

Pengujian Lignoselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Waktu Delignifikasi H_2SO_4 Menggunakan Uap Bertekanan

(Lignocellulosic Test of Oil Palm Empty Fruit Bunches with H_2SO_4 Delignification Time Using Pressurized Steam)

Widia Rini Hartari ^{1*}, Febrina Delvitasari ¹, Maryanti ¹, Bigi Undadraja ², Fizzaria Hasbullah ², Giannis Aji Deksono ³

¹ Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan Politeknik Negeri Lampung, Jl. Soekarno-Hatta No. 10 Rajabasa, Bandar Lampung, Lampung, 35144, Indonesia

² Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Dharma Wacana Metro, Jl. Kenanga No. 3 Mulyojati Kota Metro, 34121, Indonesia

³ Program Studi Produksi dan Manajemen Industri Perkebunan Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan Politeknik Negeri Lampung, Jl. Soekarno-Hatta No. 10 Rajabasa, Bandar Lampung, Lampung, 35144, Indonesia

E-mail: widiarini@polinela.ac.id

ARTICLE INFO

Article history

Submitted: June 4, 2023

Accepted: September 18, 2023

Published: November 1, 2023

Keywords:

delignification,

lignin,

lignocellulosic,

oil palm empty fruit bunches

ABSTRACT

Oil palm empty fruit bunches (EFB) are the most abundant solid waste from the palm oil industry and are underutilized, even though they have the potential to become industrial raw materials because they contain three fractions, namely cellulose, hemicellulose, and lignin. This research was carried out using the steam method using 1 molar sulfuric acid with concentrations of 6.4%, 7.6%, and 8.7%. The delignification temperature was measured at 120 °C and with different delignification times of 60 minutes, 90 minutes, and 120 minutes. The best treatment with 1 M H_2SO_4 concentration and heating time for hemicellulose was the treatment with 8.7% H_2SO_4 concentration and 90 minutes of heating time. The best treatment with 1 M H_2SO_4 concentration and heating temperature for cellulose was found to be 6.4% H_2SO_4 concentration with 90 minutes of heating time. The best treatment with a 1 M H_2SO_4 concentration and heating temperature for lignin was the 6.4% H_2SO_4 treatment with 90 minutes of heating time.



Copyright © 2023 Author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

PENDAHULUAN

Perkebunan kelapa sawit memiliki peran penting dalam sumber devisa nasional. Perkembangan perkebunan kelapa sawit terdapat di 22 provinsi Indonesia, yang menjadi sentra utama adalah Sumatera dan Kalimantan. Kelapa sawit Indonesia diolah 95% menjadi CPO (*crude palm oil*) (Purba & Sipayung, 2017). Tandan buah segar (TBS) sebanyak 1 ton dapat menghasilkan jumlah minyak sawit kasar (CPO) sebanyak 0,21 ton atau 21%, dan menghasilkan sebanyak 0,05 ton minyak inti sawit (PKO) tersedia atau 5% (Rachim, 2012). Industri pengolahan kelapa sawit menghasilkan limbah cair dan limbah padat yang masih memiliki potensi untuk dimanfaatkan menjadi produk samping. Limbah padat yang menghasilkan volume

terbesar adalah berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS), sabut kelapa sawit (SKS), tepurung kelapa sawit (TKS), dan batang kelapa sawit (BKS) (Santoso, 2010).

Limbah padat kelapa sawit yang rendemennya sangat tinggi adalah TKKS yaitu mencapai 230 kg atau 23% dari 1 ton tandan buah segar (TBS) (Haryanti et al., 2014). Tahun 2017 jumlah TKKS yang dihasilkan sebanyak 31 juta ton (Ditjen Perkebunan, 2017). Kandungan TKKS yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin, tetapi fraksi terbesar 25-45% adalah selulosa. Potensi yang dimiliki TKKS sebagai bahan baku industri cukup banyak, salah satunya bioplastik ramah lingkungan dari ekstrak selulosa, TKKS juga dapat diolah menjadi bahan bakar boiler dan kompos yang memberikan unsur hara tanah (Dewanti, 2018). Oleh karena itu harus dilakukan proses pemisahan komponen yang dapat dibagi bagi dalam pemanfaatan bahan baku produk. Metode pemisahan komponen dalam TKKS dapat dilakukan dengan enzimatik, tetapi memiliki kelemahan dalam isolasi enzim yang sesuai, dan stabilitas termal yang rendah mengakibatkan harga mahal (Kahfi, 2019). Alternatif lain adalah dengan menggunakan katalis asam atau basa yang sesuai (Rodiansono et al., 2016).

Steam explosion adalah salah satu metode pemisahan fraksi lignoselulosa dengan uap tekanan tinggi. Biomassa TKKS dimasukkan dalam uap panas suhu 180-240°C, kemudian terdapat peningkatan tekanan yang kemudian uap tersebut diledakkan ke atmosfer sehingga tekanan akan kembali secara cepat. Pelepasan tekanan tiba-tiba menghasilkan aksesibilitas yang lebih baik dari selulosa untuk proses selanjutnya yaitu hidrolisis fermentasi ataupun enzimatik (Saputra et al., 2022). Proses ini mudah dilakukan dan dapat menghemat biaya operasional perusahaan dalam mendapatkan bahan baku untuk produksi etanol. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi metode uap bertekanan dengan pelarut asam sulfat H₂SO₄, hal ini untuk mendapatkan pemisahan fraksi yang optimal dengan suhu delignifikasi yang dilakukan yaitu 120°C, dan waktu delignifikasi yang berbeda yaitu 60 menit, 90 menit, 120 menit, serta konsentrasi asam sulfat H₂SO₄ 1 molar yaitu 6,4%, 7,6%, dan 8,7%. Penelitian ini diharapkan dapat memisahkan lignoselulosa lebih baik dengan modifikasi metode uap bertekanan dan H₂SO₄.

METODE PENELITIAN

Bahan baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) digunakan sebagai bahan penelitian dalam studi ini yang diambil dari PTPN 7 Unit Bekri Lampung Tengah, asam sulfat (H₂SO₄), dan aquadest. Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu: parang, spatula dan pengaduk, tanur, Autoclave TOMY ES-315, shaker, kain saring, corong, neraca analitis, gelas ukur 250 ml, dan erlenmeyer 250 ml.

Metode penelitian disusun secara deskriptif antara konsentrasi 6,4%, 7,6%, dan 8,7%, kemudian waktu delignifikasi 60 menit, 90 menit, 120 menit dengan suhu yang sama yaitu 120 °C. Kadar lignoselulosa dapat dihitung menggunakan analisa metode Cheeson dengan aplikasi Microsoft Excel 2010 sebagai pengolah data. Percobaan yang dilakukan tidak menggunakan ulangan dikarenakan akan dibahas secara deskriptif, dan saat pengujian dilakukan secara duplo.

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan mengumpulkan TKKS yang diambil langsung dari hasil pengolahan CPO, kemudian dilakukan pencacahan, dan dikering anginkan, kemudian dilakukan penggilingan sampai ukurannya seragam 40 mesh, kemudian dilakukan pengeringan dalam oven pada suhu 120 °C selama 24 jam. Kemudian dilakukan standarisasi H₂SO₄ 1 Molar, karena asam sulfat yang dibeli tidak diketahui standarnya. Serbuk TKKS kemudian diambil 5 gram

dan dimasukkan ke Erlenmeyer 250 ml yang ditambahkan larutan H₂SO₄ 1 Molar konsentrasi 6,4%, 7,6%, dan 8,7% dan ditaruh ke shaker 100 rpm selama 3 menit agar homogeny (Yoricya et al., 2016). Kemudian dimasukkan ke alat Autoclave TOMY ES-315 pada suhu 120 °C dengan variasi waktu delignifikasi yaitu 60 menit, 90 menit, 120 menit, kemudian sampel disaring (Susilo et al. 2017). Kadar lignoselulosa dapat dihitung menggunakan analisa metode Chesson (Sari, 2016). Metode Chesson adalah analisis gravimetri yang setiap komponen setelah dihidrolisis atau dilarutkan. Satu gram sampel kering (a) direfluks selama 2 jam dengan 150 ml air suling pada suhu 100°C. Setelah itu, hasilnya disaring dan dicuci. Residu sampel kemudian dikeringkan menggunakan oven hingga beratnya konstan dan ditimbang (b). Residu sampel yang telah dikeringkan kemudian direfluks selama 2 jam dengan 150 ml larutan H₂SO₄ 0,5 M pada suhu 100°C. Setelah proses tersebut, hasilnya disaring hingga mencapai netral dan dikeringkan (c). Residu sampel yang telah dikeringkan kemudian diperlakukan dengan 10 ml larutan H₂SO₄ 72% pada suhu kamar selama 4 jam. Setelah itu, larutan diencerkan menjadi larutan H₂SO₄ 0,5 M dan direfluks selama 2 jam pada suhu 100°C. Residu hasil proses tersebut disaring hingga mencapai netral dan dikeringkan (d). Residu sampel yang telah dikeringkan kemudian dibakar menggunakan tanur pada suhu 550°C hingga beratnya konstan. Abu yang dihasilkan kemudian ditimbang (e). Perhitungan dilakukan menggunakan rumus yang sesuai.

$$\text{Hemiselulosa (\%)} = \frac{b-c}{a} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Selulosa (\%)} = \frac{c-d}{a} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Lignin (\%)} = \frac{d-e}{a} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

a = berat awal sampel tandan kosong kelapa sawit yang telah dikeringkan

b = berat residu sampel setelah direfluks dengan air panas

c = berat residu sampel setelah direfluks dengan larutan H₂SO₄ 0,5 M

d = berat residu sampel setelah diperlakukan dengan larutan H₂SO₄ 72%

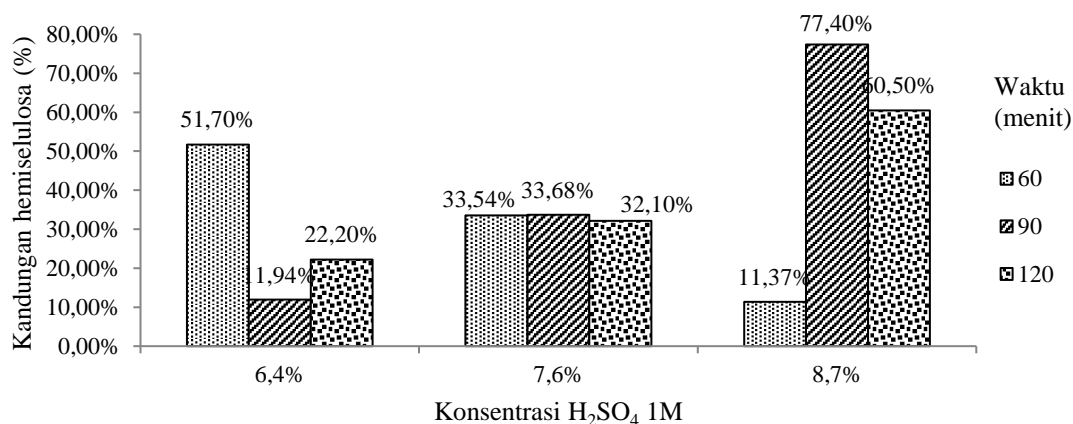
e = berat abu yang dihasilkan dari residu sampel setelah dibakar pada suhu 550°C

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah salah satu fraksi terbesar dalam residu-residu hasil pertanian terdiri dari zat-zat polimer seperti xilan dan glukomanan. Hemiselulosa berbeda dengan selulosa dalam hal rantai molekul yang dimiliki oleh hemiselulosa lebih pendek (Juanda et al., 2011). Rerata kandungan hemiselulosa pada perlakuan konsentrasi H₂SO₄ dan waktu pemanasan dapat dilihat pada Gambar 1.

Hasil pengujian kandungan hemiselulosa pada Gambar 1 menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi H₂SO₄ dengan waktu pemanasan memberikan reaksi terhadap kandungan hemiselulosa. Pada setiap perlakuan konsentrasi katalis tidak menghasilkan grafik yang sama, dimana pada grafik konsentrasi asam sulfat 6,4%, 7,6%, 8,7% H₂SO₄ 1 M mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan waktu delignifikasi 90-120 menit. Kemudian pada konsentrasi asam sulfat 6,4%, 7,6%, 8,7% H₂SO₄ 1 M grafik mengalami fluktuatif data, yaitu meningkat pada waktu delignifikasi 60 menit dan mengalami penurunan pada waktu delignifikasi 90-120 menit (Manalu et al., 2020).



Gambar 1. Kandungan hemiselulosa pada perlakuan konsentrasi H₂SO₄ dan waktu pemanasan

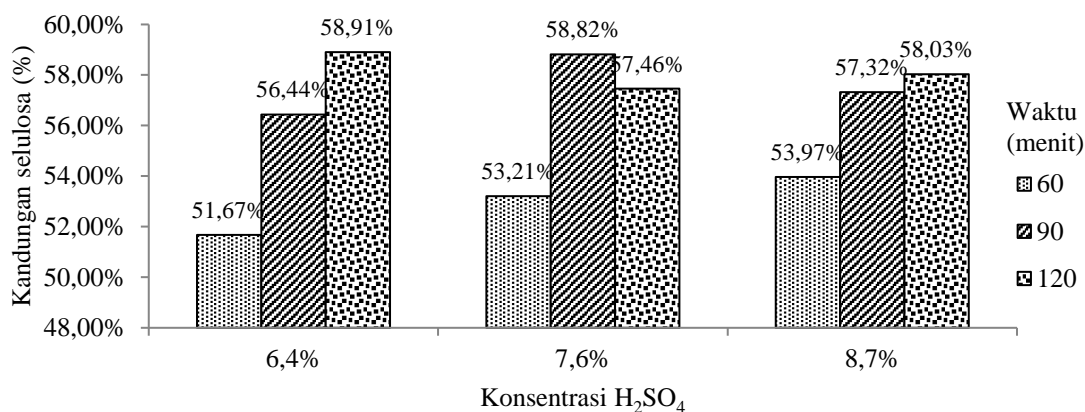
Hemiselulosa lebih mudah dihidrolisis dari pada selulosa, tapi lebih sulit difermentasi (Rilek et al., 2017). Kandungan hemiselulosa tertinggi setelah perlakuan konsentrasi H₂SO₄ 1 M dan waktu pemanasan terdapat pada perlakuan konsentrasi H₂SO₄ 8,7% 1 M dengan waktu pemanasan 90 menit yaitu 77,40% dan terendah pada perlakuan konsentrasi H₂SO₄ 8,7% dengan waktu pemanasan 60 menit yaitu 11,37%.

Kandungan hemiselulosa sebelum perlakuan sebesar 24,84% (SNI 0444:2009) (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2009), sedangkan setelah perlakuan dengan konsentrasi H₂SO₄ 1 M dan waktu pemanasan kandungan hemiselulosa terbaik yang dihasilkan sebesar 77,40%. Hal ini menunjukkan adanya reaksi setelah perlakuan konsentrasi H₂SO₄ 1 M dengan waktu pemanasan yang meningkatkan kandungan hemiselulosa sebesar 52,56%. Menurut Hartari et al (2021) kandungan hemiselulosa yang paling tinggi yaitu 18,25% dengan perlakuan NaOH 10% pada waktu delignifikasi 30 menit suhu 120°C. Sedangkan pada penelitian menggunakan Kolin Klorid (ChCl) menghasilkan hemiselulosa 20,28% (Yoricya et al., 2016), sehingga penelitian yang dilakukan dengan modifikasi delignifikasi bertekanan dan asam asetat lebih optimal menghasilkan hemiselulosa.

Selulosa

Selulosa adalah biopolimer dan senyawa organik yang melimpah di Bumi. Selulosa terdiri dari beberapa unit D-glukopiranososa dan dihubungkan oleh ikatan 1,4 β-glikosidik. Molekul Selulosa berbentuk lurus dan gugus hidroksil bebas membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil selulosa lainnya yang terletak sejajar (paralel) dengan selulosa. Sekitar 80 molekul selulosa bergabung untuk membentuk suatu mikrofibril yang biasanya merupakan unit struktur utama dari dinding sel tumbuhan. Rerata kandungan selulosa pada perlakuan konsentrasi H₂SO₄ dan waktu pemanasan dapat dilihat pada Gambar 2.

Hasil pengujian kandungan selulosa pada Gambar 2 menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi H₂SO₄ 1 M dengan waktu pemanasan memberikan reaksi terhadap kandungan selulosa. Hal ini diduga karena konsentrasi H₂SO₄ 1 M yang tinggi dan waktu pemanasan tinggi dapat mempercepat reaksi kimia pada proses delignifikasi lignin yang mengikat selulosa pada TKKS. Konsentrasi H₂SO₄ tinggi dan waktu tinggi dapat mempercepat terjadinya pergerakan molekul H₂SO₄ dan molekul lignin yang mengikat selulosa.

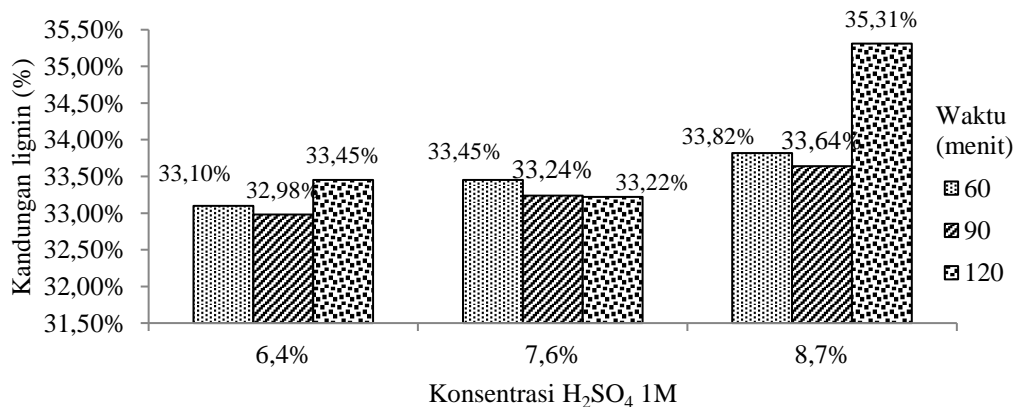


Gambar 2. Kandungan selulosa pada perlakuan konsentrasi H₂SO₄ dan waktu pemanasan

Kandungan selulosa sebelum perlakuan sebesar 37,53% SNI 0444 tahun 2009 (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2009), sedangkan setelah perlakuan dengan konsentrasi H₂SO₄ 1 M dan waktu pemanasan kandungan selulosa terbaik yang dihasilkan sebesar 58,91%. Hal ini menunjukkan adanya reaksi setelah perlakuan konsentrasi H₂SO₄ dengan waktu pemanasan yang meningkatkan kandungan selulosa sebesar 21,38%. Hasil yang diperoleh ini juga lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian Yoricya et al. (2016) hanya menghasilkan 40,33% dengan menggunakan Kolin Klorid (ChCl). Pada penelitian menggunakan basa NaOH, kandungan selulosa yang dihasilkan yaitu 58,33%, dan hampir mendekati hasil selulosa menggunakan modifikasi delignifikasi bertekanan dan asam asetat (Hartari et al., 2021).

Lignin

Lignin adalah polimer fenolik kompleks yang bertindak sebagai penghalang, pelindung membungkus selulosa dan hemiselulosa. Komponen tersebut juga menyediakan dukungan struktural untuk dan transportasi air di dalam tumbuhan. Namun, lignin menjadi kendala utama dalam degradasi selulosa dan hemiselulosa, dengan keterkaitannya yang tidak teratur dan urutan komponen yang tidak berulang. Kompleksitas polimer ini disebabkan oleh tiga monolignol komponen, termasuk pcoumaryl, coniferyl, dan sinapyl alkohol dan banyak turunannya, berpolimerisasi menjadi jaringan tidak teratur melalui sejumlah hubungan yang berbeda (Rachim, 2012).



Gambar 3. Kandungan lignin pada perlakuan konsentrasi H₂SO₄ dan waktu pemanasan

Hasil pengujian pada Gambar 3 merupakan kadar lignin yang tertinggal dalam holoselulosa. Pada diagram di atas menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi H_2SO_4 dengan waktu pemanasan memberikan reaksi terhadap kandungan lignin. Hal ini diduga karena kandungan H_2SO_4 pada proses delignifikasi terhadap lignin mampu mengikat kandungan selulosa pada TKKS. Selain itu, perlakuan waktu pemanasan dapat membantu kinerja H_2SO_4 dalam memutus ikatan lignin yang melindungi selulosa pada TKKS.

Kadar lignin setelah dilakukan hidrolisis menggunakan konsentrasi H_2SO_4 6,4%, 7,6%, 8,7% 1 M dengan waktu 60, 90, 120 menit mengalami peningkatan dari 32,98% menjadi 35,31%. Hal ini diduga disebabkan selulosa dan hemiselulosa terhidrolisis sedangkan lignin tidak terhidrolisis (Sukowati, 2014).

Lignin sulit didegradasi karena strukturnya yang kompleks. Kandungan sisa lignin terkecil setelah perlakuan konsentrasi H_2SO_4 1 M dan waktu pemanasan terdapat pada perlakuan konsentrasi H_2SO_4 6,4% 1 M dengan waktu pemanasan 90 menit yaitu 32,98% dan sisa lignin terbesar pada perlakuan konsentrasi H_2SO_4 8,7% dengan waktu pemanasan 120 menit yaitu 35,31%. Konsentrasi asam yang tinggi membuat suasana asam, dan menyebabkan lignin mengendap. Menurut Yoricya et al (2016) pada penelitian yang dilakukan menggunakan Kolin Klorid ($ChCl$) menghasilkan lignin 3,77% hingga 16,45%. Oleh karena itu, penggunaan metode modifikasi delignifikasi ini dapat mengoptimalkan hasil lignin.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil lignoselulosa tandan kosong kelapa sawit optimal menggunakan modifikasi delignifikasi bertekanan dan asam asetat. Hasil hemiselulosa terbaik yaitu 77,40% pada perlakuan konsentrasi H_2SO_4 8,7% dengan waktu pemanasan 90 menit. Hasil Selulosa terbaik yaitu 58,91% pada perlakuan konsentrasi H_2SO_4 6,4% dengan waktu pemanasan 90 menit. Hasil lignin terbaik yaitu 58,91% pada perlakuan konsentrasi H_2SO_4 6,4% dengan waktu pemanasan 90 menit. Oleh karena itu dapat menjadi metode untuk menghasilkan lignoselulosa dalam dunia industri.

Saran

Penelitian ini akan dilanjutkan dalam perhitungan nilai ekonomis untuk dijadikan produk samping yang bernilai jual tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih kepada DIPA Politeknik Negeri Lampung No. 209.45/PL 15.8/PT/2021 yang telah memberikan suport dana penelitian, dan seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2009). *Pulp-Cara Uji Kadar Selulosa Alfa, Beta, dan Gamma*. In SNI 0444.
- Dewanti, D. P. (2018). Potensi selulosa dari limbah tandan kosong kelapa sawit untuk bahan baku bioplastik ramah lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 81-88.

<https://doi.org/10.29122/jtl.v19i1.2644>

- Ditjen Perkebunan. (2017). *Prospek Perkebunan dan Industri Minyak Kelapa Sawit di Indonesia*. PT Bisinfocus Kelapa Sawit.
- Hartari, W. R., Delvitasari, F., Saron, & Undadraja, B. (2021). Delignification of oil palm empty bunch with compressive heat and naoh concentration in separate lignosellulose. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1012(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1012/1/012056>
- Haryanti, A., Norsamsi, N., Fanny Sholiha, P. S., & Putri, N. P. (2014). Studi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit. *Konversi*, 3(2), 20. <https://doi.org/10.20527/k.v3i2.161>
- Juanda, Irfan, & Nurdiana. (2011). Pengaruh metode dan lama fermentasi terhadap mutu MoL (mikroorganisme lokal). *J. Floratek*, 5(6), 140–143.
- Kahfi, S. A. (2019). *Delignifikasi Biomassa Lignoselulosa Menggunakan Enzim Dari Larva Cossus-Cossus Dalam Produksi Biofuel Generasi Kedua* [Unpublished undergraduate thesis]. Universitas Islam Negeri Alauddin.
- Manalu, H. V., Wibisono, Y., & Indriani, D. W. (2020). Hidrolisis hemiselulosa pada kulit pisang ambon hong (*Musa acuminata*) menggunakan katalis asam sulfat (H₂SO₄) pada produksi xilosa. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 8(1), 46–56. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2020.008.01.05>
- Purba, J. H. V., & Sipayung, T. (2017). Perkebunan kelapa sawit indonesia dalam perspektif pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Masyarakat Indonesia*, 43(1), 81-94.
- Rachim, P. (2012). Pembuatan surfaktan natrium lignosulfonat dari tandan kosong kelapa sawit dengan sulfonasi langsung. *Jurnal Teknik Kimia*, 18(1), 41–46.
- Rilek, N. M., Hidayat, N., & Sugiarto, Y. (2017). Hidrolisis lignoselulosa hasil pretreatment pelepah sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) menggunakan H₂SO₄ pada produksi bioetanol. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 6(2), 76–82. <https://doi.org/10.21776/ub.industria.2017.006.02.3>
- Rodiansono, R., Utami, U. B. L., Widyastuti, N., Wulandari, P. C., & Risnawati, I. (2016). Hidrolisis lignoselulosa dari tandan kosong kelapa sawit menggunakan katalis asam karboksilat. *Jurnal Ilmiah Berkala Sains dan Terapan Kimia*, 7(1), 60–71.
- Santoso, S. (2010). *Palm Oil Boom in Indonesia: From Plantation to Downstream Products and Biodiesel*, Clean (Vol. 36, Issue 5).
- Saputra, B. Y. E., Fahmi, M. F., & Widjaja, T. (2022). Fraksinasi lignoselulosa dari TKKS dengan metode steam explosion pretreatment disertai penambahan asam formiat. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2), 67-72. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i2.89395>
- Sari, R. M. (2016). *Optimasi Produksi Bioetanol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Metode Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak* [Unpublished undergraduate thesis]. Universitas Lampung.
- Sukowati, A., Sutikno, & Rizal, S. (2014). Produksi bioetanol dari kulit pisang melalui hidrolisis asam sulfat. *Jurnal Teknologi dan Industri Hasil Pertanian*, 19(3), 274–288.
- Susilo, B., Agustiningrum, D. A., & Indriani, D. W. (2017). Pengaruh Penyimpanan atmosfer

termodifikasi (modified atmosphere storage/MAS) terhadap karakteristik jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*). *Agritech*, 36(4), 369. <https://doi.org/10.22146/agritech.16758>

Yoricya, G., Dalimunthe, S. A. P., Manurung, R., & Bangun, N. (2016). Hidrolisis hasil delignifikasi tandan kosong kelapa sawit dalam sistem cairan ionik choline chloride. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(1), 27–33.