

PENGARUH KONSENTRASI NaOH DAN JENIS PELARUT PADA BLEACHING PULP BERBAHAN BAKU JERAMI PADI

N. W. Al Fiqri, K. D. Jenita, M. K. Tarisa, M. Adrian, A.M. Jannah*, M. H. Dahlan

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jalan Palembang - Prabumulih No.KM. 32, Indralaya Indah,
Kec. Indralaya Kabupaten Ogan Ilir Sumatera Selatan.

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

ABSTRAK: Jerami padi merupakan limbah pertanian yang jumlahnya melimpah Sumatera Selatan. Kandungan selulosa yang besar pada jerami padi menjadikannya potensi besar sebagai bahan baku pada produksi pulp. Jerami padi memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi. Selulosa merupakan material utama yang digunakan pada pembuatan pulp. Namun kandungan lignin yang terdapat pada jerami padi harus didelignifikasikan karena dapat menghambat proses pulping. Proses delignifikasi dilakukan dengan bantuan Natrium Hidroksida (NaOH). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh konsentrasi NaOH pada delignifikasi jerami padi sehingga mampu mengkonsentratkan selulosa serta mengkaji pengaruh Hidrogen peroksida (H_2O_2) dan natrium hipoklorit (NaOCl) pada proses bleaching pulp. Dari hasil penelitian didapatkan, penggunaan NaOH pada proses delignifikasi dengan konsentrasi 10% menghasilkan pulp yang lebih baik dibandingkan konsentrasi 5%. Pada proses bleaching menggunakan 5,25% NaOCl dengan dua kali tahapan menunjukkan hasil yang lebih signifikan dalam menghilangkan warna alami jerami dibandingkan penggunaan H_2O_2 . Secara fisik tampakan pulp yang dihasilkan dengan penggunaan 5,25% NaOCl lebih putih dibandingkan sampel lainnya.

Kata Kunci: Jerami Padi, delignification, bleaching, pulp.

ABSTRACT: Rice straw is an abundant agricultural residue found in South Sumatra. Its substantial cellulose content positions it as a highly promising raw material for pulp manufacturing. As cellulose constitutes the primary component essential for pulp production, the presence of significant amounts in rice straw highlights its potential value. However, the lignin fraction within rice straw must be effectively removed through a delignification process, as lignin impedes the efficiency of pulping. Sodium hydroxide (NaOH) is the chemical agent typically employed to facilitate this delignification. This study aims to investigate the influence of varying NaOH concentrations on the delignification efficiency of rice straw to enhance cellulose enrichment, alongside assessing the comparative effects of hydrogen peroxide (H_2O_2) and sodium hypochlorite (NaOCl) during the pulp bleaching stage. Experimental results indicate that a 10% concentration of NaOH yields superior delignification performance relative to a 5% concentration. Furthermore, implementing bleaching with 5.25% NaOCl in a two-stage process demonstrates a more effective removal of the inherent coloration of rice straw compared to bleaching with H_2O_2 . Visually, pulp subjected to 5.25% NaOCl bleaching exhibits a notably higher whiteness than samples treated with alternative bleaching agents.

Keywords: Rice straw, delignification, bleaching, pulp.

1 Pendahuluan

Jerami padi merupakan limbah pertanian yang jumlahnya melimpah di Indonesia, khususnya di daerah penghasil padi seperti Sumatera Selatan [1]–[3]. Setiap musim panen, sebagian besar jerami hanya dibakar di lahan, sehingga menimbulkan pencemaran udara dan pemborosan sumber daya lignoselulosa yang sebenarnya bernilai tinggi [4]. Jerami padi mengandung selulosa,

hemiselulosa, dan lignin dalam jumlah besar, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif dalam industri pulp dan kertas [5], [6]. Pemanfaatan jerami padi tidak hanya dapat mengurangi ketergantungan terhadap kayu, tetapi juga menjadi langkah nyata dalam mendukung konsep ekonomi sirkular dan keberlanjutan lingkungan. Dalam pembuatan pulp, proses delignifikasi menjadi tahap utama yang bertujuan untuk memisahkan lignin dari selulosa [7]. Salah satu metode yang umum

digunakan adalah proses *alkaline pulping* menggunakan larutan NaOH. Reaksi alkalis ini mampu memutus ikatan lignin dan hemiselulosa, menghasilkan pulp yang lebih kaya selulosa [8], [9]. Efektivitas proses dipengaruhi oleh konsentrasi NaOH, waktu reaksi, serta suhu pemasakan. Namun, penggunaan konsentrasi basa yang terlalu rendah dapat menyebabkan delignifikasi tidak sempurna, sedangkan konsentrasi yang terlalu tinggi dapat merusak struktur serat selulosa [10]. Tahap selanjutnya adalah proses bleaching atau pemutihan, yang bertujuan untuk menghilangkan sisa lignin agar pulp memiliki warna lebih cerah. Agen pemutih yang sering digunakan antara lain H_2O_2 dan NaOCl. Hidrogen peroksida dikenal lebih ramah lingkungan, tetapi daya oksidasinya relatif lemah, sedangkan NaOCl memiliki kemampuan oksidatif yang lebih kuat namun dapat menyebabkan degradasi serat apabila tidak dikendalikan dengan baik. Oleh karena itu, kombinasi konsentrasi basa dan jenis bahan pemutih menjadi faktor penting dalam menentukan kualitas akhir. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh variasi konsentrasi larutan NaOH (5% dan 10%) dan jenis bahan pemutih (3% H_2O_2 dan 5,25%NaOCl) terhadap karakteristik fisik pulp yang dihasilkan dari jerami padi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kondisi proses yang paling efektif dalam menghasilkan pulp dengan warna cerah, tekstur serat baik, dan potensi penerapan yang ramah lingkungan.

2 Metodologi Penelitian

2.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan baku berupa jerami padi sebanyak 150 g dikeringkan di bawah sinar matahari untuk mengurangi kadar air. Setelah kering, jerami digiling menggunakan blender hingga berbentuk serbuk halus. Sampel serbuk kemudian diayak menggunakan ayakan berukuran 20 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam.

2.2 Pulping

Sebanyak 150 g jerami padi kering dimasukkan ke dalam panci dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 40 menit dalam 1500 mL larutan NaOH dengan dua variasi konsentrasi, yaitu 5% dan 10%, kemudian diaduk secara berkala agar proses delignifikasi berlangsung merata. Setelah proses delignifikasi selesai, campuran dibilas dan disaring untuk memisahkan pulp dari black liquor dengan aquadest hingga pH mendekati netral (pH 7). Selanjutnya,

pulp dikeringkan di dalam oven dengan 150°C selama 1 jam.

2.3 Bleaching

Pulp dimasukkan ke dalam larutan pemutih sesuai jenis perlakuan, yaitu larutan H_2O_2 3% untuk sampel 1 dan larutan NaOCl 5,25% untuk sampel 2 serta sampel 3, dengan volume larutan sebanyak 500 mL untuk setiap sampel. Proses bleaching dilakukan pada suhu 90°C selama 30 menit. Setelah selesai, pulp disaring dan dicuci dengan aquadest hingga bersih. Proses bleaching diulang beberapa kali sesuai perlakuan, yaitu tiga kali untuk sampel 1 dan sampel 2, serta dua kali untuk sampel 3, dengan menggunakan larutan baru sebanyak 500 mL pada setiap tahap. Setelah tahap bleaching terakhir, pulp disaring dan diperas untuk mengurangi kadar air. Pulp kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 100°C selama 5 jam hingga diperoleh pulp kering sebagai hasil akhir.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Proses Delignifikasi

Pada proses delignifikasi, konsentrasi NaOH memberikan pengaruh signifikan terhadap tingkat delignifikasi jerami padi. Pada perlakuan dengan konsentrasi 2% (Sampel 1), proses pelarutan lignin tidak berlangsung sempurna. Pulp yang dihasilkan berwarna kuning dengan tekstur serat kasar dan tidak homogen. Hal ini menunjukkan bahwa basa dengan konsentrasi rendah tidak mampu memutus ikatan lignoselulosa secara menyeluruh sehingga sebagian lignin masih melekat pada serat selulosa. Sisa lignin tersebut menyebabkan warna kekuningan pada pulp. Sebaliknya, penggunaan NaOH 10% (Sampel 2 dan 3) memperlihatkan kemampuan delignifikasi yang lebih efektif. Peningkatan konsentrasi basa membantu mempercepat proses pelarutan lignin dan hemiselulosa, menghasilkan pulp dengan warna lebih cerah dan serat lebih halus. Namun, konsentrasi NaOH yang terlalu tinggi juga berpotensi menurunkan kualitas karena bisa menyebabkan kerusakan pada struktur serat dan penurunan rendemen pulp karena degradasi komponen polisakarida.

Mekanisme kimia dalam delignifikasi dengan NaOH melibatkan serangan ion hidroksil (OH^-) pada gugus ester dan ikatan lignin, menyebabkan pemutusan ikatan lignin

antar molekul dan pelepasan lignin dalam bentuk larutan natrium lignosulfonat [11]. Ion OH^- ini mampu memutus ikatan silang tersebut, sehingga struktur lignoselulosa menjadi terurai dan lignin dapat terlarut dalam larutan alkali. Selain itu, proses saponifikasi gugus ester oleh OH^- memecah ikatan kimia lignin-hemiselulosa menjadi bentuk garam natrium lignosulfonat yang larut, memudahkan lignin terpisah dari serat selulosa. Ion Na^+ berperan dalam pembentukan garam natrium fenolat dari gugus fenolik lignin, yang meningkatkan kelarutan lignin dan memudahkan pemisahannya selama proses pencucian [12]. Reaksi ini juga menyebabkan fragmentasi struktur polimer lignin, sehingga lignin terpecah menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dan dapat hilang sebagai residu cair [13]. Meskipun NaOH terutama menargetkan lignin, proses alkali ini juga mengakibatkan sebagian solubilisasi hemiselulosa, sementara selulosa relatif lebih tahan terhadap degradasi alkali. Proses ini juga dibantu dengan adanya suhu pemanasan yang memudahkan penetrasi alkali dan mempercepat reaksi kimia karena memaksimalkan kontak antara larutan alkali dan bahan baku sehingga mempercepat pelepasan lignin [14].

Perubahan struktur lignin yang terlarut pada berbagai konsentrasi NaOH menunjukkan dinamika yang berbeda yang sangat dipengaruhi oleh tingkatan reaktivitas alkali dalam proses delignifikasi [15]. Studi yang dilakukan pada serbuk bambu dan biomassa lignoselulosa lainnya mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH berbanding lurus dengan peningkatan kadar lignin terurai, di mana pada konsentrasi rendah (sekitar 2%) tingkat delignifikasi relatif kecil dengan sebagian lignin masih tersisa dalam struktur biomassa [16]. Pada konsentrasi ini, NaOH hanya cukup memutus sebagian ikatan ester dan eter dalam lignin, sehingga lignin yang terlarut terdiri dari fragmen-fragmen besar dan rantai polimer masih cukup panjang [17]. Ketika konsentrasi NaOH meningkat ke kisaran 4% sampai 6%, terjadi penguraian lignin yang jauh lebih signifikan dengan pecahan lignin yang terlarut menunjukkan fragmen lebih kecil dan terdispersi. Ini menunjukkan bahwa reaksi saponifikasi dan pembentukan natrium fenolat lebih efektif pada konsentrasi tersebut, yang mengakibatkan pemecahan struktur lignin menjadi komponen-komponen monomer dan oligomer [18]. Konsentrasi optimal pada rentang ini sering dicapai dalam praktik industri karena memberikan tingkat delignifikasi maksimal tanpa menyebabkan degradasi berlebihan pada selulosa dan hemiselulosa.

Pada konsentrasi NaOH yang sangat tinggi (10%), proses delignifikasi cenderung mencapai titik jenuh dimana penambahan alkali tidak lagi memberikan peningkatan signifikan dalam persen lignin yang terlarut. Pada kondisi ini, lignin yang terlarut sudah sangat terfragmentasi menjadi molekul kecil dan sebagian besar telah berpindah ke fase larutan. Dari segi kimiawi, peningkatan konsentrasi NaOH memicu pemecahan ikatan kimia kompleks dengan lebih intensif, memisahkan lignin menjadi senyawa fenolik yang lebih polar dan larut dalam larutan basa [13], [19], [20]. Struktur lignin yang larut pada konsentrasi tinggi umumnya memiliki derajat polimerisasi yang rendah dan gugus hidroksil yang lebih banyak, yang meningkatkan kelarutan dalam air dan larutan alkali [21].

3.2 Pengaruh Jenis Bahan Pemutih terhadap Warna dan Kualitas Pulp

Jenis agen pemutih memberikan kontribusi penting terhadap tingkat kecerahan dan kestabilan serat pulp. Pada Sampel 1, penggunaan H_2O_2 3% menghasilkan perubahan warna yang relatif kecil. Warna pulp masih tampak kekuningan karena daya oksidasi H_2O_2 lebih lemah dibandingkan NaOCl, sehingga residu lignin tidak seluruhnya teroksidasi. Pada Sampel 2 dan 3, proses *bleaching* menggunakan NaOCl 5,25% menunjukkan hasil yang lebih signifikan dalam menghilangkan warna alami jerami. Pada konsentrasi 3%, reaksi pemutihan dengan H_2O_2 cenderung berjalan lebih lambat dan tidak agresif, sehingga peningkatan kecerahan berlangsung secara bertahap dan terbatas. Sebaliknya, NaOCl merupakan oksidator yang lebih kuat dan agresif, mampu dengan cepat memecah struktur lignin dan kromofor sehingga menghasilkan perubahan warna yang lebih nyata dalam waktu relatif singkat [22]. NaOCl juga bereaksi langsung dengan gugus aromatik pada lignin, sehingga mampu menghilangkan warna lebih efektif, walau dengan risiko degradasi serat selulosa lebih tinggi dan dampak negatif terhadap kekuatan pulp [23], [24]. Selain itu, efek katalitik dari ion logam yang biasanya terdapat pada pulp dapat mempercepat dekomposisi H_2O_2 menjadi air dan oksigen, mengurangi waktu reaksi efektifnya dan menurunkan hasil pemutihan, terutama pada konsentrasi rendah [25]. Oleh karena itu, pemutihan dengan H_2O_2 3% menghasilkan peningkatan warna yang relatif kecil dibandingkan dengan NaOCl. Namun, penggunaan NaOCl dapat menyebabkan degradasi yang lebih besar pada serat pulp, karena reaksi klorinasi yang agresif

mampu memecah ikatan kimia pada selulosa dan hemiselulosa [26].

Jumlah tahap *bleaching* yang berlebihan dapat mengakibatkan reaksi yang terlalu pekat dan agresif sehingga terjadinya degradasi berlebih pada selulosa, hal ini terlihat pada Sampel 2. NaOCl dalam suasana basa kuat dapat memutus rantai polimer selulosa melalui reaksi oksidatif yang mengakibatkan pulp kehilangan bentuk dan tidak dapat mengendap sebagai padatan [27]. Sementara itu, pada Sampel 3, proses bleaching dilakukan dua kali secara bertahap sehingga reaksi oksidasi berlangsung lebih terkendali. Pulp yang dihasilkan berwarna putih kekuningan dengan serat yang utuh dan lentur.

NaOCl berperan sebagai agen oksidator kuat yang dapat menyerang gugus kromofor dan struktur aromatik lignin, yang merupakan penyebab utama warna gelap pada pulp [28]. Reaksi ini melibatkan ion hipoklorit (OCl^-) yang terbentuk saat NaOCl terdisosiasi dalam larutan, yang kemudian melakukan serangan oksidatif pada ikatan-ikatan kimia dalam molekul lignin. Pada tahap awal, ion OCl^- bereaksi dengan gugus fenolik pada lignin, menyebabkan pembukaan cincin aromatik dan pemutusan ikatan ether serta ikatan silang lateral dalam struktur lignoselulosa [29], [30]. Proses oksidasi ini memecah rantai polimer lignin menjadi fragmen lebih kecil yang larut dalam larutan alkali, sehingga lignin dapat terpisah dari matriks selulosa dan hemiselulosa [31]. Pemutihan ini berlangsung efektif pada kondisi basa karena pH basa mempertahankan ion hipoklorit tetap stabil dan aktif dalam bereaksi [32]. Selain itu, reaksi dengan NaOCl juga melibatkan dealkilasi dan oksidasi gugus karbonil pada lignin, yang menghilangkan warna gelap pulp dengan mengubah struktur kimia lignin menjadi senyawa yang kurang berwarna atau tidak berwarna. Namun, proses ini juga meningkatkan risiko degradasi pada serat selulosa dan hemiselulosa karena reaktivitas tinggi ion hipoklorit dapat memecah ikatan glikosidik dalam polisakarida tersebut, yang berdampak pada penurunan kekuatan mekanik pulp. Selama proses, pembentukan senyawa chlorolignin yang larut mempercepat pelepasan lignin dari jaringan serat [33]. Akan tetapi, penggunaan NaOCl juga menimbulkan masalah lingkungan karena menghasilkan limbah yang mengandung senyawa klorin organik toksik, yang memerlukan pengolahan dan penanganan khusus agar tidak mencemari lingkungan. Berbeda dengan mekanisme pemutihan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang relatif lebih selektif dan lembut terhadap serat pulp, proses NaOCl lebih agresif dan imbasnya sering kali menyebabkan

kerusakan pada integritas serat. Namun, NaOCl masih digunakan secara luas dalam industri pulp dan kertas karena kemampuannya memutihkan pulp dengan cepat dan efisien.

3.3 Karakter Fisik Pulp yang Dihasilkan

Perbedaan konsentrasi basa dan jenis bahan pemutih menghasilkan karakteristik fisik yang bervariasi. Sampel 1 memiliki warna kuning tua dengan permukaan serat kasar dan tidak rata. Hal ini mengindikasikan bahwa proses delignifikasi belum maksimal. Sampel 2 tidak membentuk pulp padat karena reaksi oksidatif yang terlalu kuat menyebabkan degradasi struktur selulosa. Sementara itu, Sampel 3 menunjukkan hasil terbaik, dengan warna lebih putih, tekstur lembut, dan serat masih tampak utuh. Warna kekuningan yang masih tersisa mengindikasikan sebagian kecil lignin belum terdegradasi sempurna seperti tampak pada Gambar 1.

Secara keseluruhan, hasil pengamatan ini memperlihatkan bahwa keberhasilan pembuatan pulp jerami padi dipengaruhi oleh keseimbangan antara konsentrasi basa dan kekuatan oksidator. Konsentrasi NaOH yang terlalu rendah menghasilkan pulp dengan proses delignifikasi tidak optimal, sedangkan konsentrasi yang terlalu tinggi disertai agen oksidasi kuat dapat merusak struktur penggunaan NaOH 10%, NaOCl 5,25%, dan 2 tahapan bleaching.



(a)



(b)



(c)

Gambar 1. Produk pulp dengan bleaching (a) H_2O_2 (b) $NaOCl$ 3 tahap *bleaching* (c) $NaOCl$ 2 kali tahap *bleaching*

4 Kesimpulan

Pemanfaatan $NaOH$ pada proses delignifikasi jerami padi mampu membantu penghilangan kandungan lignin. Konsentrasi $NaOH$ memberikan pengaruh signifikan terhadap tingkat delignifikasi jerami padi. Penggunaan $NaOH$ pada proses delignifikasi jerami padi dengan konsentrasi 10% dan menggunakan dua kali tahapan *bleaching* menggunakan 5,25% $NaOCl$ menghasilkan pulp yang cukup baik dengan tampilan yang lebih putih dibanding penggunaan *bleaching* H_2O_2 .

Daftar Pustaka

- [1] M. Jannah, N. Dave, and E. Pieter, "Processing Rice Straw Into Biochar as a Soil Improvement to Support Sustainable," *J. Abdi Insa.*, vol. 12, pp. 4001–4008, 2025.
- [2] M. Muzdalifah and S. Ruqayyah, "Optimalisasi Limbah Pertanian untuk Produk Olahan Inovatif di Kabupaten Bima sebagai Upaya Peningkatan Nilai Ekonomi," *UNITY J. Community Serv.*, vol. 1, no. 2, pp. 16–20, 2025, doi: 10.70716/unity.v1i2.114.
- [3] D. A. Prawitasari, "Potensi Limbah Hasil Pertanian Padi menjadi Sumber Bioenergi melalui Konsep Biorefineri dengan Pendekatan P-Graph dan Analisis Ekonomi Teknik di Kabupaten Sleman, Yogyakarta," *Ajie - Asian J. Innov. Entrep.*, vol. 9, no. January, pp. 16–32, 2025, doi: 10.20885/ajie.vol9.iss1.art2.
- [4] Endiyani, S. Agustina, M. Kemalawaty, U. Husen Abdullah, and Y. Akbar, "Pemanfaatan Limbah Jerami Padi Menjadi Sapu Dan Kemoceng Di Desa Lambaet Kecamatan Kuta Baro Kabupaten Aceh Besar," *J. PKM JPM Wisdom*, vol. 1, no. 1, pp. 22–28, 2024.
- [5] S. B. Karim, "The Contents of Cellulose, Hemicellulose, and Lignin in Rice Straw Fermented with Various Probiotics," *Jambura J. Anim. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 13–21, 2023, [Online]. Available: <https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/jjas/archive>.
- [6] A. Supriyatna, "Peningkatan Nutrisi Jerami Padi Melalui Fermentasi dengan Menggunakan Konsorium Jamur *Phanerochaete chrysosporium* dan *Aspergillus Niger*," *J. Istek*, vol. 10, no. 2, pp. 166–181, 2017.
- [7] A. S. Pradana, S. Bahri, A. Muarif, N. Sylvia, S. Sulhatun, and L. Maulinda, "Pemanfaatan Ampas Tebu Untuk Pembuatan Pulp," *Pros. Semin. Nas. Tek. Kim.*, vol. 6, no. Desember, pp. 1–7, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.29103/sntk.v4.2024>.
- [8] A. Lidya, A. Azhari, R. Mulyawan, N. ZA, and Z. Zulnazri, "Pengaruh Konsentrasi Larutan Pemasak ($NaOH$) Pada Proses Delignifikasi Dalam Pembuatan Pulp Dari Limbah Bonggol Jagung (*Zea Mays*)," *Chem. Eng. J. Storage*, vol. 3, no. 6, pp. 810–819, 2023, doi: 10.29103/cejs.v3i6.11926.
- [9] H. S. N. Hawanis *et al.*, "Hybrid alkaline pulping enhances physiochemical, morphological, thermal, and mechanical properties of sugar palm fiber for papermaking," *Ind. Crops Prod.*, vol. 224, no. August 2024, p. 120307, 2025, doi: 10.1016/j.indcrop.2024.120307.
- [10] B. Irawan, I. Bayhaqi, and D. H. Prajitno, "Pengaruh Aktif Alkali Charge Terhadap Pola Korelasi Derajat Delignifikasi dan Polimerisasi Pada Proses Pulping," *J. Tek. Mesin dan Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 19–24, 2022, doi: 10.55331/jutmi.v1i1.7.
- [11] T. Sriana, T. Dianpalupidewi, S. M. P. Ukhrawi, and I. F. Nata, "The effect of sodium hydroxide ($NaOH$) concentration on the delignification process of lignocellulose content of siwalan fiber (*Borassus flabellifer*) as a basic material for making bioethanol," *Bul. Profesi Ins.*, vol. 4, no. 2, pp. 49–52, 2021.
- [12] P. N. Sania, S. Indah Safitri, S. Soraya Santi, and I. Artikel Abstrak, "The Influence of Nutrient Types and Starter Concentration of *Clostridium acetobutylicum* in Fermentation of Pineapple Peel into Bioethanol," *J. Chem. Sci.*, vol. 13, no. 2, pp. 127–134, 2024, [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>.
- [13] S. S. Nusbah, M. M. Amir, U. Kalsum, and S. Bakhri, "Pengembangan Delignifikasi Tandan

- Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Bantuan Microwave terhadap Hasil Lignin Removal,” *J. Sains dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 22–32, 2025, [Online]. Available: <https://journal.utsmakassar.ac.id/index.php/JST/article/view/56>.
- [14] dan M. Permana, H. A., Febriana D., Widia R. H., “Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Suhu Delignifikasi pada Kandungan Lignoselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit (Effect of NaOH Concentration and Delignification Temperature on Lignocellulose Content of Empty Fruit Bunches of Oil Palm),” *J. Agro Ind. Perkeb.*, vol. 12, no. 1, pp. 51–58, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.25181/jaip.v12i1.2729>.
- [15] D. S. Wulansari and S. Supranto, “Pengaruh Waktu dan Konsentrasi NaOH pada Proses Delignifikasi Wheat Bran,” *J. Rekayasa Proses*, vol. 10, no. 2, p. 48, 2016, doi: 10.22146/jrekpros.33337.
- [16] L. A. Handojo, H. Susanto, Reynard, and D. A. Iryani, “Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Cair Etanol-Air Hidrolisat Ethanosolv-pulping Tandan Kosong Sawit,” *J. Kim. Sains dan Apl. J.*, vol. 22, no. 2, pp. 38–46, 2019.
- [17] M. Masrullita, S. Suryati, T. Rozah, and F. Safriwardy, “Pengaruh Perbandingan Waktu Delignifikasi Dan Konsentrasi NaOH Dalam Pembuatan Gula Reduksi Dari Kulit Kopi Arabika (coffea Arabica),” *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 12, no. 1, pp. 86–96, 2023, doi: 10.29103/jtku.v12i1.11640.
- [18] W. D. Aulia et al., “Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit(TKKS) dengan NaOH Terhadap Kualitas Pupuk Organik Cair,” *J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 34, no. 1, pp. 47–54, 2024.
- [19] Hasniar, I. Hasmita, E. M. Mistar, N. P. Mauliza, and Kasturi, “Pembuatan Pulp and Paper Berbahan Dasar Serat Kulit Pinang (Areca Catechu L.) dengan Penambahan Kitosan Sebagai Zat Aditif Antibakteri,” *J. Serambi Eng.*, vol. 9, no. 1, pp. 7698–7709, 2023, doi: 10.32672/jse.v9i1.729.
- [20] P. Kusumo, S. Biyono, and Tegar S., “Isolasi Lignin dari Serbuk Grajen Kayu Jati (Tectona Grandis) dengan Metode Klasson,” *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 19, no. 2, pp. 130–139, 2020, doi: 10.26874/jt.vol19no02.158.
- [21] D. N. Sari, L. A. Anggerta, and A. F. Alfiana, “Lignin dari Jerami Padi Sebagai Material Tabir Surya,” *Ekliptika*, vol. 4, no. 1, pp. 2–6, 2023.
- [22] S. Yuliatun, Z. Attaya, and K. Febrianto, “Processing Optimimization of Cellulose Bleaching for Sugarcane Bagasse using Response Surface Method,” *Indones. Sugar Res. J.*, vol. 4, no. 5, pp. 43–55, 2024.
- [23] D. S. Nawawi, I. S. Rahayu, N. J. Wistara, R. K. Sari, and W. Syafii, “Distribusi Sel Pori Pada Kayu Tarik dan Korelasinya dengan Komposisi Lignin,” *J. Ilmu Kehutan.*, vol. 13, pp. 70–76, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.ugm.ac.id/jikfkt>.
- [24] N. T. Berghuis et al., “Sintesis dan Karakterisasi Surfaktan Lignosulfonat dari Lignin Alkali Standar dan Lignosulfonat Teraminasi dari Lignosulfonat Standar,” *al-Kimiya*, vol. 9, no. 1, pp. 32–41, 2022, doi: 10.15575/ak.v9i1.17550.
- [25] A. M. Fuadi and H. Sulistya, “Pemutihan Pulp Dengan Hidrogen Peroksida,” *Reaktor*, vol. 12, no. 2, p. 123, 2008, doi: 10.14710/reaktor.12.2.123-128.
- [26] S. N. K. Andrianto, F. G. M. Fitri, and W. Wijayanti, “Karakterisasi Sifat Fisik, Kimia, Dan Mekanik Serat Selulosa Alami Dari Ampas Tebu,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 2, pp. 849–861, 2024, doi: 10.21776/jrm.v15i2.1567.
- [27] N. N. Maulidanti, A. M. Nurdin, A. F. Luthfiyah, and A. Senania, “Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat pada Sintesis Nanokristal Selulosa Bonggol Jagung (Zea mays),” *J. Penelit. Saintek*, vol. 1, no. 1, pp. 23–30, 2024, doi: 10.21831/jps.v1i1.67993.
- [28] P. B. Nugroho et al., “Pemanfaatan Batang Tanaman Talas (Colocasia esculenta L.) Sebagai Bahan Pembuatan Pulp dengan Proses Soda,” *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 1, no. Mei, pp. 43–55, 2022.
- [29] A. Ristiawan and M. Syafila, “Kinetika Degradasi Lignin Dari Limbah Cair Industri Pulp and Paper Menggunakan Advanced Oxidation Process (Aop) Dengan Kombinasi Ozon Dan Hidrogen Peroksida,” *J. Teh. Lingkung.*, vol. 21, no. 1, pp. 48–56, 2015, doi: 10.5614/jtl.2015.21.1.6.
- [30] R. Wang, B. Zhou, and Z. Wang, “Study on the Preparation and Application of Lignin-Derived Polycarboxylic Acids,” *J. Chem.*, vol. 2019, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1155/2019/5493745.
- [31] R. Ma, M. Guo, and X. Zhang, “Recent advances in oxidative valorization of lignin,” *Catal. Today*, vol. 302, no. May 2017, pp. 50–60, 2018, doi: 10.1016/j.cattod.2017.05.101.
- [32] Yulianita Pratiwi Indah Lestari, Noor Kamalia,

Nur Maulidah, and Ra'idah Luthfia, "Pembuatan Selulosa Mikrokrystal pada Serat Daun Tigarun (*Crateva magna* DC.)," *Heal. J.*, vol. 9, no. 1, pp. 42–47, 2025, doi: 10.35747/hmj.v9i1.1322.

- [33] E. Djonaedi, N. Asni, H. B. K. Rudi, H. Y. Alfarizi, and R. Wahyu, "Perbandingan Perolehan Selulosa dan Lignin Daun Lontar pada Proses Delignifikasi dengan Variasi Natrium Hidroksida," *SNIV Semin. Nas. Inov. Vokasi*, vol. 4, no. 1, pp. 981–989, 2025.