



Pengaruh Waktu Reaksi dan Laju Alir Oksigen Pada Proses Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit

The Effect of Reaction Time and Oxygen Flow Rate on Palm Oil Empty Bunch Delignification Process

Asyeni Miftahul Jannah^{1*}, Syarifah Fitria², Riani Muharomah³, Handalia Putri Andini¹, Annisa Bonawati¹

¹Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Palembang - Prabumulih KM. 32 Ogan Ilir 30662.

²Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Palembang - Prabumulih KM. 32 Ogan Ilir 30662.

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Palembang - Prabumulih KM. 32 Ogan Ilir 30662

*Corresponding Author: asyeni@ft.unsri.ac.id

Received: 16th December 2024; Revised: 25th January 2025; Accepted: 27th January 2025

ABSTRAK

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi. Lignoselulosa terdiri dari hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Lignin merupakan pengikat sel-sel dalam biomassa. Struktur lignin sangat kompleks dan sulit untuk dipecah. Keberadaan lignin akan menghambat proses pengolahan TKKS, sehingga perlu dilakukan proses delignifikasi. Salah satu cara efektif untuk menurunkan kadar lignin yaitu dengan ozonolisis. Dalam penelitian ini, dilakukan analisa pengaruh waktu reaksi dan laju alir oksigen pada sampel TKKS. Waktu reaksi pada proses delignifikasi selama 5, 10, dan 15 min, dan laju alir oksigen sebesar 1, 2, 3 L/min. Kadar lignin dianalisa dengan menggunakan metode Kappa. Kadar selulosa dianalisa menggunakan metode α -selulosa dan kadar hemiselulosa dianalisa menggunakan metode γ -selulosa. Kadar lignin paling sedikit diperoleh pada sampel dengan laju alir 2 L/min selama 5 min yaitu 52,95% dengan kadar selulosa sebesar 84,85% dan hemiselulosa sebesar 15,16%.

Kata kunci: Tandan Kosong Kelapa Sawit, ukuran partikel, waktu reaksi, laju alir, Ozonolisis.

ABSTRACT

Oil palm empty fruit bunches (OPEFB) have a high lignocellulose content. Lignocellulose consists of hemicellulose, cellulose, and lignin. Lignin is the binder of cells in biomass. The structure of lignin is very complex and difficult to break down. The presence of lignin will hinder the processing of OPEFB, so it is necessary to do a delignification process. One effective way to reduce lignin content is ozonolysis. In this study, the effect of reaction time and oxygen flow rate on the OPEFB was analyzed. The reaction times in the process were 5, 10, and 15 min, and oxygen flow rates were 1, 2, 3 L/min. Lignin content was analyzed using the Kappa method. Cellulose content was analyzed using α -cellulose method and hemicellulose content was analyzed using γ -cellulose method. The minimum lignin content was obtained in the sample with 2 L/min flow rate for 5 min, which was 52.95% with a cellulose content was 84.85% and hemicellulose was 15.16%.

Keywords: Oil palm empty fruit bunches, particle size, reaction time, flow rate, ozonolysis.

Copyright © 2025 by Authors, Published by JITK. This is an open-access article under the CC BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>).

How to cite: JANNAH, A., Fitria, syarifah, m, R., putri, H., & Bonawati, A. Kajian Pengaruh Waktu Reaksi dan Laju Alir Oksigen Pada Proses Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit. Jurnal Ilmiah Teknik Kimia, 9(1).

Permalink/DOI: 10.32493/jitk.v9i1.45925



PENDAHULUAN

Bioetanol merupakan sumber energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai campuran kerosin. Bioetanol dapat diproduksi dari bahan baku yang memiliki kandungan karbohidrat seperti jagung (Tira, et. al., 2018), tebu (Náthia-Neves, et. al., 2018), dan ubi jalar (Chooklin, et.al., 2020; Vitus & Otaraku, 2020). Namun penggunaan bahan baku ini terkendala dengan fungsinya sebagai bahan makanan, sehingga limbah yang mengandung lignoselulosa menjadi alternatif yang dapat dipakai sebagai sumber bahan baku bioetanol. Salah satu jenis limbah sumber lignoselulosa yang mengandung selulosa tinggi adalah TKKS. Produksi bioetanol berbahan baku TKKS melalui tiga proses utama yaitu: delignifikasi, hidrolisis dan fermentasi. Delignifikasi dilakukan untuk mendegradasi lignin yang terdapat pada TKKS. Hal ini dilakukan karena lignin dapat menghambat proses konversi selulosa menjadi glukosa pada tahap hidrolisis. Ikatan selulosa yang terdapat pada TKKS diselimuti oleh ikatan lignin, sehingga ikatan lignin yang ada harus lepas terlebih dahulu dengan bantuan katalis. Katalis yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah ozon. Proses ozonolisis dipilih karena zat ozon sangat efektif dalam memecahkan ikatan lignin pada lignoselulosa. Pada penelitian ini, ozon yang digunakan diambil dari oksigen yang kemudian dikonversikan menjadi ozon menggunakan alat ozon generator. Selanjutnya ozon akan dialirkan kedalam *fixed bed reactor* yang telah berisi TKKS yang telah bercampur dengan *aquadest* dengan tujuan agar aliran gas ozon akan lebih optimal bereaksi dengan partikel bahan baku dan akan menghasilkan meminimalisasikan ozon yang terbuang (Bhattarai et al., 2015). Ozonolisis dipengaruhi oleh waktu reaksi (Travaini, et. al., 2016) dan laju alir oksigen yang digunakan.

Sampel hasil proses delignifikasi akan dianalisa kadar lignin yang tersisa menggunakan metode Kappa, selulosa dan hemiselulosa yang terkandung menggunakan metode α -selulosa dan γ -selulosa. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menganalisa pengaruh waktu reaksi dan laju alir oksigen terhadap degradasi kadar lignin TKKS.

BAHAN DAN METODE

a. Bahan Baku

Pada penelitian ini digunakan TKKS sebagai bahan baku utama penelitian. TKKS dikeringkan dibawah sinar matahari sampai bobotnya tetap. TKKS yang telah melalui proses pengeringan, dipotong kecil untuk mempermudah proses penghalusan TKKS. TKKS yang telah dipotong dihaluskan dengan menggunakan blender kemudian secara berurutan disaring melalui ayakan berukuran 60 mesh. Sisa TKKS yang tidak lewat saring dilalui proses blender ulang hingga didapatkan ukuran yang diinginkan. Bubuk sampel TKKS disisakan berlebih untuk uji proksimat terhadap kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin sebagai perbandingan awal.

b. Delignifikasi Ozonolisis

Sampel TKKS ditimbang sebanyak 5 g. Setiap sampel dibasahi dengan 10% H₂O dari berat bahan TKKS. Kemudian, TKKS disimpan dalam *chiller* selama 24 jam sebelum dilakukan delignifikasi ozon. TKKS dengan 10% *moisture* dimasukkan ke dalam reaktor ozon. Laju alir ozon diatur dengan variasi 1 L/min, 2 L/min, dan 3 L/min. Waktu reaksi TKKS di dalam reaktor ozon juga di reaksikan selama 5 min, 10 min, dan 15 min. TKKS yang telah diolah dengan ozon dinetralkan menggunakan *aquadest* panas. Kemudian dikeringkan 24 jam pada menggunakan oven pada temperatur 105°C.



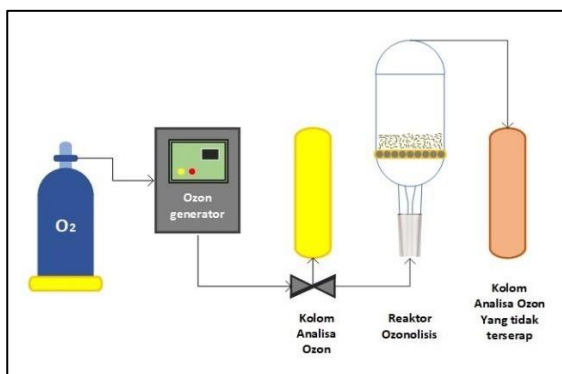
c. Analisa Lignoselulosa

Kadar selulosa dianalisa menggunakan uji α -selulosa yang mengacu pada SNI 0444:2009. Kadar hemiselulosa dianalisa menggunakan uji γ -selulosa dan kadar lignin dianalisa menggunakan uji Kappa.

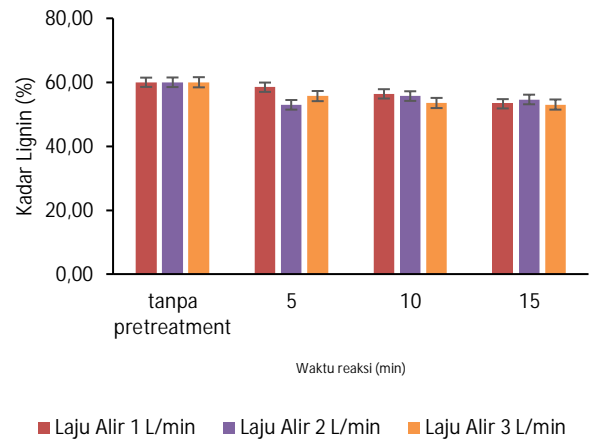
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan ozonolisis, bahan baku terlebih dahulu dianalisa kandungan awal lignoselulosanya. Dari hasil uji, didapatkan kandungan lignin pada bahan baku sebesar 59,99%, selulosa sebesar 82,77%, dan hemiselulosa sebesar 16,97%. Analisa kadar masing-masing komponen yang terkandung pada lignoselulosa menggunakan metode yang berbeda sesuai dengan standar SNI.

Skema proses delignifikasi ozonolisis TKKS ditunjukkan pada Gambar 1. Kadar lignin setelah proses ozonolisis didapatkan seperti tampak pada Gambar 2. Kadar lignin terendah didapatkan pada sampel dengan reaksi menggunakan ozon hasil konversi oksigen dengan laju alir 1 L/min selama 5 min. Ozon terbentuk lebih banyak dengan menggunakan laju alir yang sedikit pada konversi oksigen menjadi ozon. Ketika laju alir oksigen berkurang, waktu kontak antara atom oksigen dan molekul O_2 meningkat. Hal ini memungkinkan lebih banyak reaksi pembentukan ozon terjadi sebelum gas tersebut keluar dari sistem (Purnomo, Nurlaela, & Rahmadewi, 2021). Volume ozon yang tinggi ini dapat meningkatkan efisiensi delignifikasi sehingga dapat melepas lignin lebih banyak.

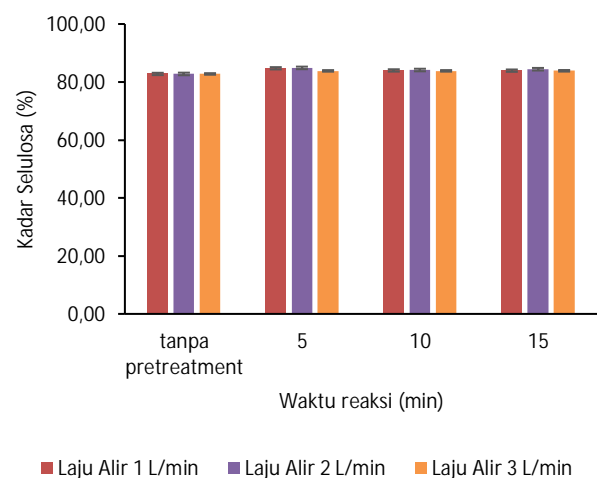


Gambar 1. Skema Proses Delignifikasi Ozonolisis

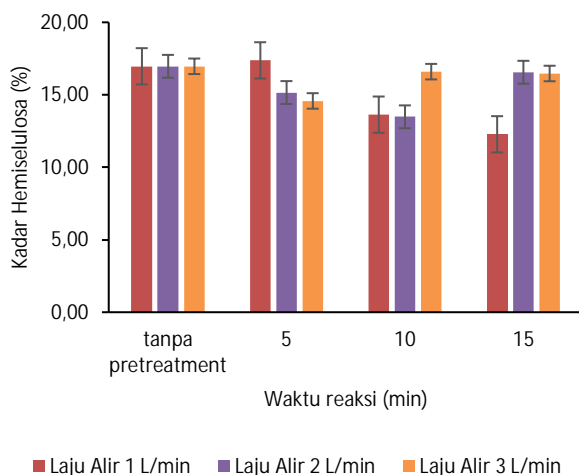


Gambar 2. Pengaruh waktu reaksi dan laju alir oksigen Terhadap Kadar Lignin

Proses ozonasi, gas O_3 akan menyerang langsung ikatan lignin yang berada pada posisi paling atas lignoselulosa dan membuat ikatan lignin semakin renggang dan akhirnya dapat terputus menjadi ikatan yang lebih kecil (Moris, et. al., 2022). Putusnya ikatan lignin memberikan celah dan jalan bagi selulosa dan hemiselulosa untuk lebih terkonsentrat. Berdasarkan Gambar 2, hasil degradasi lignin terhadap waktu reaksi ini tidak stabil. Adanya partikel-partikel yang tidak terkena kontak dengan ozon menjadi salah satu penyebabnya, sehingga pada kondisi ini efisiensi delignifikasi dapat berkurang. Waktu reaksi ini juga sangat erat kaitannya dengan konsentrasi ozon. Semakin besar konsentrasi ozon maka dapat mengurangi efisiensi delignifikasi, dan juga sebaliknya.



Gambar 3. Pengaruh waktu reaksi dan laju alir oksigen Terhadap Kadar Selulosa



Gambar 4. Pengaruh waktu reaksi dan laju alir oksigen Terhadap Kadar Hemiselulosa

Semakin sedikit kadar lignin pada sampel hasil delignifikasi, maka kadar selulosa akan semakin banyak. Selulosa terbanyak dihasilkan oleh sampel dengan perlakuan ozonolisis selama 5 menit dengan laju alir oksigen sebanyak 2 L/min, sedangkan untuk kadar hemiselulosa yang paling sedikit didapatkan pada sampel dengan perlakuan ozonolisis dengan laju alir 1 L/min selama 15 min reaksi, seperti tampak pada Gambar 3 dan 4. Ketika proses oksidasi terjadi baik oleh ozon maka struktur lignin terdegradasi di awal proses, sehingga dengan terdegradasinya struktur lignin maka kadar selulosa dalam akan meningkat (Savitri, 2019).

Perbedaan dari masing-masing degradasi lignin dapat diakibatkan kontak sampel dengan ozon yang tidak maksimal sehingga kadar selulosa dan hemiselulosa yang dihasilkan pun cenderung tidak stabil. Lignin yang terdegradasi dan hilang setelah proses delignifikasi menjadikan kadar selulosa pada sampel semakin besar (Rahmatullah et al., 2020). Ikatan lignin terputus setelah bereaksi dengan O₃ dan kemudian larut pada air cucian pada proses pencucian sampel. Proses pencucian menggunakan *aquadest* dimaksudkan untuk menetralkan pH sampel dan melarutkan molekul lignin yang telah terputus.

Lamanya reaksi kontak antara O₃ dengan lignin berdampak pada makin banyaknya celah ikatan rantai panjang lignin yang terputus (Lisneri, et.al., 2019). Ikatan lignin yang bersifat amorf sehingga lebih fleksibel dalam hal interaksi dengan O₃ dan ikatan-ikatan yang ada dalam lignin dapat diputus serta diubah menjadi rantai yang lebih pendek dan lebih larut. Selain lignin, rendahnya kadar hemiselulosa juga dapat meningkatkan kadar selulosa (Ancastami, et. al., 2020).

Penurunan kadar hemiselulosa karena adanya degradasi pada hemiselulosa, hal ini dapat terjadi karena ikatan hemiselulosa yang lebih tidak teratur dibandingkan dengan selulosa sehingga sensitif dan mudah dipecah (Naufal & Pandebesie, 2015). Ikatan lignin yang sudah putus dan tidak lagi mampu berperan sebagai pelindung pada lapisan luar lignoselulosa menyebabkan struktur lignin yang ada didalamnya memberikan kesempatan kepada O₃ untuk semakin mudah mendegradasi hemiselulosa (Moris et al., 2022). Nilai lignin dan hemiselulosa yang berkurang akan meningkatkan kemurnian selulosa. Selulosa memiliki ikatan hidrogen dengan polimerisasi tinggi, yaitu sebesar 800-10000 unit (Rahhutami, et. al., 2020). Lignin dan hemiselulosa perlu dieliminasi untuk mendapatkan selulosa murni sehingga nantinya lebih mudah dihidrolisis menjadi glukosa.

Penggunaan ozon sebagai katalis pada penelitian ini hanya mampu mendegradasikan lignin maksimal sebesar 35,19%. Data yang didapatkan sedikit lebih rendah dibandingkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Mardawati, dkk. yaitu sebesar 42,42% (Mardawati et al., 2019) dan penelitian Panneerselvam, dkk. yang mampu mendegradasikan lignin hingga 59,9% (Panneerselvam, Sharma-shivappa, Kolar, Ranney, & Peretti, 2013). Hasil penelitian yang didapatkan berbeda dikarenakan perbedaan laju alir ozon yang digunakan. Jumlah ozon terbentuk tergantung dari ketersediaan energi potensial yang digunakan untuk mengubah oksigen menjadi ozon bukan banyaknya jumlah oksigen yang masuk kedalam generator ozon.



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada Universitas Sriwijaya yang telah mendanai penelitian ini berdasarkan kontrak No. 0094.027/UN9/SB3.LP2M.PT/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Ancastami, Azwar, E., Lismeri, L., & Santoso, R. (2020). Pengaruh Konsentrasi Asam Formiat dan Waktu Reaksi Pada Proses Delignifikasi Metode Organozolv dari Limbah Batang Pisang (*Musa Parasidiaca*). *Inovasi Pembangunan : Jurnal Kelitbangan*, 8(02), 147. <https://doi.org/10.35450/jip.v8i02.195>
- Bhattarai, S., Bottenus, D., Ivory, C. F., Haiming, A., Bule, M., Garcia-perez, M., & Chen, S. (2015). Bioresource Technology Simulation of the ozone pretreatment of wheat Straw. *BIORESOURCE TECHNOLOGY*, 196, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.022>
- Chooklin, S., Ninup-Patham, P., & Choojit, S. (2020). Potential utilization of low quality sweet potato for bioethanol production by *Saccharomyces cerevisiae* TISTR5339. *Walailak Journal of Science and Technology*, 17(9), 933–946. <https://doi.org/10.48048/wjst.2020.5685>
- Lismeri, L., Darni, Y., Sanjaya, M. D., & Immadudin, M. I. (2019). Pengaruh Suhu Dan Waktu Pretreatment Alkali Pada Isolasi Selulosa Limbah Batang Pisang. *Journal of Chemical Process Engineering*, 4(1), 18–22. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v4i1.319>
- Mardawati, E., Herliansah, H., Suryadi, E., Hanidah, I. I., Setiasih, I. S., Andoyo, R., Ahyana, Y. C. (2019). Optimization of Particle Size, Moisture Content and Reaction Time of Oil Palm Empty Fruit Bunch Through Ozonolysis Pretreatment. *Journal of the Japan Institute of Energy*, 98, 132–138.
- Moris, A. O., Nur, M., Setyatwan, H., & Setiawan, I. (2022). Pengaruh Pemaparan Gas Ozon terhadap Kadar Air, Lignin, Selulosa dan Hemiselulosa pada *Azolla pinnata*. *Jurnal Ilmu Ternak Universitas Padjadjaran*, 22(1), 1. <https://doi.org/10.24198/jit.v22i1.38037>
- Náthia-Neves, G., Berni, M., Dragone, G., Mussatto, S. I., & Forster-Carneiro, T. (2018). Anaerobic Digestion Process: Technological Aspects and Recent Developments. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(9), 2033–2046. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1682-2>
- Naufal, A. W., & Pandebesie, E. S. (2015). Hidrolisis Eceng Gondok dan Sekam Padi untuk Menghasilkan Gula Reduksi sebagai Tahap Awal Produksi Bioetanol. *Jurnal Teknis Its*, 4(2), 2–6.
- Panneerselvam, A., Sharma-shivappa, R. R., Kolar, P., Ranney, T., & Peretti, S. (2013). Submitted to Bioresource Technology Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Campus Box 7905. In *BIORESOURCE TECHNOLOGY*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.129>
- Purnomo, A. S., Nurpulaela, L., & Rahmadewi, R. (2021). *Rancang Bangun Generator Ozon sebagai Oksidator Alternatif dalam Menetralisir Kualitas Udara dalam Ruangan*. 1(1), 1–6.
- Rahhutami, R., Handini, A. S., & Lestari, I. (2020). Pengaruh Delignifikasi Termal Terhadap Substansi Dinding Sel Pada Limbah Bunga Jantan Kelapa Sawit Pasca Anthesis. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 8(2), 61–68. <https://doi.org/10.25181/jaip.v8i2.1377>
- Rahmatullah, Selpiana, Sari, E. O., Putri, R. W., Waluyo, U., & Andrianto, T. (2020). Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Kadar Selulosa pada Proses Delignifikasi dari Serat Kapuk sebagai Bahan Baku Biodegradable Plastic Berbasis Selulosa Asetat. *Seminar Nasional AVoER XII*



- 2020, (November), 305–308.
- Savitri, E. (2019). Degradasi Lignin dan Selulosa dari Jerami Padi dengan Proses Ozonasi. *Majalah Polimer Indonesia*, 22(2), 21–25.
<https://doi.org/10.37889/mpi.2019.22.2.5>
- Tira, H. S., Mara, M., Zulfitri, Z., & Mirmanto, M. (2018). Karakteristik fisik dan kimia bioetanol dari jagung (*Zea mays* L). *Dinamika Teknik Mesin*, 8(2), 77–82.
<https://doi.org/10.29303/dtm.v8i2.231>
- Travaini, R., Barrado, E., & Bolado-rod r guez, S. (2016). Effect of Ozonolysis Pretreatment Parameters on The Sugar Release , Ozone Consumption and Ethanol Production From Sugarcane Bagasse. *Bioresource Technology*, 214, 150–158.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.102>
- Vitus, J., & Otaraku, I. J. (2020). Bioethanol Production from Sweet Potatoes. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 11(3), 1045–1050.