama 1 jam. Biomasa kemudian dipisahkan dengan penyaringan kemudian dibilas sampai netral. Sampel dikeringkan pada suhu 105°C selama 24 jam (massa b). Biomasa kering kemudian direfluks dengan 150 ml H₂SO₄ 0,5M selama 1 jam pada suhu 100°C. Biomasa kemudian dipisahkan dengan penyaringan dan dibilas dengan aquades sampai netral kemudian dikeringkan suhu 105°C selama 24 jam (massa c). Biomasa direndam dalam 10 ml H₂SO₄ 72% selama 4 jam pada suhu 30°C. Biomasa kemudian dipisahkan dengan penyaringan dan dibilas dengan aquades sampai netral kemudian dikeringkan (massa d). Biomasa kemudian diabukan (massa e). Perhitungan komposisi serat dilakukan berdasarkan persamaan (2)-(5).

$$\text{Senyawa larut air panas} = \frac{(a-b)}{a} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Hemiselulosa} = \frac{(b-c)}{a} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{Selulosa} = \frac{(c-d)}{a} \times 100\% \quad (4)$$

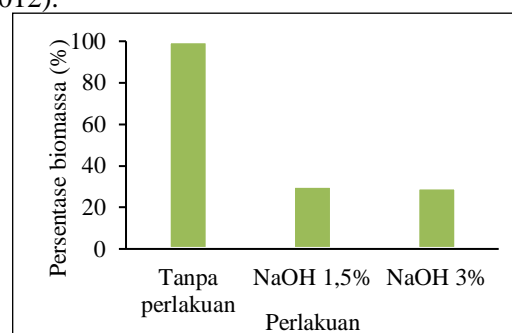
$$\text{Lignin} = \frac{(d-e)}{a} \times 100\% \quad (5)$$

Hasil dan Pembahasan

Yield Biomassa

Persentase biomassa yang diperoleh setelah perlakuan alkali ditunjukkan pada Gambar 1. Persentase biomassa setelah perlakuan alkali 1,5% adalah sebesar 30,28% dan

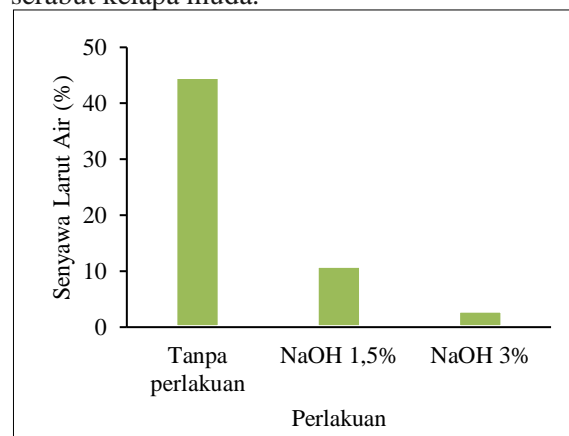
setelah perlakuan alkali 3% sebesar 29,70%. Semakin tinggi konsentrasi alkali yang digunakan dalam proses perlakuan semakin rendah persentase biomassa yang diperoleh sesudah perlakuan alkali. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Haque et al. (2012) yang menggunakan NaOH dengan konsentrasi 0,5-2% sebagai perlakuan pada jerami barley. Hasil menunjukkan persentase biomassa jerami barley setelah perlakuan dengan NaOH 0,5% adalah sebesar 73,5%. Nilai ini turun menjadi 49% untuk perlakuan dengan NaOH 2%. Penurunan persentase biomassa yang diperoleh setelah perlakuan alkali terkait dengan eliminasi komponen dalam biomassa yaitu ekstraktif, hemiselulosa, dan lignin (Q. Li et al., 2012).



Gambar 1. Persentase Biomassa Setelah Perlakuan Alkali

Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Kandungan Senyawa Larut Air

Perlakuan alkali dapat mempengaruhi kandungan senyawa larut air dalam biomassa. Gambar 2. menunjukkan pengaruh perlakuan alkali terhadap kandungan senyawa larut air serabut kelapa muda.



Gambar 2. Persentase Senyawa Larut Air Setelah Perlakuan Alkali

Serabut kelapa muda setelah perlakuan alkali mempunyai senyawa larut air yang lebih rendah dibanding dengan serabut kelapa muda tanpa perlakuan. Serabut kelapa muda mempunyai kandungan senyawa larut air sebesar 45%, setelah perlakuan NaOH 1,5% serabut kelapa muda mempunyai kandungan senyawa larut air sebesar 11%. Kandungan senyawa larut air pada serabut kelapa muda turun ke angka 3% setelah perlakuan NaOH 3%. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yaşar dan İçel (2016) yang menggunakan NaOH dengan konsentrasi 1-5% sebagai perlakuan pada batang kapas. Hasil menunjukkan kandungan senyawa larut air pada batang kapas setelah perlakuan dengan NaOH 1% adalah sebesar 5%. Nilai ini turun menjadi 3% untuk perlakuan dengan NaOH 5%.

Senyawa larut air sering juga disebut dengan ekstraktif. Ekstraktif dapat berupa gula, zat warna, tannin, gum dan pati (Sokanandi et al., 2014). Senyawa ini dapat menghambat pertumbuhan mikroba seperti fungi *Phanerochaete chrysosporium* (Nurhasni et al., 2016). Lebih lanjut Syafii dan Syamsu (2012) menyatakan bahwa senyawa larut air merupakan inhibitor dalam proses konversi hemiselulosa dan selulosa menjadi gula oleh khamir *Saccharomyces cerevisiae*.

Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Kandungan Hemiselulosa, Selulosa, dan Lignin

Perlakuan alkali sering disebut juga dengan proses delignifikasi. Konsentrasi alkali yang digunakan merupakan salah satu faktor penting dalam proses delignifikasi (Cahyanti et al., 2023). Pengaruh perlakuan alkali terhadap kandungan hemiselulosa, selulosa, dan lignin disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Kandungan Hemiselulosa, Selulosa, dan Lignin

Biomassa	Hemiselulosa (%)	Selulosa (%)	Lignin (%)
Tanpa perlakuan	18,29	18,81	17,91
NaOH 1,5%	17,33	49,50	17,91
NaOH 3%	12,87	65,84	17,33

Kandungan hemiselulosa serabut kelapa muda setelah perlakuan basa lebih rendah dibandingkan serabut kelapa muda tanpa perlakuan. Kandungan hemiselulosa serabut kelapa muda tanpa perlakuan adalah sebesar 18,29%. Nilai ini turun seiring naiknya konsentrasi alkali dan mencapai nilai terendah sebesar 12,87% setelah perlakuan dengan NaOH 3%. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan Mustikaningrum et al. (2021) yang menyatakan bahwa kandungan hemiselulosa pada batang kelapa sawit adalah 31,39% dan nilai ini turun menjadi 22,58% setelah perlakuan NaOH pada konsentrasi 5%. Li et al. (2021) menyatakan bahwa ketika biomassa dicampurkan dengan larutan alkali maka terjadi penetrasi larutan alkali ke dalam dinding sel biomassa sekaligus pelarutan hemicellulosa. Lebih lanjut, Lu et al. (2021) menjelaskan bahwa perlakuan alkali memutus ikatan hidrogen yang menghubungkan hemiselulosa dan selulosa serta memutus ikatan ester antara asam ferulat dalam lignin dengan residu gula dalam hemiselulosa.

Kandungan lignin dalam serabut kelapa muda setelah perlakuan NaOH 1,5% cenderung stabil pada angka 17,91% dan mengalami penurunan ke angka 17,23% setelah perlakuan NaOH 3%. Kandungan lignin pada biomassa akan mengalami penurunan setelah perlakuan alkali. Gao et al. (2020) menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi alkali yang digunakan semakin banyak lignin yang terekstrak dari biomassa. Untuk konsentrasi NaOH 1% mampu mengekstrak lignin sebanyak 64% dari *Miscanthus sacchariflorus*. Nilai ini meningkat sampai angka 93% pada penggunaan NaOH 4%.

Berbeda dengan dinamika yang terjadi pada kandungan hemiselulosa dan lignin yang cenderung turun setelah perlakuan alkali, kandungan selulosa cenderung naik setelah perlakuan alkali. Kandungan selulosa pada serabut kelapa muda tanpa perlakuan adalah sebesar 18,81%. Nilai ini naik menjadi 65,84% setelah perlakuan dengan NaOH 3%. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kathirselvam et al. (2019) yang mengamati adanya kenaikan kandungan selulosa pada *Thespesia populnea* setelah perlakuan dengan NaOH 5% selama 60 menit pada suhu 28°C dari 70% ke 76%. Kenaikan kandungan selulosa merupakan konsekuensi logis dari

degradasi hemiselulosa, lignin dan senyawa larut air.

Kesimpulan

Kenaikan kandungan selulosa yang disertai dengan penurunan kandungan senyawa terlarut dalam air, hemiselulosa dan lignin menunjukkan pengaruh positif alkali encer (3%) pada komposisi serat serabut kelapa muda. Kandungan selulosa yang terukur tinggi selanjutnya dapat diproses lebih lanjut untuk berbagai aplikasi.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Satya Wacana yang telah mendukung penelitian ini melalui skema Penelitian DRPM 2023 dengan nomor kontrak penelitian 015/SPK-PW/RIK/6/2023.

Referensi

- Awoyale, A. A., & Lokhat, D. (2021). Experimental determination of the effects of pretreatment on selected Nigerian lignocellulosic biomass in bioethanol production. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78105-8>
- Barman, D. N., Haque, M. A., Hossain, M. M., Paul, S. K., & Yun, H. D. (2020). Deconstruction of Pine Wood (*Pinus sylvestris*) Recalcitrant Structure Using Alkali Treatment for Enhancing Enzymatic Saccharification Evaluated by Congo Red. *Waste and Biomass Valorization*, *11*(5), 1755–1764. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00547-z>
- Budianto, A., Kusdarini, E., Mangkurat, W., Nurdiana, E., & Asri, N. P. (2021). Activated Carbon Producing from Young Coconut Coir and Shells to Meet Activated Carbon Needs in Water Purification Process. *Journal of Physics: Conference Series*, *2117*(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2117/1/012040>
- Cahyanti, M. N., Shanmugam, S., & Kikas, T. (2023). Synergistic Effects of Torrefaction and Alkaline Pretreatment on Sugar and Bioethanol Production from Wood Waste. *Energies*, *16*(22). <https://doi.org/10.3390/en16227606>
- Fajriutami, T., Fatriasari, W., Euis, D., Pusat, H., & Biomaterial, P. (2016). Pengaruh Pra Perlakuan Basa Pada Ampas Tebu Terhadap Karakterisasi Pulp Dan Produksi Gula Pereduksi. *Jurnal Riset Industri*, *10*(3), 147–161.
- Gao, F., Yang, F., De, Y., Tao, Y., Ta, N., & Wang, H. (2020). Dilute Alkali Pretreatment and Subsequent Enzymatic Hydrolysis of Amur Silvergrass for Ethanol Production. *BioResources*, *15*(3), 4823–4834. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15376/biores.15.3.4823-4834>
- Haq, I. U., Qaisar, K., Nawaz, A., Akram, F., Mukhtar, H., Zohu, X., Xu, Y., Mumtaz, M. W., Rashid, U., Ghani, W. A. W. A. K., & Choong, T. S. Y. (2021). Advances in valorization of lignocellulosic biomass towards energy generation. *Catalysts*, *11*(3), 1–26. <https://doi.org/10.3390/catal11030309>
- Haque, M. A., Barman, D. N., Kang, T. H., Kim, M. K., Kim, J., Kim, H., & Yun, H. D. (2012). Effect of dilute alkali on structural features and enzymatic hydrolysis of barley straw (*Hordeum vulgare*) at boiling temperature with low residence time. In *Journal of Microbiology and Biotechnology* (Vol. 22, Issue 12, pp. 1681–1691). <https://doi.org/10.4014/jmb.1206.06058>
- Kataria, R., Ruhel, R., Babu, R., & Ghosh, S. (2013). Saccharification of alkali treated biomass of Kans grass contributes higher sugar in contrast to acid treated biomass. *Chemical Engineering Journal*, *230*, 36–47. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.06.045>
- Kathirselvam, M., Kumaravel, A., Arthanarieswaran, V. P., & Saravanakumar, S. S. (2019). Characterization of cellulose fibers in *Thespesia populnea* barks: Influence of alkali treatment. *Carbohydrate Polymers*, *217*(February), 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.063>

- Keshav, P. K., Banoth, C., Kethavath, S. N., & Bhukya, B. (2023). Lignocellulosic ethanol production from cotton stalk: an overview on pretreatment, saccharification and fermentation methods for improved bioconversion process. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(6), 4477–4493. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01468-z>
- Klunklin, W., Hinmo, S., Thipchai, P., & Rachtanapun, P. (2023). Effect of Bleaching Processes on Physicochemical and Functional Properties of Cellulose and Carboxymethyl Cellulose from Young and Mature Coconut Coir. *Polymers*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/polym15163376>
- Li, J., Liu, Z., Feng, C., Liu, X., Qin, F., Liang, C., Bian, H., Qin, C., & Yao, S. (2021). Green, efficient extraction of bamboo hemicellulose using freeze-thaw assisted alkali treatment. *Bioresource Technology*, 333. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125107>
- Li, Q., Gao, Y., Wang, H., Li, B., Liu, C., Yu, G., & Mu, X. (2012). Comparison of different alkali-based pretreatments of corn stover for improving enzymatic saccharification. *Bioresource Technology*, 125, 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.095>
- Lu, Y., He, Q., Fan, G., Cheng, Q., & Song, G. (2021). Extraction and modification of hemicellulose from lignocellulosic biomass: A review. In *Green Processing and Synthesis* (Vol. 10, Issue 1, pp. 779–804). De Gruyter Open Ltd. <https://doi.org/10.1515/gps-2021-0065>
- Lubis, K., Hermanto, E. (2020). Pembuatan Genteng Beton Serat Dengan Bahan Tambah Serat Serabut Kelapa Dan Styrofoam. *Cetak) Buletin Utama Teknik*, 15(2), 1410–4520.
- Mediaperkebunan. (2022). Program Pengembangan Kelapa Tahun 2022 12.570 Ha. In [Http://Mediaperkebunan.Id/](http://Mediaperkebunan.Id/).
- Mustikaningrum, M., Cahyono, R. B., & Yuliansyah, A. T. (2021). Effect of NaOH Concentration in Alkaline Treatment Process for Producing Nano Crystal Cellulose-Based Biosorbent for Methylene Blue. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012005>
- Novianto, N., Effendy, I., & Aminurohman, A. (2020). Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi (*Brassica juncea* L.) Terhadap Pupuk Organik Cair Hasil Fermentasi Sabut Kelapa. *Agroteknika*, 3(1), 35–41. <https://doi.org/10.32530/agroteknika.v3i1.67>
- Nurhasni, N., Larasati, T. R. D., & Iksan, A. (2016). Delignification of Sawdust White Teak (*Gmelina arborea* Roxb.) by Fungi *Phanerochaete chrysosporium* Irradiated Gamma Ray. *Jurnal Kimia VALENSI*, 0(0). <https://doi.org/10.15408/jkv.v0i0.3079>
- Pinto, E., Aggrey, W. N., Boakye, P., Amenuvor, G., Sokama-Neuyam, Y. A., Fokuo, M. K., Karimaie, H., Sarkodie, K., Adenutsi, C. D., Erzuah, S., & Rockson, M. A. D. (2022). Cellulose processing from biomass and its derivatization into carboxymethylcellulose: A review. *Scientific African*, 15, e01078. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01078>
- Prasertcharoensuk, P., Bull, S. J., & Phan, A. N. (2019). Gasification of waste biomass for hydrogen production: Effects of pyrolysis parameters. *Renewable Energy*, 143, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.009>
- Putri Ayu, D., Rahmadhani Putri, E., Rohmanniatul Izza, P., & Nurkhamamah, Z. (2021). Pengolahan Limbah Serabut Kelapa Menjadi Media Tanam. *Jurnal Praksis Dan Dedikasi (JPDS)*, 4(2), 93–100. <http://dx.doi.org/10.17977/um032v4i2p93-100>
- Rogoski, W., Pereira, G., Cesca, K., Oliveira, D., & De Andrade, C. J. (2023). An Overview on Pretreatments for the Production of Cassava Peels-based Xyloligosaccharides: State of Art and Challenges. *Waste and Biomass Valorization*, 14, 3. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02044-4>
- Sarumaha, G. E., & Muchtar, Z. (2022). Synthesis and Characterization of α -Cellulose from Young Coconut Coir

- (Cocos nucifera L.). *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 5(1), 28.
<https://doi.org/10.24114/ijcst.v5i1.33143>
- Shankaran, D. R. (2018). Chapter 14 - Cellulose Nanocrystals for Health Care Applications. In S. Mohan Bhagyaraj, O. S. Oluwafemi, N. Kalarikkal, & S. B. T.-A. of N. Thomas (Eds.), *Micro and Nano Technologies* (pp. 415–459). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101971-9.00015-6>
- Sokanandi, A., Pari, G., Setiawan, D., & Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan Jl Gunung Batu, P. (2014). 32(3), 209–220.
<http://dx.doi.org/10.20886/jpjh.2014.32.3.209-220>
- Song, K., Zhu, X., Zhu, W., & Li, X. (2019). Preparation and characterization of cellulose nanocrystal extracted from Calotropis procera biomass. *Bioresources and Bioprocessing*, 6(1).
<https://doi.org/10.1186/s40643-019-0279-z>
- Subiyanto. (2000). Prospek Industri Pengolahan Limbah Sabut Kelapa. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 1(1), 1–9.
- Syafii, W., & Syamsu, K. (2012, December 6). Produktivitas Bioetanol dari Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria*) dengan Perlakuan Enzimatis. *Seminar Nasional Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia XV*. Makasar.
- Vardhini, K. J. V, Murugan, R., & Rathinamoorthy, & R. (2019). Effect of alkali treatment on physical properties of banana fibre. In *Indian Journal of Fibre & Textile Research* (Vol. 44).
<http://op.niscpr.res.in/index.php/IJFTR/article/view/20584>
- Yaşar, S., & İçel, B. (2016). Alkali Modification of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Stalks and its Effect on Properties of Produced Particleboards. *Bioresources*, 11(3), 7191–7204.
<http://dx.doi.org/10.15376/biores.11.3.7191-7204>