

Efektivitas Delignifikasi Limbah Mesokarp Kelapa Sawit untuk Meningkatkan Potensi Selulosa

Rizka Ayu Yuniar*, Esty Purwati, Borneo Bayu Samudera, Jefri Pandu Hidayat

Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan

*Koresponden email: rizka.ayu@lecturer.itk.ac.id

Diterima: 1 November 2024

Disetujui: 11 November 2024

Abstract

Biomass-based products are increasingly being used in industrial applications, but these innovations require efficient pretreatment to standardise the raw materials. In this study, the characteristics of oil palm mesocarp fibres after alkali processing were evaluated. The process consisted of two stages: delignification and bleaching. The organosolv extraction method was used to increase the efficiency of delignification during the bleaching stage. The mesocarp fibres were analysed using the kappa number test, scanning electron microscopy and Fourier transform infrared spectroscopy. A decrease in kappa number was observed, indicating a lower lignin content in the mesocarp samples. The FTIR spectrum showed a decrease in the peak intensity of C=C bonds in lignin at wavelengths of 1400-1500 cm^{-1} . Structural changes in fibre morphology after delignification and bleaching were observed, indicating that lignin had been successfully extracted from the mesocarp fibres. Optimal conditions for kappa number reduction were obtained at a NaOH concentration of 1 M, a delignification time of 4 h and a NaOCl volume of 280 ml (28 ml/g).

Keywords: *mesocarp, delignification, cellulose, lignin, kappa number*

Abstrak

Produk berbasis biomassa sedang menjadi tren yang semakin berkembang dalam aplikasi di industri, namun inovasi ini memerlukan perlakuan awal yang efisien untuk mendapatkan bahan baku yang sesuai. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik serat mesokarp kelapa sawit yang telah melalui tahap alkali proses. Proses ini terdiri dari dua tahapan yaitu proses delignifikasi dan pemucatan (*bleaching*). Metode ekstraksi delignifikasi menggunakan alkali bertujuan untuk meningkatkan efektivitas delignifikasi selama tahap pemutihan. Serat mesokarp dikarakterisasi berdasarkan uji kappa number, scanning mikroskop elektron, dan spektroskopi inframerah transformasi Fourier. Kombinasi dua tahapan ini menghasilkan kandungan bilangan kappa yang rendah dimana menunjukkan kandungan lignin yang rendah pada sampel mesokarp. Spektrum FTIR menunjukkan bahwa intensitas puncak C=C yang terkandung pada lignin berada panjang gelombang 1400-1500 cm^{-1} menurun dari mesokarp. Morfologi setelah proses delignifikasi dan bleaching mengalami perombakan struktur yang mengindikasikan bahwa lignin telah terekstrak dari serat mesokarp. Hasil menunjukkan bahwa kondisi yang optimal untuk menurunkan kappa number adalah pada konsentrasi NaOH 1 M dengan waktu delignifikasi selama 4 jam dengan volume NaOCl sebanyak 280 ml (28 ml/gr).

Kata Kunci: *mesokarp, delignifikasi, selulosa, lignin, kappa number*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara produsen kelapa sawit terbesar di Asia Tenggara, yang menghasilkan minyak sawit dalam jumlah besar setiap tahunnya. Seiring dengan meningkatnya produksi ini, limbah kelapa sawit, juga turut bertambah secara signifikan. Limbah padat yang dihasilkan oleh industri Crude Palm Oil (CPO) terdiri dari pengolahan buah kelapa sawit. Limbah padat yang dihasilkan meliputi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), cangkang kelapa sawit, serat mesokarp, limbah POME. Limbah cair pada pengolahan kelapa sawit didominasi oleh POME yang kaya akan bahan organik yang jika tidak diolah dengan baik akan sangat membahayakan lingkungan. Namun limbah POME dapat dimanfaatkan sebagai biogas melalui proses *digestion* secara anaerob [1]. Tandan kosong merupakan limbah biomassa yang mendominasi dari hasil pengolahan. TKKS dapat digunakan kembali untuk berbagai aplikasi seperti bahan baku produksi bioetanol dan sebagai pakan ternak [2]. Limbah padatan lainnya adalah cangkang kelapa sawit, yang memiliki tekstur keras dan dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar biomassa sebagai bahan bakar boiler [3] atau dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif [4]. Serat fiber kelapa sawit atau lebih dikenal dengan istilah mesokarp merupakan limbah padat yang biasanya

dimanfaatkan oleh perusahaan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi pada tungku boiler atau dapat dimanfaatkan sebagai komposit [5].

Dalam produksi setiap 1 metrik ton kelapa sawit akan menghasilkan limbah biomassa kering sebesar 4 ton, dimana sebesar 12% terdiri dari mesokarp kelapa sawit. Berbeda dengan TKKS yang banyak dimanfaatkan sebagai komposit batu bata semen [6], bahan baku kemasan [7] dan aplikasi adsorben logam berat [8]. Sebagai sumber selulosa, mesokarp kelapa sawit memiliki potensi sebagai bahan baku alternatif untuk berbagai aplikasi. Saat ini, mesokarp umumnya hanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler atau bahkan dibakar begitu saja, yang berpotensi menimbulkan polusi lingkungan. Mesokarp sendiri terdiri dari sebagai sumber biomassa karena memiliki kadar selulosa yang tinggi. Kandungan selulosa pada mesokarp sebesar 43 %, hemiselulosa 33% dan lignin 22 % [9]

Selulosa merupakan polimer alami yang tidak memiliki cabang dan terdiri dari unit glukosa yang berulang ($C_6H_{10}O_5$) [10]. Polimer yang mudah terdegradasi secara alami ini banyak ditemukan di alam dalam bentuk dinding sel kayu. Sumber serat pulp selulosa biasanya diperoleh dari berbagai tanaman yang memiliki struktur *hardwood* ataupun *softwood*. Lignin merupakan bagian memperkuat struktur bagian kayu, menjadi perekat antar sel sehingga menjadi lebih kokoh. Selulosa dan lignin saling melekat dan berikatan langsung, struktur selulosa di lindungi oleh lignin. Ikatan yang terbentuk lignin terdiri dari rantai C-O-C dan ikatan tunggal C-C. Antara *hardwood* dan *softwood* akan membentuk struktur β -O-4 [11].

Terdapat berbagai metode untuk menghilangkan lignin, yang masing-masing memiliki tingkat efektifitas yang berbeda-beda, bergantung pada jenis biomassa yang akan di proses [12]. Metode alkali adalah metode yang paling umum digunakan dalam menghilangkan lignin yang melekat pada selulosa. Hal ini dikarenakan kemampuannya dalam memutuskan ikatan antara lignin dan hemiselulosa sehingga cara ini sangat efektif untuk dilakukan. Proses delignifikasi menjadi langkah penting untuk meningkatkan potensi selulosa mesokarp dengan menghilangkan lignin, komponen utama yang menghambat efektivitas selulosa sebagai adsorben. Perlakuan kimia ini berperan dalam merombak struktur lignin, sehingga meningkatkan paparan selulosa dan memperbaiki sifat adsorpsinya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan metode delignifikasi pada mesokarp kelapa sawit guna memperoleh pulp selulosa dengan kadar lignin yang rendah. Fokus utama penelitian ini adalah penggunaan natrium hipoklorit (NaOCl) sebagai agen pemutih (*bleaching*), yang berperan dalam menurunkan kadar lignin dengan mengevaluasi parameter waktu dan volume yang digunakan selama proses *bleaching*. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat meningkatkan nilai guna mesokarp kelapa sawit, sehingga dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi.

2. Metode Penelitian

Bahan

Mesokarp merupakan bagian dari buah kelapa sawit yang diperoleh dari PT Waru Kalimantan Timur Plantation, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan timur. Mesokarp berbentuk serat kasar berwarna coklat kehitaman yang digunakan sebagai bahan utama sumber selulosa yang akan di delignifikasi terlebih dahulu. Bahan kimia yang digunakan antara lain Natrium Hidroksida (NaOH), Natrium Hipoklorit (NaOCl), Kalium Permanganat ($KMnO_4$), Asam Sulfat (H_2SO_4) 98 %, Kalium Iodida (KI), Natrium Thiosulfat Pentahydrat ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$), Indikator amilum dan Etanol 96 % (C_2H_6O), semua bahan kimia yang digunakan diperoleh dari UD Sumber Ilmiah Persada (SIP) Surabaya serta tidak melalui tahap purifikasi.

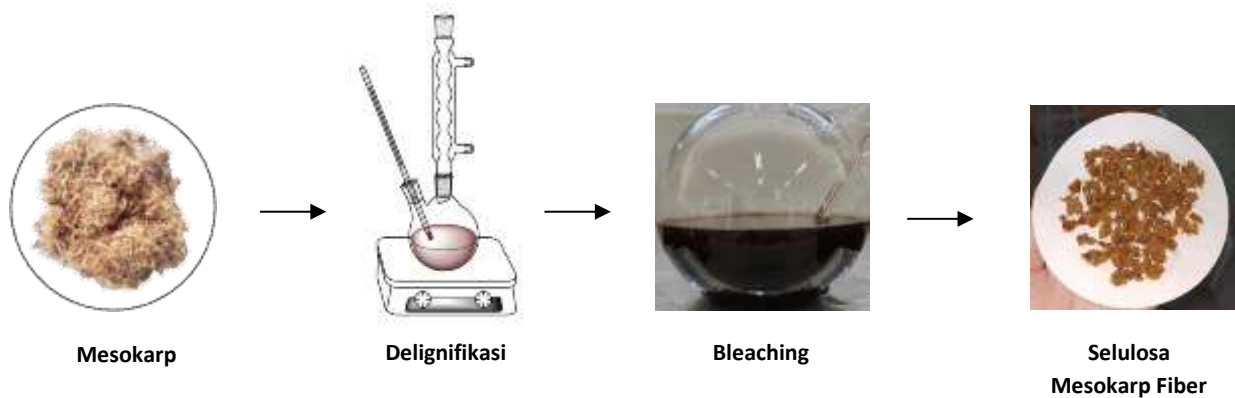
Preparasi Bahan Baku

Mesokarp kelapa sawit dibersihkan dengan air untuk menghilangkan pengotor lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80 °C hingga beratnya konstan. Selanjutnya mesokarp di dihaluskan menggunakan blender dan grinding lalu di ayak agar ukuran seratnya homogen menggunakan ayakan berukuran 100 mesh.

Proses Delignifikasi

Proses delignifikasi memiliki dua tahapan utama yaitu pemasakan dengan metode refluks dan *bleaching*. Mesokarp ditimbang sebanyak 10 gram lalu dimasukkan ke dalam labu leher 2 *flat bottom* 500 ml dan ditambahkan pelarut berupa NaOH 1 M sebanyak 200 ml. Kondisi operasi delignifikasi pada suhu 80 °C dan pengadukan 1000 rpm. Waktu delignifikasi di variasikan yaitu 120,180 dan 240 menit. Setelah itu sampel disaring dan dicuci menggunakan aquadest hingga filtrat berwarna bening dan mencapai pH 7. Selanjutnya sampel di *bleaching* menggunakan NaOCl 0,4% dengan variasi volume 70, 140, dan 280 ml volume *bleaching* per 10 gram sampel. Setelah di *bleaching* sampel disaring dan dicuci kembali

menggunakan aquadest hingga filtrat berwarna bening dan mencapai pH 7. Sampel selanjutnya dikeringkan dengan oven pada suhu 80 °C.



Gambar 1. Skema Penelitian Delignifikasi Mesokarp

Karakterisasi

Uji kappa number dilakukan untuk mengetahui kandungan lignin yang tersisa dalam pulp selulosa mesocarp. Pengujian dilakukan pada sampel setelah proses delignifikasi dan bleaching, sesuai dengan standar SNI 14-0494-1989. Sebanyak 1 gram sampel dimasukkan ke dalam gelas ukur, ditambahkan 70 ml aquadest dan didispersikan dengan magnetic stirrer hingga serat terurai. Kalium Permanganat (KMnO₄) 0,1 N dan Asam Sulfat (H₂SO₄) 4 N masing-masing 50 ml dimasukkan ke dalam gelas beker berisi pulp, lalu diaduk dengan magnetic stirrer selama 10 menit. Selanjutnya, larutan KI 1 N sebanyak 10 ml ditambahkan ke dalam campuran untuk menghentikan reaksi. Sebelum titrasi, indikator amilum ditambahkan, kemudian larutan dititrasi dengan Na₂S₂O₃.5H₂O 0,2 N hingga larutan berubah warna menjadi bening. Volume titran yang diperlukan digunakan untuk perhitungan nilai kappa number sesuai dengan persamaan (1).

$$K = \frac{Vb - Vp}{w} \times d \dots\dots (1)$$

Dimana,

$$d = 10^{(0.00093 \times \frac{Vb - Vp}{0.3 - 50})} \dots\dots (2)$$

Keterangan :

- K* : Bilangan Kappa
- Vb* : Volume titrasi blanko (ml)
- Vp* : Volume titrasi sampel (ml)
- w* : Berat kering sampel (gr)
- d* : Faktor koreksi

Karakterisasi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi selulosa yang dihasilkan dari proses delignifikasi. Analisa FTIR dilakukan untuk raw material dan sampel dengan variable waktu delignifikasi, untuk mengetahui pengaruh waktu terhadap kandungan lignin yang tersisa didalam pulp. Analisa ini menggunakan penyerapan Panjang gelombang Cahaya infrared. Morfologi pada sampel selulosa mesokarp fiber dikarakterisasi menggunakan *Scanning Elektron Microscope* (SEM) pada perbesaran tertentu. Pengujian ini menganalisis gambar yang di ambil dar serat mesokarp dan parameter fisik seperti panjang serat, lebar serat dan penyusutan pada sampel. Analisa SEM dan FTIR ini di lakukan dilakukan di Laboratorium Karakterisasi A Institut Teknologi Kalimantan.

3. Hasil dan Pembahasan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efek dari proses delignifikasi terhadap properti kimia dan fisik. Hasil uji kappa number menunjukkan bahwa ketika menggunakan volume NaOCl yang tinggi menghasilkan kappa number yang rendah [13]. Efek volume bleaching secara kimiawi bereaksi mengikat lignin yang tersisa dari proses delignifikasi. Volume bleaching terbaik pada 280 ml dilihat dari kappa number yang dihasilkan.

Tabel 1. Hasil uji kappa number dengan variasi volume bleaching

Waktu (menit)	Volume NaOCl (ml)	Kappa Number
Mesokarp		24,070
120	70	22,478
120	140	22,079
120	280	21,780

Waktu delignifikasi yang lebih lama pada mesokarp kelapa sawit terbukti efektif dalam menurunkan bilangan kappa, yang menyatakan sebagai indikator jumlah lignin residu dalam serat mesokarp. Proses delignifikasi yang berlangsung lebih lama memungkinkan degradasi lignin yang lebih maksimal, sehingga kandungan lignin dalam mesokarp berkurang secara signifikan. **Tabel 2** menunjukkan penurunan bilangan kappa ini menunjukkan bahwa perlakuan delignifikasi berpengaruh langsung terhadap efektivitas penghilangan lignin [14].

Tabel 2. Hasil Uji Kappa Number dengan variasi waktu delignifikasi

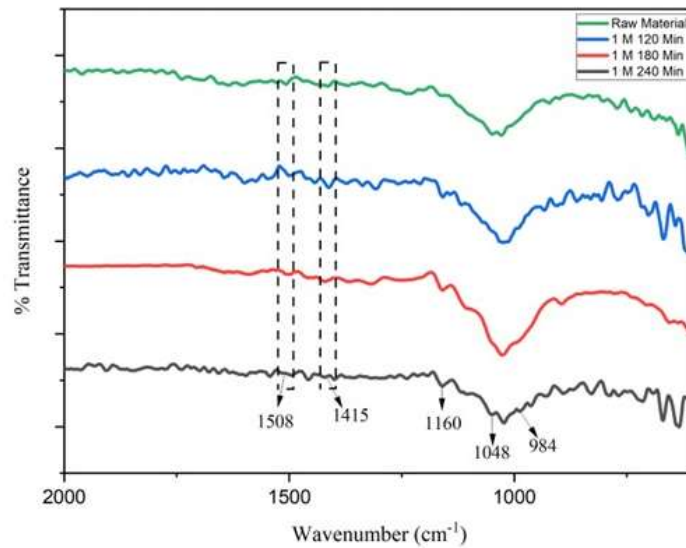
Waktu (menit)	Volume NaOCl (ml)	Kappa Number
Mesokarp		24,070
120	280	21,780
180	280	21,580
240	280	21,380

Pada **Gambar 2** menunjukkan bahwa warna yang berbeda setiap sampel. Adanya penambahan NaOCl sebagai bleaching mengakibatkan degradasi warna. Selain bilangan kappa, parameter fisik yang diamati adalah perubahan warna pada pulp selulosa setelah proses delignifikasi dengan dan tanpa perlakuan NaOCl. Warna serat mesokarp setelah proses delignifikasi menghasilkan warna coklat kemerahan. Hal ini mengindikasikan bahwa lignin pada serat mesokarp terdegradasi kedalam larutan lindi hitam saat proses delignifikasi, karena semakin lama waktu yang dibutuhkan maka lignin akan semakin terdegradasi [15]. Hal ini sesuai ditunjukkan pada **Tabel 2** dimana bilangan kappa semakin menurun maka lignin yang larut semakin tinggi.



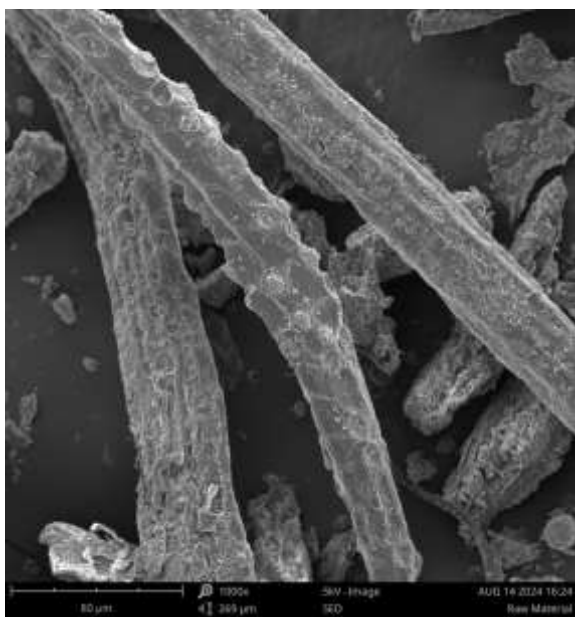
Gambar 2 : (a.) Mesokarp; (b) Mesokarp setelah delignifikasi; (c) Mesokarp setelah bleaching

Untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi pada selulosa mesokarp setelah proses delignifikasi maka diperlukan pengujian FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy). Spektrum FTIR menunjukkan adanya intensitas puncak yang signifikan pada daerah sekitar 1508 dan 1415 cm^{-1} , yang mengindikasikan keberadaan gugus hidroksil (OH). Peningkatan intensitas ini menunjukkan bahwa proses delignifikasi berhasil mengurangi lignin, sehingga gugus OH pada selulosa lebih terekspos. Hal ini menegaskan bahwa penghilangan lignin membuka struktur serat selulosa, meningkatkan ketersediaan situs-situs hidroksil yang berperan penting dalam sifat hidrofilik selulosa yang dihasilkan



Gambar 2. : Hasil Uji FTIR pada mesokarp dan pengaruh waktu delignifikasi

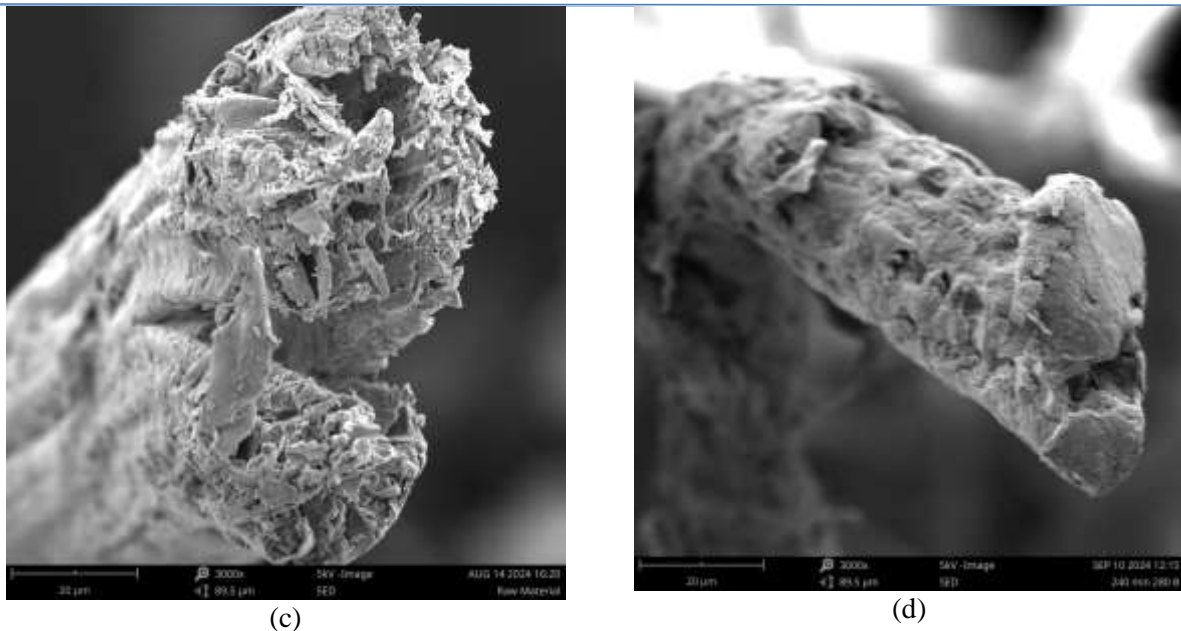
Pengujian morfologi dilakukan untuk mengamati perubahan properti fisik pada selulosa mesokarp yang dihasilkan setelah proses delignifikasi. Berdasarkan hasil analisa SEM, terlihat adanya penyusutan yang signifikan pada struktur selulosa setelah melalui tahap delignifikasi [16]. Gambar 2b dan 2d menunjukkan bahwa penyusutan ini mengindikasikan degradasi jaringan lignoselulosa, yang mengakibatkan penurunan kekuatan dan kerapatan serat pada mesokarp [17]. Proses penghilangan lignin berperan dalam merombak struktur dinding sel, sehingga selulosa yang dihasilkan memiliki morfologi yang lebih sederhana dan cenderung lebih mudah terdegradasi untuk aplikasi selanjutnya.



(a)



(b)



Gambar 3. : Hasil Uji SEM pada perbesaran 1000x (a) Mesokarp (b) Mesokarp setelah delignifikasi; perbesaran 3000x (a) Mesokarp (b) Mesokarp setelah delignifikasi

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa proses delignifikasi menggunakan NaOH efektif dalam menghilangkan lignin dari limbah mesokarp kelapa sawit, sehingga meningkatkan kadar selulosa yang dihasilkan. Delignifikasi juga terbukti meningkatkan potensi selulosa sebagai material adsorben, dengan eksposur gugus hidroksil (OH) yang lebih besar dan peningkatan kemampuan adsorpsi. Dengan demikian, limbah mesokarp kelapa sawit dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber biomassa yang bernilai, menawarkan solusi ramah lingkungan untuk aplikasi industri, terutama dalam pengolahan air limbah. Penelitian ini juga menunjukkan pentingnya optimasi proses delignifikasi untuk mendapatkan selulosa dengan kualitas terbaik sebagai adsorben.

5. Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM) atas dukungan pendanaan melalui hibah penelitian dengan nomor kontrak 037/E5/PG.02.00.PL/2024 yang terlaksananya studi penelitian ini. Pendanaan dari DRTPM telah berperan penting dalam mendukung penyelesaian penelitian mengenai delignifikasi limbah mesokarp kelapa sawit dan potensinya sebagai material adsorben

6. Referensi

- [1] E. T. Awoh, J. Kiplagat, S. K. Kimutai, and A. C. Mecha, "Current trends in palm oil waste management: A comparative review of Cameroon and Malaysia," Nov. 01, 2023, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e21410.
- [2] L. , H. Wicaksono, M. G. Arrahim, and Fadhilah A. R., "Recycling Oil Palm Industry Waste : Sustainable solid Waste Treatment Utilizing Bioconversion Agent," *Journal of Science and Applied Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 51–54, 2022, doi: 10.1016/j.egypro.2013.05.005.
- [3] Mahidin *et al.*, "Analysis of power from palm oil solid waste for biomass power plants: A case study in Aceh Province," *Chemosphere*, vol. 253, p. 126714, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126714>.
- [4] E. Rahmilaila Desfitri, A. Yoga Arifanda, A. Yulianti, and R. Desmiarti, "Studi Efektivitas Pemanfaatan Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) Sebagai Adsorben Pengurangan Kadar Amonia Limbah Cair Tahu Effectivity Study of Palm Shell Activated Charcoal Utilization (*Elaeis guineensis*) as Adsorbent for Reducing Ammonia Concentration in Tofu Liquid Waste," 2024.
- [5] T. Saepoo, S. Sarak, J. Mayakun, T. Eksomtramage, and K. Kaewtatip, "Thermoplastic starch composite with oil palm mesocarp fiber waste and its application as biodegradable seeding pot," *Carbohydr Polym*, vol. 299, p. 120221, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120221>.

- [6] J. H. Ling, Y. T. Lim, W. K. Leong, and H. T. Sia, "Utilization of Oil Palm Empty Fruit Bunch in Cement Bricks," *Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering*, vol. 4, no. 1, p. 1, Apr. 2021, doi: 10.30659/jacee.4.1.1-10.
- [7] L. Indriati, N. Elyani, and S. F. Dina, "Empty fruit bunches, potential fiber source for Indonesian pulp and paper industry," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Dec. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/980/1/012045.
- [8] Sumila, Sumila, Asifa Asri, and Dwiria Wahyuni. "Uji Kinerja Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks) Sebagai Reusable Adsorbent Logam Besi Pada Air Gambut." *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya* 8.2 (2023): 17-22
- [9] T. A. T. Yasim-Anuar, H. Ariffin, M. N. F. Norraahim, and M. A. Hassan, "Factors affecting spinnability of oil palm mesocarp fiber cellulose solution for the production of microfiber," *Bioresources*, vol. 12, no. 1, pp. 715–734, 2017, doi: 10.15376/biores.12.1.715-734.
- [10] A. D. French, "Glucose, not cellobiose, is the repeating unit of cellulose and why that is important," *Cellulose*, vol. 24, no. 11, pp. 4605–4609, 2017, doi: 10.1007/s10570-017-1450-3.
- [11] M. Scott, P. J. Deuss, J. G. De Vries, M. H. G. Prechtel, and K. Barta, "New insights into the catalytic cleavage of the lignin β -O-4 linkage in multifunctional ionic liquid media," *Catal Sci Technol*, vol. 6, no. 6, pp. 1882–1891, 2016, doi: 10.1039/c5cy01554e.
- [12] C. Huang, W. Lin, C. Lai, X. Li, Y. Jin, and Q. Yong, "Coupling the post-extraction process to remove residual lignin and alter the recalcitrant structures for improving the enzymatic digestibility of acid-pretreated bamboo residues," *Bioresour Technol*, vol. 285, p. 121355, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121355>.
- [13] V. R. Seleš, I. Bates, I. Plazonić, and I. Majnarić, "Analysis Of Optical Properties Of Laboratory Papers Made From Straw Pulp And Coated With Titanium Dioxide White Ink," 2020.
- [14] E. Małachowska, M. Dubowik, A. Lipkiewicz, K. Przybysz, and P. Przybysz, "Analysis of cellulose pulp characteristics and processing parameters for efficient paper production," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 17, Sep. 2020, doi: 10.3390/su12177219.
- [15] P. Awal, Y. Sudiyani, H. Abimanyu, Y. Sudiyani, and dan Haznan Abimanyu, "'Optimasi Proses Optimasi Proses Perlakuan Awal NaOH Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk menjadi Bioetanol Optimization of NaOH Alkali Pretreatment of Oil Palm Empty Fruit Bunch for Bioethanol,'" *Terap.Indones*, vol. 18, no. 1, pp. 27–35, 2016, [Online]. Available: <http://kimia.lipi.go.id/inajac/index.php>
- [16] N. Souza *et al.*, "Progress in Organosolv and Steam Explosion Pretreatments of Oil Palm Fibers for Biomacromolecules Extraction," *Journal of Natural Fibers*, vol. 19, pp. 1–15, Nov. 2021, doi: 10.1080/15440478.2021.2002763.
- [17] L. J. Xian, B. J. Geng, W. N. A. W. Nadhari, and L. C. Peng, "Optimal Hypochlorite Bleaching Duration for *Sesbania grandiflora* Pulp," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Dec. 2020. doi: 10.1088/1755-1315/596/1/012011.