

Studi Efektivitas Metode Ekstraksi Selulosa dari *Agricultural Waste*

Nafira Alfi Zaini Amrillah^{1,*}, Farrah Fadhillah Hanum², Aster Rahayu³

^{1,2,3}Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan,
Jl. Ringroad Selatan, Tamanan, Bantul, Yogyakarta, 55166

farrah.hanum@che.uad.ac.id

ABSTRAK

Potensi hasil pertanian di Indonesia yang cukup tinggi menyebabkan potensi limbahnya juga semakin besar sehingga pengolahan limbah yang bijak akan menentukan kemanfaatan dari limbah tersebut. Salah satu bagian limbah yang bisa diambil adalah selulosa, mengingat selulosa ini banyak dimanfaatkan dalam pembuatan kertas, plastik dan bahan industri lainnya. Untuk mendapatkan selulosa maka dilakukan proses delignifikasi yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan lignin dari bahan berlignoselulosa dalam hal ini adalah *agricultural waste*. Delignifikasi tersebut dapat dilakukan dengan beberapa metode meliputi perlakuan basa (modifikasi proses *bleaching*), enzimatik, *extrusion* dan Iradiasi Gelombang Mikro. Studi ini diharapkan dapat memberikan gambaran proses ekstraksi selulosa dari limbah pertanian dengan cara membandingkan beberapa metode tersebut berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya supaya peneliti selanjutnya dapat menentukan proses ekstraksi yang paling sesuai dengan kondisi dan tujuan penelitiannya.

Kata kunci: selulosa, ekstraksi, *agricultural*, limbah

ABSTRACT

The potential for agricultural products in Indonesia is quite high, causing the potential for waste to be even greater so that wise waste management will determine the benefits of the waste. One part of the waste that can be taken is cellulose, considering that cellulose is widely used in the manufacture of paper, plastics and other industrial materials. To get cellulose, a delignification process is carried out which aims to remove lignin content from lignocellulosic materials, in this case agricultural waste. The delignification can be done by several methods including alkaline treatment, (bleaching process modification) enzymatic, extrusion and Microwave Irradiation. This study is expected to provide an overview of the process of extracting cellulose from agricultural waste by comparing several of these methods based on previous studies so that future researchers can determine the extraction process that best suits the conditions and research objectives.

Keywords: cellulose, extrusion, agricultural, waste

1. PENDAHULUAN

Selulosa merupakan salah satu biopolimer yang memiliki sifat biokompatibilitas, biodegradable dan cukup ekonomis. Biopolimer ini tersedia di alam dengan jumlah yang cukup melimpah (Macías-Almazán et al., 2020). Selulosa terdiri dari ikatan glukosa yang tersusun dalam suatu rantai linier (Moon et al., 2011). Selulosa bersifat mudah dicetak

menjadi film kemasan. Kandungan selulosa dapat berasal dari beberapa sumber seperti bakteri, alga, tanaman tahunan, limbah hasil pertanian dan kayu (Nechyporchuk, 2015). Selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ menjadi salah satu sumber daya alam yang cukup melimpah di Indonesia. Selulosa merupakan bagian utama yang dapat dijumpai pada sebagian besar sel tumbuhan. Selulosa terbentuk dari monomer glukosa yang terdiri dari rantai panjang polimer. Selulosa bisa

diaplikasikan pada industri seperti kertas, *packaging*, tekstil dan produk turunannya (glukosa, selulosa asetat, alkohol dan lain-lain). Dalam lignoselulosa, selulosa terperangkap didalam hemiselulosa dan lignin. Jadi diperlukan suatu cara ekstraksi selulosa di dalam lignoselulosa tersebut (Trisanti et al., 2018).

Sumber utama selulosa adalah polisakarida dalam berbagai jenis tanaman yang sering dikombinasikan dengan biopolimer lainnya. Keberadaan utama selulosa adalah bahan lignoselulosa yang ada di hutan, dengan kayu sebagai sumber terpenting. Bahan yang mengandung selulosa lainnya termasuk residu pertanian, tanaman air, rumput dan zat tanaman lainnya (Gautam et al., 2010). Selain selulosa, mereka mengandung hemiselulosa lignin dan jumlah ekstraksi yang relatif kecil. (Tuomela et al., 2000).

Pada umumnya serat sintetis memiliki dampak yang tidak diinginkan terhadap lingkungan, kesehatan manusia, dan intensifikasi krisis energi global (Fiore et al., 2016). Hal ini dikarenakan serat sintetis membutuhkan energi yang tinggi dalam proses produksinya sehingga akan menghasilkan emisi gas rumah kaca cukup tinggi, dimana akan menyebabkan terperangkapnya panas dan berdampak menjadi penyakit pernapasan, akibat kabut asap dan polusi. Biodegradabilitas selulosa alami dari serat tumbuhan dianggap sebagai aspek yang paling vital dan luar biasa dalam pemanfaatannya sebagai pengisi bahan polimer sebab melimpahnya bahan, biaya dan konsumsi energi relatif rendah serta tidak beracun (Li et al., 2007).

Produk samping pertanian (limbah) dianggap sebagai sumber serat selulosa alami yang melimpah, terbarukan, murah dan berkelanjutan. Menurut data BPS (2016), total produksi gula, tepung sagu,

beras dan minyak goreng adalah 2,33 juta ton, 440,516 juta ton, 32,42 juta ton, dan 33,5 juta ton. Data produksi ini menunjukkan bahwa limbah yang dihasilkan dari proses ini memiliki volume yang besar. Volume sampah yang besar menghadirkan tantangan pembuangan sendiri. Penanganan yang biasa dilakukan adalah dengan menjadikannya makanan ternak (Mulyadi, 2019).

Oleh karena itu, keuntungan maksimum diperlukan agar limbah memiliki nilai yang lebih tinggi. Salah satu komponen limbah adalah selulosa yang bersifat ramah lingkungan, biokompatibel, dan sangat rentan terhadap derivatisasi kimia (Ekebafe et al., 2011). Produk sampingan dari tanaman pangan utama, termasuk jerami gandum, sekam jagung, sekam gandum dan daun, kulit tomat, jerami bawang putih, batang tebu, dan jerami kedelai, telah dipelajari sebagai sumber serat potensial (Jiang & Hsieh, 2015; Kallel et al., 2016; Reddy & Yang, 2009). Oleh karena itu, mengikuti perkembangan zaman banyak penelitian yang telah dilakukan yang melibatkan pengembangan serat selulosa alami khususnya dari limbah pertanian.

2. METODE EKSTRAKSI SELULOSA

Telah banyak penelitian yang dikembangkan untuk mendapatkan ekstrak selulosa. Dari bermacam-macam metode yang dilakukan mempunyai kesamaan proses utama yaitu delignifikasi yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan lignin dari bahan yang akan diekstraksi. Namun untuk memaksimalkan hasil ekstraksi selulosa maka delignifikasi dikembangkan dengan berbagai macam metode seperti pada Tabel 1.

Judul artikel	Author, Tahun	Keterangan Paper	Hasil Teoritis	Hasil Penelitian
Ekstraksi Selulosa Batang Tanaman Jagung (<i>Zea Mays</i>) Metode Basa	(Asmoro et al., 2018)	Proses ekstraksi selulosa dari limbah batang jagung dengan perlakuan basa dan	Selulosa (46,3%) Hemiselulosa	Selulosa (35,61%)

		proses bleaching (NaOCl)	(23%) Lignin (19,7%)	
Karakterisasi Selulosa dari Kulit Buah Kakao (<i>Theobroma cacao</i> L.) pada berbagai konsentrasi Hidrogen Peroksida dan suhu Proses bleaching	(Sena et al., 2021)	Proses Ekstraksi selulosa dari Limbah Kulit Kakao dengan perlakuan basa dan proses bleaching (H_2O_2)	Selulosa (36,23%) Hemiselulos (1,14%) Lignin (27,95%)	Selulosa (70,4%) Hemiselulos (6,33%) Lignin (4,49%)
Cellulose nanofibers produced from banana peel by chemical and enzymatic treatment	(Tibolla et al., 2014)	Proses ekstraksi selulosa dari kulit pisang dengan Metode Enzimatic (ET) dan Chemical Treatment (ET)	Selulosa (7,5%) Lignin (7,9%)	ET Selulosa (10%) CT Selulosa (5,1%)
Properties of microcrystalline cellulose extracted from soybean hulls by reactive extrusion	(Merci et al., 2015)	Proses ekstraksi selulosa dari kulit kedelai dengan Metode Reaktif Extraction	Selulosa (31,19%) Hemiselulosa (2,28%) Lignin (1,5%)	Selulosa 83.79% Hemiselulosa (0.32%) Lignin (1.50%)
Isolasi selulosa dari bagas tebu melalui pemanasan iradiasi gelombang mikro	(Jufrinal di, 2018)	Proses ekstraksi selulosa dari bagas tebu dengan proses liquifikasi dengan metode pemanasan gelombang mikro	Selulosa (40-50%) Hemiselulos (25-35%)	Selulosa (38.57%)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

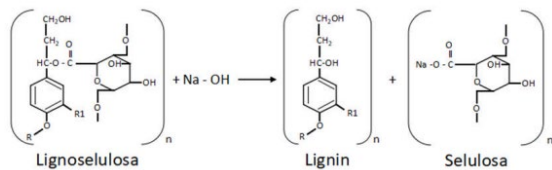
Berdasarkan perbandingan metode ekstraksi seperti pada Tabel 1, maka berikut adalah detail pembahasan terkait dengan masing-masing metode ekstraksi :

1. Perlakuan Basa (*Bleaching* NaOCl)

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dan paling banyak digunakan karena prosesnya yang

sederhana dan konvensional. Alat dan bahan yang dibutuhkan mudah didapatkan sehingga cocok untuk eksperimen dasar. Pemakaian alkali dalam proses delignifikasi menghasilkan sifat dan presentase selulosa yang berbeda tergantung pada jenis bahan bakunya (Gatot S. Hutomo, 2012). Penggunaan Sodium Hidroksida dalam proses delignifikasi dapat merusak ikatan eter yang menghubungkan antara lignin dengan selulosa, menghilangkan lignin dan

meningkatkan porositas dari biomassa (Kang et al., 2012; Wang et al., 2016). Pemecahan ikatan eter tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme Reaksi Lignoselulosa dengan NaOH (Zhang et al., 2016)

Asmoro, dkk (2016) telah melakukan eksperimen ekstraksi selulosa dari batang tanaman jagung dengan perlakuan alkali berupa NaOH (Asmoro et al., 2018). Secara teoritis batang tanaman jagung mengandung 42,6% selulosa, 21,3% dan lignin 8,2% (Sarkar et al., 2012). Namun setelah dilakukan ekstraksi dengan perlakuan basa NaOH dan bleaching menggunakan NaOCl, hasil selulosa justru lebih kecil daripada hasil teoritis yaitu 35,6%. Artinya metode ini masih kurang efektif dalam mengisolasi selulosa dari bahan bakunya. Sehingga peneliti-peneliti lain melakukan modifikasi metode ekstraksi selulosa berdasarkan perlakuan basa ini, antara lain dengan penambahan enzim, modifikasi bleaching, ekstrusi dan pemanasan iradiasi gelombang mikro.

2. Perlakuan Basa (Bleaching H_2O_2)

Pada metode ini, proses yang dilakukan sama dengan perlakuan alkali, hanya saja pada proses *bleaching* dilakukan modifikasi *agent* pemutih berupa hidrogen peroksida. Merujuk pada penelitian Sena, dkk (2021) proses perlakuan asam menggunakan hidrogen peroksida dalam melakukan *bleaching* untuk menghasilkan selulosa kulit buah kakao (Sena et al., 2021).

Bleaching merupakan proses pemutihan yang dilakukan untuk mendegradasi sisa lignin pada bahan lignoselulosa. Bahan kimia yang umum digunakan dalam proses *bleaching* adalah

jenis oksidator seperti natrium hipoklorit (Hutomo et al., 2012) dan hidrogen peroksida (Silitonga et al., 2019) dalam kondisi alkali. Oksidator dalam proses *bleaching* berfungsi untuk mendegradasi lignin dari gugus kromofor. Hidrogen peroksida (H_2O_2) mempunyai kemampuan melepaskan oksigen yang cukup kuat dan mudah larut dalam air. Keuntungan penggunaan H_2O_2 dalam proses *bleaching* antara lain lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan kimia berbasis klorin (Fitriana et al., 2020; Mussatto et al., 2008).

Sena, dkk (2021) melakukan eksperimen modifikasi proses ekstraksi selulosa dengan menggunakan jenis pemutih H_2O_2 untuk proses *bleaching* pada ekstraksi selulosa dari cangkang kakao. Secara teoritis, kandungan selulosa dari cangkang kakao adalah 36,23%, namun setelah dilakukan proses ekstraksi dengan modifikasi perlakuan asam dalam proses *bleaching* didapatkan kandungan selulosa lebih besar dari hasil teoritisnya yaitu 70,4% (Sena et al., 2021). Hasil ini menunjukkan bahwa modifikasi delignifikasi alkali di bagian *bleaching* menggunakan H_2O_2 berhasil meningkatkan isolasi selulosa dari bahan baku dengan, sehingga hasilnya lebih tinggi daripada teoritisnya.

3. Enzimatik

Metode Enzimatik merupakan gabungan antara *alkali treatment* dan hidrolisis enzim menggunakan enzim *xylanase* (Tibolla et al., 2014). Efisiensi dari setiap proses tergantung pada kondisi, kemurnian bahan baku dan jenis *agent* hidrolisis (Sukumaran et al., 2009). Karena tidak melibatkan pelarut atau reagen, hidrolisis enzimatik memiliki proses yang ramah lingkungan sehingga berpotensi mengurangi biaya operasional dan meningkatkan efisiensi (Meyabadi & Dadashian, 2012).

Enzim yang biasa digunakan dalam *treatment* ini adalah *Xylanase Enzym* yang merupakan enzim hidrolitik yang memodifikasi senyawa amorf (hemiselulosa) yang ada dalam serat

tanaman. Hidrolisis enzim untuk *Cellulose Nanofibers* harus berlangsung dengan cepat untuk menghindari degradasi selulosa (Zhu et al., 2011).

Tibolla, dkk (2014) telah melaksanakan eksperimen ekstraksi selulosa dari kulit pisang dengan membandingkan Chemical Treatment (CT) dan Enzymatic Treatment (ET) menggunakan KOH sebagai alkali dalam delignifikasi dimana hasil selulosa lebih tinggi dari teoritis untuk ET dari 7,5% menjadi 10%, namun untuk CT masih lebih rendah yaitu dari 7,9% menjadi 5,1% (Tibolla et al., 2014). Hasil dari Chemical Treatment menunjukkan bahwa perlakuan basa menggunakan *bleaching agent* NaOCl₂ masih kurang efektif dalam mengisolasi selulosa dari bahan bakunya. Oleh karena itu dilakukan modifikasi ET yang menggabungkan antara proses perlakuan basa yang dilanjutkan dengan penambahan enzim, supaya didapatkan hasil selulosa yang lebih besar.

4. Ekstruksi

Reactive Ekstrusion adalah metode alternatif dan efektif untuk produksi MCC (Microcrystalline cellulose) dari residu lignoselulosa yang memiliki proses sederhana dan tidak menimbulkan polusi dibandingkan metode konvensional (Merci et al., 2015). Proses Ekstruksi dilakukan pada kondisi suhu operasi tinggi dan waktunya yang singkat dengan fleksibilitas tinggi dan zero waste (Merci et al., 2015). Perlakuan ekstruksi dapat menggunakan reaktor kontinu tunggal untuk kombinasi perlakuan termo-mekanis dan biomassa lignoselulosa dengan rasio keluaran dan padatan yang lebih tinggi. (Lamsal et al., 2010). Dengan demikian, teknologi ini bisa diterapkan pada ekstraksi selulosa dari residu lignoselulosa, menggunakan kadar air yang lebih rendah daripada metode konvensional.

Pada penelitian Merci, dkk (2015), Kandungan selulosa meningkat dari 31,19% di sampel kulit kedelai menjadi 83,79% setelah dilakukan proses ekstraksi, kandungan hemiselulosa menurun dari 2,28% menjadi 0,32% dan kandungan

lignin stabil pada nilai rendah (sekitar 1,50%), menunjukkan bahwa ekstruksi efektif dalam menghasilkan selulosa. Metode ini dimodifikasi dari perlakuan basa dengan cara mengekstruksi sampel di dalam single screw extruder pada temperature 110°C dan kecepatan putaran sebesar 100 rpm (Merci et al., 2015). Hasil ini menunjukkan bahwa modifikasi delignifikasi alkali dengan ekstruksi berhasil meningkatkan isolasi selulosa dari bahan baku, sehingga hasilnya lebih tinggi daripada teoritisnya.

5. Iradiasi Gelombang Mikro

Metode ini menggabungkan beberapa proses dalam mengekstrak kandungan selulosa dari *suatu raw material*. Berdasarkan penelitian Jufrinaldi (2018), untuk menghasilkan selulosa maka ekstraksi dilakukan melalui proses likuifaksi, delignifikasi dan pemutihan menggunakan pemanas gelombang iradiasi mikro. Ekstraksi selulosa diambil dari bagas tebu dengan memanfaatkan pemanasan iradiasi gelombang mikro.

Jufrinaldi, dkk (2018) telah melakukan eksperimen ekstraksi selulosa dari bagas tebu dengan memanfaatkan iradiasi gelombang mikro sebagai modifikasi dari perlakuan delignifikasi alkali. Jika sampel tanpa modifikasi akan dipanaskan manual secara konvensional maka pada metode modifikasi ini iradiasi didapatkan dari panas *microwave*. Metode pemanasan iradiasi gelombang mikro digunakan agar dapat mereduksi waktu proses dan menyediakan panas lebih efisien (Sen et al., 2012). Pemanasan konvensional pada suhu tertentu memerlukan waktu yang lebih lama dan banyak sehingga kurang efektif dan efisien. Secara teoritis kandungan selulosa dari bagas tebu adalah 40-50% , namun setelah dilakukan ekstraksi justru presentasi selulosa nilainya lebih kecil dari hasil teoritisnya yaitu 38,57% (Jufrinaldi, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa metode modifikasi ini masih kurang efektif dalam mengisolasi selulosa dari bahan bakunya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan studi dan pembahasan mengenai metode ekstraksi selulosa ini dapat disimpulkan bahwa *agricultural waste* yang biasanya hanya menjadi sampah, dapat dimanfaatkan dalam berbagai industri untuk diambil serat selulosanya. Potensi tersebut dapat dimaksimalkan melalui ekstraksi selulosa dari beberapa metode seperti perlakuan basa dengan modifikasi proses bleaching, *enzimatic*, *extrusion* dan Iradiasi Gelombang Mikro.

Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas metode ekstraksi adalah jenis agent untuk alkali, agent bleaching, penambahan enzim dan penggunaan alat. Dengan membandingkan beberapa macam metode tersebut, maka peneliti akan dapat menemukan metode yang paling sesuai dengan tujuan, alat dan bahan eksperimen yang tersedia. Sehingga metode ekstraksi selulosa dapat terus menerus dimodifikasi supaya menghasilkan presentase selulosa yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Asmoro, N. W., Afriyanti, A., & Ismawati, I. (2018). Ekstraksi Selulosa Batang Tanaman Jagung (*Zea Mays*) Metode Basa. *Jurnal Ilmiah Teknosains*, 4(1), 24–28. <https://doi.org/10.26877/jitek.v4i1.1710>
- Ekebafé, L. O., Ekebafé, M. O., Akpa, F. A. O., Erhuanga, G., & Etiobhio, B. W. (2011). Graft Polimerizacija Akrilonitrila Na Delignifikovanim Celuloznim Materijalima Dobijenim Iz Bambusa (*Bambusa Vulgaris*) I Njihova Primena Za Uklanjanje Teških Metala Iz Vodenih Rastvora. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 17(2), 133–140. <https://doi.org/10.2298/CICEQ101021063E>
- Fiore, V., Scalici, T., Nicoletti, F., Vitale, G.,

Prestipino, M., & Valenza, A. (2016). A new eco-friendly chemical treatment of natural fibres: Effect of sodium bicarbonate on properties of sisal fibre and its epoxy composites. *Composites Part B: Engineering*, 85, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.composite.sb.2015.09.028>

- Fitriana, N. E., Suwanto, A., Jatmiko, T. H., Mursiti, S., & Prasetyo, D. J. (2020). Cellulose extraction from sugar palm (*Arenga pinnata*) fibre by alkaline and peroxide treatments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 462(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/462/1/012053>
- Gatot S. Hutomo. (2012). Synthesis and characterization of sodium carboxymethylcellulose from pod husk of Cacao (*Theobroma cacao* L.). *African Journal of Food Science*, 6(6), 1–6. <https://doi.org/10.5897/ajfs12.020>
- Gautam, S. P., Bundela, P. S., Pandey, A. K., Jamaluddin, J., Awasthi, M. K., & Sarsaiya, S. (2010). A review on systematic study of cellulose. *Journal of Applied and Natural Science*, 2(2), 330–343. <https://doi.org/10.31018/jans.v2i2.143>
- Hutomo, G. S., Marseno, D. W., Anggrahini, S., & Supriyanto. (2012). Ekstraksi Selulosa dari Pod Husk Kakao Menggunakan Sodium Hidroksida. *Agritech*, 32(3), 223–229. <https://jurnal.ugm.ac.id/agritech/article/view/9612/7187>
- Jiang, F., & Hsieh, Y. Lo. (2015). Cellulose nanocrystal isolation from tomato peels and assembled nanofibers. *Carbohydrate Polymers*, 122, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.12.064>

- Jufrinaldi, J. (2018). Isolasi Selulosa Dari Bagas Tebu Melalui Pemanasan Iradiasi Gelombang Mikro. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 2(2), 83. <https://doi.org/10.32493/jitk.v2i2.1683>
- Kallel, F., Bettaieb, F., Khiari, R., García, A., Bras, J., & Chaabouni, S. E. (2016). Isolation and structural characterization of cellulose nanocrystals extracted from garlic straw residues. *Industrial Crops and Products*, 87, 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.060>
- Kang, K. E., Jeong, G. T., & Park, D. H. (2012). Pretreatment of rapeseed straw by sodium hydroxide. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 35(5), 705–713. <https://doi.org/10.1007/s00449-011-0650-8>
- Lamsal, B., Yoo, J., Brijwani, K., & Alavi, S. (2010). Extrusion as a thermo-mechanical pre-treatment for lignocellulosic ethanol. *Biomass and Bioenergy*, 34(12), 1703–1710. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.06.009>
- Li, X., Tabil, L. G., & Panigrahi, S. (2007). Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1), 25–33. <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0042-3>
- Macías-Almazán, A., Lois-Correa, J. A., Domínguez-Crespo, M. A., López-Oyama, A. B., Torres-Huerta, A. M., Brachetti-Sibaja, S. B., & Rodríguez-Salazar, A. E. (2020). Influence of operating conditions on proton conductivity of nanocellulose films using two agroindustrial wastes: Sugarcane bagasse and pinewood sawdust. *Carbohydrate Polymers*, 238(March), 116171. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116171>
- Merci, A., Urbano, A., Grossmann, M. V. E., Tischer, C. A., & Mali, S. (2015). Properties of microcrystalline cellulose extracted from soybean hulls by reactive extrusion. *Food Research International*, 73, 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.020>
- Meyabadi, T. F., & Dadashian, F. (2012). Optimization of enzymatic hydrolysis of waste cotton fibers for nanoparticles production using response surface methodology. *Fibers and Polymers*, 13(3), 313–321. <https://doi.org/10.1007/s12221-012-0313-7>
- Moon, R. J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J., & Youngblood, J. (2011). Cellulose nanomaterials review: Structure, properties and nanocomposites. In *Chemical Society Reviews* (Vol. 40, Issue 7). <https://doi.org/10.1039/c0cs00108b>
- Mulyadi, I. (2019). Isolasi Dan Karakteristik Selulosa. *Jurnal Sainika Unpam*, 1(2), 177–180.
- Mussatto, S. I., Rocha, G. J. M., & Roberto, I. C. (2008). Hydrogen peroxide bleaching of cellulose pulps obtained from brewer's spent grain. *Cellulose*, 15(4), 641–649. <https://doi.org/10.1007/s10570-008-9198-4>
- Nechyporchuk, O. (2015). *Cellulose nanofibers for the production of bionanocomposites Nanofibres de cellulose pour la production de bionanocomposites*. 175.
- Reddy, N., & Yang, Y. (2009). Natural cellulose fibers from soybean straw. *Bioresource Technology*, 100(14), 3593–3598. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.09.063>

- Sarkar, N., Ghosh, S. K., Bannerjee, S., & Aikat, K. (2012). Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Renewable Energy*, 37(1), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.06.045>
- Sen, G., Mishra, S., Rani, G. U., Rani, P., & Prasad, R. (2012). Microwave initiated synthesis of polyacrylamide grafted Psyllium and its application as a flocculant. *International Journal of Biological Macromolecules*, 50(2), 369–375. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.12.014>
- Sena, P. W., Ganda Putra, G. P., & Suhendra, L. (2021). Karakterisasi Selulosa dari Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) pada Berbagai Konsentrasi Hidrogen Peroksida dan Suhu Proses Bleaching. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 9(3), 288. <https://doi.org/10.24843/jrma.2021.v09.i03.p03>
- Silitonga, N., Tarigan, N., & Saragih, G. (2019). Pengaruh Konsentrasi NaOH pada Karakteristik α -Selulosa dari Pelepah Kelapa Sawit. *Jurnal Ready Star*, 2(1), 103–108.
- Sukumaran, R. K., Singhanian, R. R., Mathew, G. M., & Pandey, A. (2009). Cellulase production using biomass feed stock and its application in lignocellulose saccharification for bio-ethanol production. *Renewable Energy*, 34(2), 421–424. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.008>
- Tibolla, H., Pelissari, F. M., & Menegalli, F. C. (2014). Cellulose nanofibers produced from banana peel by chemical and enzymatic treatment. *Lwt*, 59(2P2), 1311–1318. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.011>
- Trisanti, P. N., Setiawan H.P, S., Nura'ini, E., & Sumarno. (2018). Gergaji Kayu Sengon Melalui Proses Delignifikasi Alkali Ultrasonik. *Sains Materi Indonesia*, 19(3), 113–119.
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., & Itävaara, M. (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: A review. *Bioresource Technology*, 72(2), 169–183. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00104-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00104-2)
- Wang, M., Zhou, D., Wang, Y., Wei, S., Yang, W., Kuang, M., Ma, L., Fang, D., Xu, S., & Du, S. kui. (2016). Bioethanol production from cotton stalk: A comparative study of various pretreatments. *Fuel*, 184, 527–532. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.07.061>
- Zhang, M., Qin, Y., Ma, J., Yang, L., Wu, Z., Wang, W., & Wang, C. (2016). ultrasound and Fenton reagent. *Ultrasonics Sonochemistry*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.01.027>
- Zhu, J. Y., Sabo, R., & Luo, X. (2011). Integrated production of nano-fibrillated cellulose and cellulosic biofuel (ethanol) by enzymatic fractionation of wood fibers. *Green Chemistry*, 13(5), 1339–1344. <https://doi.org/10.1039/c1gc15103g>