

PENGARUH SUHU DAN WAKTU EKSTRAKSI TERHADAP KANDUNGAN SELULOSA PADA LIMBAH KELAPA SAWIT

Atika Nandini, Kindriari Nurma Wahyusi*, Aditya Arinton, M. Rizky Maulana

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik & Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Jalan Raya Rungkut Madya No.1 Gunung Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60249

*Penulis korespondensi: kindriari.tk@upnjatim.ac.id

Abstrak

Komponen penyusun utama dari limbah kelapa sawit diantaranya adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Komponen selulosa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk bahan bakar cair (bioethanol, biodiesel, dll) maupun sebagai bahan baku untuk pembuatan nanokomposit. Proses pemisahan atau ekstraksi dibutuhkan untuk memisahkan komponen selulosa tersebut dari komponen-komponen penyusun lainnya. Parameter waktu, suhu dan konsentrasi pelarut menjadi faktor-faktor penentu proses ini. Tujuan penelitian ini antara lain mempelajari pengaruh waktu dan suhu terhadap proses ekstraksi selulosa dengan menggunakan metode organosol). Tahapan proses pada penelitian ini diantaranya adalah proses ekstraksi dengan pelarut etanol 96% dan katalis asam sulfat 5%, kemudian dilanjutkan dengan proses bleaching menggunakan hidrogen peroksida dengan konsentrasi 2%, serta tahapan akhir pengeringan hasil ekstrak selulosa dengan oven pada suhu 60°C. Hasil ekstraksi selulosa dianalisa persentase kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin dengan metode kuantitatif Chesson. Serbuk selulosa juga dianalisa secara organoleptik berdasarkan standar SNI 0444-2009. Kandungan selulosa tertinggi dengan kadar sebesar 58,71% didapatkan pada kondisi suhu 170°C serta waktu ekstraksi selama 150 menit, sehingga kondisi tersebut ditetapkan sebagai kondisi optimum. Hasil analisa organoleptik menunjukkan bahwa serbuk selulosa ini telah sesuai dengan standar SNI 0444 2009.

Kata kunci: limbah kelapa sawit, organosolv, kandungan selulosa, ekstraksi, bleaching

THE EFFECT OF TEMPERATURE AND EXTRACTION TIME ON CELLULOSE CONTENT OF WASTE PALM OIL

Abstract

Waste oil palm consists of cellulose, hemicellulose, and lignin. Cellulose can be utilized as a raw material for liquid fuels (bioethanol, biodiesel, etc.) or as a material for nanocomposites production. A separation or extraction process was required to extract cellulose from other components. The parameters of time, temperature, and solvent concentration were critical factors for this process. This study aims to determine effects of time and temperature on the cellulose extraction process by using the organosolv method. The process including extraction process by using 96% of ethanol as solvent and 5% sulfuric acid as catalyst, followed by a bleaching process by using 2% of hydrogen peroxide, and drying process for cellulose by using oven at 60°C. The extract was analyzed for cellulose, hemicellulose, and lignin content by using the Chesson quantitative method. Additionally, the cellulose powder was evaluated organoleptically based on the SNI 0444-2009 method. The highest cellulose content of 58.71% was achieved at temperature of 170°C and extraction time of 150 minutes, which was determined as the optimum condition. The organoleptic analysis results indicated that the cellulose powder according to the SNI 0444-2009 standard.

Key words: waste palm oil, organosolv, cellulose content, extraction, bleaching

PENDAHULUAN

Pada tahun 2020, produksi minyak kelapa sawit (CPO) mengalami peningkatan sebesar 12,92% menjadi 48,42 juta ton (BPS, 2019). Limbah padat kelapa sawit sebesar 22-23% dihasilkan dari setiap satu ton produksi minyak kelapa sawit (Fuadi dan Her, 2016). Limbah padat kelapa sawit adalah salah satu limbah yang masih kurang dimanfaatkan di Indonesia. Limbah ini terdiri dari serabut (13%), cangkang (6,5%) serta tandan (23%) dan merupakan biomasa lignoselulosa yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pada industri. Komponen utama penyusun limbah padat kelapa sawit adalah selulosa (45,95%), hemiselulosa (16,49%) dan lignin (22,48%) (Wardani, 2014).

Selulosa, komponen dengan komposisi terbesar pada limbah kelapa sawit, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar cair ramah lingkungan misalnya bioetanol, biodiesel dan biofuel. Selain itu, selulosa dapat juga digunakan sebagai pelarut organik, polimer, serta menjadi bahan baku pembuatan nanokomposit (Darojati, 2020). Proses pemisahan komponen penyusun (selulosa, hemiselulosa dan lignin) dapat dilakukan dengan menggunakan 3 metode antara lain *organosolv* (dengan pelarut organik), *kraft* (dengan pelarut alkali), dan *sulfide* (dengan pelarut bisulfid/ sulfida). Proses ekstraksi selulosa dapat dilakukan dengan menggunakan modifikasi proses mekanik (pengecilan ukuran bahan baku) dan ekstraksi dengan menggunakan pelarut kimia (organik, asam atau basa). Metode *organosolv* merupakan proses ekstraksi dengan menggunakan pelarut organik (seperti etanol, metanol, aseton, etilen glikol) serta ditambahkan katalis yang berupa asam atau basa (Darojati, 2020). Pelarut etanol merupakan pelarut organik yang sering digunakan karena mudah didapat dan ramah lingkungan. Larutan asam atau basa sering digunakan sebagai katalis karena mampu mempermudah proses difusi etanol ke struktur material serta dapat membantu mendegradasi komponen lignin. Asam sulfat (H_2SO_4) dan natrium hidroksida (NH_4OH) sering digunakan sebagai katalis dikarenakan kedua larutan tersebut tidak bereaksi dengan etanol dan juga dapat *direcycle* dengan mudah sehingga dapat digunakan kembali (Mesa, 2011).

Pemilihan proses ekstraksi dengan metode *organosolv* dengan pertimbangan bahwa proses dengan menggunakan pelarut organik lebih efektif karena menghasilkan kandungan selulosa dengan kemurnian tinggi, prosesnya tidak menimbulkan pencemaran lingkungan dan dapat efektif dalam proses mendegradasi lignin (Purnawan, 2012). Pada metode *organosolv* ini, suhu dan waktu reaksi menjadi faktor penentu utama, sehingga kondisi optimal dari kedua faktor tersebut dapat meminimalkan degradasi selulosa dan mampu mempertahankan sifat-sifat selulosa (Zhang, 2017).

Proses *bleaching* dengan menggunakan larutan alkali hidrogen peroksida (H_2O_2) dipilih karena

larutan H_2O_2 merupakan larutan berbasis oksigen yang efektif dan efisien. Proses ini mampu menghilangkan sisa kandungan lignin dengan cara memutuskan rantai-rantai pendek lignin. Tingkat kecerahan selulosa yang dihasilkan pada waktu *bleaching* kurang dari 1,5 jam masih sangat rendah sehingga dipilih kondisi optimum untuk proses *bleaching* antara lain suhu $80^\circ C$ dan waktu 1,5 jam. Pemurnian selulosa dilakukan dengan menggunakan larutan H_2O_2 10% sebanyak 500 ml selama 1,5 jam pada suhu $85-90^\circ C$ (Dewanti, 2018).

Penelitian yang berkaitan dengan ekstraksi selulosa telah dilakukan oleh peneliti antara lain: Darojati et al (2020) melakukan penelitian ekstraksi selulosa dengan menggunakan pelarut etanol 96% dan katalis larutan NH_4OH 5%, TKKS biomasa loading 10% pada kondisi suhu $160^\circ C$ selama 120 menit menghasilkan kandungan (*yield*) selulosa sebesar 98,07%. Dewati (2018) melakukan penelitian ekstraksi selulosa dengan menggunakan natrium hidroksida ($NaOH$) 12% selama 3 jam untuk proses delignifikasi dan dilanjutkan proses *bleaching* dengan larutan hidrogen peroksida (H_2O_2) 10% selama 1,5 jam didapatkan *yield* selulosa sebesar 34%. Metode *organosolv* yang dengan menggunakan pelarut etanol dan katalis larutan asam atau basa mampu menghasilkan kandungan (*yield*) selulosa yang tinggi dibandingkan dua metode yang lain. Serta dengan adanya penggunaan pelarut organik, pelarut dapat *direcycle* sehingga metode ini dapat dikatakan ramah lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu ekstraksi pada kandungan selulosa dari limbah padat kelapa sawit dengan pelarut etanol 96% dan katalis H_2SO_4 5%. Pemilihan parameter suhu dan waktu ekstraksi adalah dengan pertimbangan bahwa kedua parameter tersebut merupakan faktor penentu dari proses ekstraksi ini. Penelitian ini juga bertujuan untuk menghasilkan serbuk selulosa yang sesuai dengan standar SNI 0444-2009.

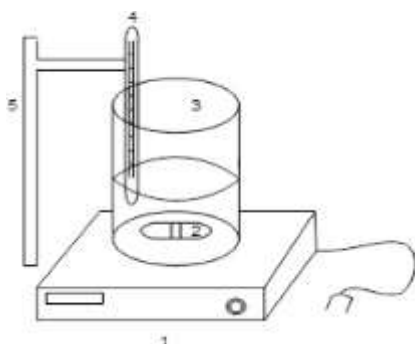
METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan utama yang digunakan yaitu limbah padat kelapa sawit yang diperoleh dari PT. Raya Padang Langkat, Sumatera Utara. Bahan pendamping antara lain etanol 96%, hidrogen peroksida (H_2O_2) 3% dan asam sulfat (H_2SO_4) 98% dibeli di toko bahan kimia Tidar, Surabaya.

Alat

Rangkaian alat yang digunakan untuk proses ekstraksi selulosa digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat ekstraksi

Keterangan:

1. *Hot plate magnetic stirrer*
2. *Magnetic Capsule*
3. *Beaker Glass*
4. *Thermocouple*
5. Statif dan klem

Prosedur Penelitian

Persiapan bahan baku

Limbah padat kelapa sawit dicuci bersih dan dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama 2 jam. Kemudian dihancurkan dengan menggunakan mill dan diayak menggunakan ayakan ukuran 30 mesh. Serbuk limbah kelapa sawit dianalisa kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Ekstraksi selulosa

Serbuk limbah kelapa sawit ditimbang sebanyak 20 gram, ditambahkan pelarut etanol 96% sebanyak 500 ml, katalis asam sulfat (H₂SO₄) 5% sebanyak 25 ml dan aquadest. Proses ekstraksi selulosa dilakukan pada kondisi **variasi parameter** antara lain : suhu (140°C; 150°C; 160°C; 170°C; 180°C) dan waktu ekstraksi (90; 105; 120; 135; 150 menit) dengan menggunakan *hot plate magnetic stirrer* pada kecepatan pengadukan konstan yaitu 150 rpm.. Hasil ekstraksi difiltrasi, kemudian endapan dicuci dengan aquadest dan dilakukan proses pengeringan pada suhu 60°C selama 2 jam. Tahapan proses selanjutnya yaitu proses *bleaching* dengan menggunakan larutan hidrogen peroksida (H₂O₂) 2% sebanyak 500 ml pada suhu 85°C selama 2 jam. Larutan akan disaring dan endapan akan dikeringkan menggunakan oven (T= 60°C; t=2 jam) untuk dilakukan uji kadar lignoselulosa.

Menghitung %rendemen selulosa

Rendemen adalah perbandingan antara berat selulosa yang terekstrak dan berat sampel limbah padat kelapa sawit yang digunakan. Analisa digunakan untuk menghitung tingkat efisiensi selulosa yang dihasilkan. Perhitungan rendemen dapat menggunakan rumus pada persamaan 1.

$$\text{Rendemen selulosa (\%)} = \frac{\text{berat selulosa yang terekstrak (gr)}}{\text{berat sampel limbah padat kelapa sawit (gr)}} \times 100\% \quad (1)$$

Analisa kadar (%) lignoselulosa

Analisa kadar lignoselulosa (selulosa, lignin, dan hemiselulosa) dilakukan dengan menggunakan metode Chesson (Hartari, 2023). Metode Chesson sendiri merupakan analisa gravimetri untuk masing-masing komponen. Perhitungan dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

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

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

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

Keterangan :

a= berat awal sampel yang telah dikeringkan (gr)

b= berat residu sampel setelah refluks pertama (gr)

c= berat residu sampel setelah refluks kedua (gr)

d= berat residu sampel setelah refluks ketiga (gr)

e= berat abu dari hasil residu sampel (d) (gr)

Selain itu, dilakukan juga analisa organoleptik sesuai dengan standar SNI 0444-2009. Analisa kualitatif (Chesson) maupun organoleptik dilakukan di laboratorium gizi, Universitas Airlangga Surabaya.

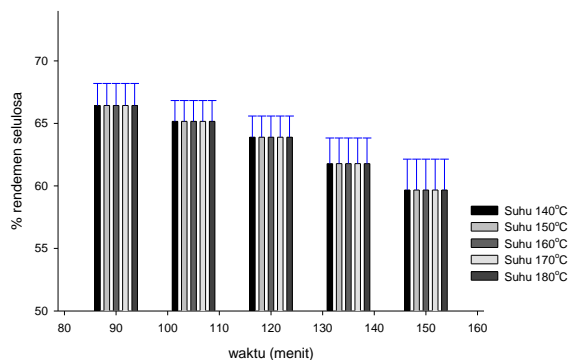
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa komponen awal limbah padat kelapa sawit

Analisa komponen awal dilakukan di Laboraturium Gizi, Universitas Airlangga Surabaya. Hasil analisa awal kandungan limbah kelapa sawit memiliki komposisi antara lain selulosa sebanyak 26,21%; hemiselulosa sebanyak 20,34% dan lignin sebanyak 27,12%.

Hasil % rendemen selulosa

Rendemen merupakan perbandingan antara berat selulosa yang terekstrak dan berat sampel limbah padat kelapa sawit yang digunakan. Rendemen selulosa dapat dianalisa dengan menggunakan metode gravimetri yaitu menimbang berat selulosa (sampel kering) yang didapat setelah proses ekstraksi. Berdasarkan hasil perhitungan rendemen, dihasilkan rendemen selulosa tertinggi sebesar 68,06% pada kondisi operasi suhu 150°C selama 90 menit.



Gambar 2. %Rendemen selulosa pada perlakuan variasi suhu dan waktu ekstraksi

Berdasarkan **gambar 2** dapat dilihat bahwa hubungan antara waktu isolasi dengan rendemen yang dihasilkan berbanding terbalik, semakin lama waktu isolasi maka akan semakin berkurang rendemen selulosa yang dihasilkan. Penurunan rendemen selulosa ini disebabkan karena pada proses pencucian, komponen lignoselulosa pada limbah padat kelapa sawit terhidrolisis menjadi glukosa. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Safrizal, 2022) dimana pecahnya komponen hemiselulosa dan lignin menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti glukosa yang larut dalam air dapat berpengaruh terhadap selulosa yang dihasilkan. Selain itu, penurunan rendemen seiring bertambahnya waktu juga sesuai dengan teori yang ada, dimana penurunan rendemen ini dikarenakan waktu isolasi yang lebih lama sehingga menyebabkan senyawa yang memiliki sisi aktif ikut terlarut dalam pelarut yang pada penelitian ini digunakan pelarut etanol (Listyorini, 2017).

Hasil analisa komponen lignoselulosa

Hasil analisa kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil analisa diketahui bahwa kandungan lignin dan hemiselulosa menurun setelah proses ekstraksi dan bleaching, sedangkan untuk kandungan selulosa mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan adanya pemecahan struktur komponen lignin sehingga mengakibatkan terbukanya struktur lignoselulosa. Struktur lignoselulosa yang telah terbuka kemudian membuat komponen hemiselulosa di dalam serat ikut terlarut bersama pelarut etanol sehingga komponen hemiselulosa berkurang. Kadar lignin juga mengalami penurunan disebabkan adanya reaksi antara ion hidroksil (OH⁻) pada pelarut etanol dan hidrogen peroksida bereaksi dengan lignin sehingga dapat memecah struktur lignin (Mayangsari, 2019).

Proses ekstraksi yang ideal yaitu mampu memperoleh komposisi selulosa dan hemiselulosa yang tinggi, serta degradasi lignin yang signifikan.

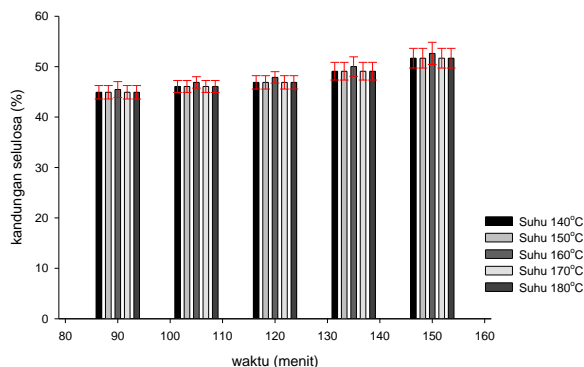
Tabel 1 menunjukkan bahwa pada kondisi suhu 170°C dan waktu ekstraksi selama 150 menit, diperoleh kandungan selulosa yang tinggi sebesar

58,71%, kandungan hemiselulosa sebesar 15,33% serta kandungan lignin yang kecil sebesar 17,20%. Menurut Salsabila (2021), faktor-faktor yang berpengaruh antara lain suhu dan waktu ekstraksi.

Tabel 1. Hasil analisa komponen lignoselulosa

Suhu	Waktu (Menit)	Selulosa (%)	Hemiselulosa a (%)	Lignin (%)
140°C	90	42,75	14,34	13,88
	105	42,83	13,28	12,85
	120	42,92	12,23	11,82
	135	45,39	12,18	11,17
	150	47,87	12,12	10,52
150°C	90	43,12	17,84	15,88
	105	44,79	17,26	15,74
	120	44,80	16,99	14,47
	135	44,81	16,72	13,21
	150	48,21	14,98	13,01
160°C	90	43,54	14,33	20,08
	105	46,13	13,81	19,96
	120	48,71	13,30	19,85
	135	49,97	13,26	19,62
	150	51,23	13,21	19,4
170°C	90	45,21	17,17	22,31
	105	46,51	16,33	20,85
	120	47,81	15,49	19,40
	135	54,04	15,50	18,80
	150	58,71	15,33	17,20
180°C	90	49,98	16,23	22,65
	105	50,07	16,09	21,76
	120	50,16	15,96	20,87
	135	51,25	15,58	20,79
	150	52,35	15,21	20,72

Proses ekstraksi dengan menggunakan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terbentuknya senyawa inhibitor, sedangkan jika suhu yang digunakan terlalu rendah maka hasil kandungan selulosa yang rendah. Proses ekstraksi selulosa dengan menggunakan pelarut etanol 96% dan katalis asam sulfat memecah struktur lignoselulosa dan larutan asam sulfat dengan konsentrasi rendah digunakan untuk mencegah selulosa ikut terdegradasi (Novia, 2017). Pengurangan kadar lignin terjadi secara signifikan yaitu sebesar 61,18%. Terjadi peningkatan suhu ekstraksi dapat berpengaruh terhadap peningkatan laju reaksi kimia dan solubilitas lignin dalam pelarut. Semakin besar waktu ekstraksi, memungkinkan terjadinya reaksi untuk memecah ikatan struktur lignin. Sehingga pengurangan kadar lignin terjadi secara signifikan. Namun, pada waktu tertentu pengurangan lignin mencapai titik jenuh dan peningkatan waktu lebih lanjut tidak memberikan peningkatan signifikan dalam pengurangan kadar lignin (Alrios, 2016).



Gambar 3. Kandungan selulosa (%) pada perlakuan variasi suhu dan waktu ekstraksi

Kandungan selulosa (%) merupakan rasio perbandingan antara komponen selulosa hasil ekstraksi dengan berat sampel limbah padat kelapa sawit. Hasil analisa kandungan selulosa diperoleh dengan menggunakan metod Chesson. **Gambar 3** menunjukkan bahwa hasil ekstraksi selulosa dengan menggunakan pelarut etanol 96% dan katalis asam sulfat 5% diperoleh kandungan selulosa sebesar 58,71% pada kondisi operasi antara lain waktu ekstraksi 150 menit dan suhu 170°C. Selulosa dari hasil ekstraksi dan proses *bleaching* ini mencapai 75% dari total selulosa yang terkandung dalam limbah padat kelapa sawit. Penelitian yang dilakukan oleh Darojati et al (2020) terkait ekstraksi selulosa menghasilkan kandungan (*yield*) selulosa sebesar 98,07% dengan kondisi operasi antara lain pelarut etanol 96% dan katalis larutan NH₄OH 5%, TKKS biomasa loading 10% pada kondisi suhu 160 selama 120 menit. Kandungan selulosa sebanyak 80% diperoleh pada kondisi optimum yaitu pelarut etanol 60-90% dan katalis asam sulfat selama 2 jam, serta selulosa sebanyak 72,3% diperoleh dengan menggunakan pelarut asam asetat 50-90% dan katalis asam sulfat selama 2 jam (Artati, 2009).

Jumlah selulosa yang terekstrak dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya adalah konsentrasi pelarut (etanol), suhu ekstraksi, waktu ekstraksi serta karakteristik dari bahan baku utamanya (limbah padat kelapa sawit).

Analisa organoleptik menurut SNI

Berdasarkan hasil analisa kandungan lignoselulosa, didapatkan kandunga selulosa tertinggi sebesar 58,712% dengan rendemen sebesar 64,358% (pada suhu 170°C dan waktu ekstraksi 150 menit). Pengujian kadar selulosa pada hasil tersebut dilakukan dengan menggunakan standar SNI 0444 tahun 2009. Serbuk selulosa *alpha* adalah bagian pulp yang tidak larut baik dalam larutan NaOH 17,5% maupun asam lemah 9,45%, dan juga memiliki berat molekul yang besar.

Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil analisa serbuk selulosa termasuk selulosa *alpha*. Hal ini dikarenakan serbuk selulosa tidak larut dalam air, larutan NaOH 17,5% maupun larutan asam lemah

9,45%. Sehingga dapat dikatakan bahwa serbuk selulosa hasil ekstraksi telah sesuai dengan standar SNI 0444-2009.

Tabel 2. Hasil analisa serbuk selulosa berdasarkan standar SNI 0444-2009

Pemeriksaan	Persyaratan sesuai SNI 0444-2009	Serbuk selulosa
Organoleptik		
. Bentuk	serbuk	serbuk
. Warna	putih	putih agak kekuningan
. Bau	tidak berbau	tidak berbau
. Rasa	tidak berasa	tidak berasa
pH	5-7,5	6,5
Kelarutan		
. Dalam air	tidak larut	tidak larut
. Dalam NaOH 17,5%	tidak larut	tidak larut
. Dalam asam lemah 9,45%	tidak larut	tidak larut

SIMPULAN

Suhu dan waktu ekstraksi merupakan parameter penentu dari proses ekstraksi selulosa. Hasil analisa kandungan selulosa tertinggi sebesar 58,712% diperoleh dengan perlakuan waktu ekstraksi selama 150 menit suhu 170°C, sehingga kondisi tersebut ditentukan sebagai kondisi optimum. Serbuk selulosa yang dihasilkan dengan ekstraksi metode organosolv ini telah sesuai dengan standar SNI 0444-2009, sehingga selulosa ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku antara lain nanokomposit maupun bahan bakar cair.

DAFTAR PUSTAKA

Alriols, M.G., Fullana, A., Beltrán, M., and García-Aparicio, M.P. 2016. “Advances in Organosolv Lignin Fractionation and Valorization for Bio-Based Materials”. *Bioresource Technology Journal*. 200. pp. 57-70.

Artati, E.K., Effendi, A. dan Haryanto, T. 2009. “Pengaruh Konsentrasi Larutan Pemasak pada Proses Delignifikasi Eceng Gondok dengan Proses Organosolv”. *EKUILIBRIUM*. Vol. 8, No. 1, hal 25-28.

Badan Pusat Statistik. 2019. “Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2019”. Penerbit BPS. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2009. SNI 0444- 2009. “Syarat Mutu dan Cara Uji Selulosa”. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.

Darojati, H.A., Purwadi, R. and Rasrendra, C.B., 2020. “Proses Isolasi selulosa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit melalui Metode Organosolv Etanol dengan Penambahan Katalis”. *Jurnal Selulosa*. Vol. 10(2). pp.73-80.

- Dewanti, D.P.A., 2018. "Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bhan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan". *Jurnal Teknologi Lingkungan*. Vol. 19, No. 1. hal. 81-88.
- Fuadi, A. M., and Pranoto, H. 2016. "Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Pembuatan Glukosa". *Chemica*. Vol. 3, pp. 2355-8776.
- Hartari, W. R., Delvitasari, F., Maryanti, M., Undadrajaja, B., Hasbullah, F. Dan Deksono, G.A. 2023. "Pengujian Lignoselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Waktu Delignifikasi H₂SO₄ menggunakan Uap Bertekanan". *Jurnal Agro Industri Perkebunan*. Vol. 11, No. 3. hal 151-158.
- Haryanti, A., Norsamsi, N., Sholiha, P.S.F. and Putri, N.P., 2014. "Studi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit". *Konversi*. Vol. 3 No. 2. pp.57-66.
- Hermiati, E., Mangunwidjaja, D., Sunarti, T.C., Suparno, O. and Prasetya, B., 2010. "Pemanfaatan biomassa lignoselulosa ampas tebu untuk produksi bioetanol". *Jurnal Litbang Pertanian*. Vol. 29(4). pp.121-130.
- Kamal, N., 2014. "Karakterisasi dan potensi pemanfaatan limbah sawit". ITENAS, Bandung.
- Kautto, J., Realf, M.J. and Ragauskas, A.J., 2013. "Design and simulation of an organosolv process for bioethanol production". *Biomass Conversion and Biorefinery*. Vol. 3(3). pp.199-212.
- Listyorini, R., 2017. "Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat dan Lama Perendaman Terhadap Kuat Lentur Kayu Kelapa Implementasi". *Buku Ajar Mata Kuliah Ilmu Bahan Bangunan*.
- Mayangsari, N.E., Apriani, M. dan Veptiyan, E.D. 2019. "Pemanfaatan Limbah Daun Nanas sebagai Adsorben Logam Berat Cu". *Journal of Research and Technology*. Vol.5, No. 2. hal 129-138.
- Mesa, L., Gonzalez, E., Cara, C., Gonzalez, M., Castro, E., and Mussatto, S.I., .2011. "The Effect of Organosolv Pretreatment Variables on Enzymatic Hydrolysis of Sugarcane Bagasse", *Chemical Engineering Journal*, Vol. 168, pp. 1157-1162.
- Novia, N., 2017. "Delignifikasi tandan kosong kelapa sawit dilanjutkan dengan hidrolisis bertahap untuk menghasilkan glukosa". *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*,. Vol. 23(1). p.77888.
- Purnawan, C., Hilmiyana, D., Wantini, W. and Fatmawati, E., 2012. "Pemanfaatan limbah ampas tebu untuk pembuatan kertas dekorasi dengan metode Organosolv". *Ekosains*. Vol. 4 No. 2.
- Safrizal, D., Herry, M., Rahmadhani, N.D., dan Satriananda, S. 2022. "Pembuatan Kertas Komposit dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Limbah Kertas HVS". *Jurnal Reaksi (Journal of Science and Technology)*. Vo. 20, No.1, hal 1-8.
- Salsabila, S.R., Hasanah, A.S., Widyanti, E.M. and Elizabeth, L. 2021. "Studi Literatur Pengaruh Kondisi Operasi Isolasi TKKS dengan Proses *Organosolv* terhadap Kadar Selulosa dan Lignin". In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* . Vol. 12. pp. 770- 778.
- Sutini, S., Widiastuty, Y.R. and Ramadhani, A.N. 2019. "Hidrolisis Lignoselulosa dari Agricultural Waste Sebagai Optimasi Produksi Fermentable Sugar". *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*. Vol. 3(2). pp.59-68.
- Wardani, A. P. K., and Widiawati, D. 2014. "Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Material Tekstil Dengan Pewarna Alam Untuk Produk Kriya". *Jurnal Tingkat Sarjana bidang Senirupa dan Desain*, pp.1-10.
- Widiarsi, S.W., 2008. "Pengaruh bahan baku terhadap kadar senyawa fenol pembuatan asap cair (liquid smoke) dari limbah kelapa sawit di Kabupaten Pasir Kalimantan Timur". *Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada*.
- Zhang, A., Chen, L., and Zhang, X. 2017. "Organosolv Pulping: Methods and Applications". Springer.