

ANALISIS KOMPOSISI SELULOSA, HEMISELULOSA, DAN LIGNIN DALAM BERBAGAI JENIS KAYU : METODE CHESSON-DATTA**Ahmad Shobib^{1,2}, Teodora Da Silva¹, Bambang Pramudono^{2*}, Nur Rokhati²,
Mega Kasmiyatun¹**¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Semarang
Jl. Pawiyatan Luhur Bendhan Duwur Semarang, 50233, Indonesia²Program Doktor Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, 50239, Indonesia

*Email : ahmad-shobib@untagsmg.ac.id

Abstrak

Sumber daya terbarukan yang paling melimpah di dunia adalah kayu, dimana memiliki tiga komponen utamanya yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa merupakan biopolymer yang paling melimpah, kemudian lignin yang menyumbang 15 – 40% berat kayu. Tujuan dari penelitian ini adalah uji proksimat yang berasal dari berbagai jenis kayu, seperti kayu jati, mahoni, sengon, dan eceng gondok. Analisis proksimat ini mencakup kandungan selulosa, hemiselulosa, lignin, dan kadar abu dalam masing-masing jenis kayu dengan metode Chesson-Datta. Hasil analisis menunjukkan bahwa kayu jati memiliki kandungan lignin sebesar 25%, selulosa 32%, hemiselulosa 8%, dan kadar abu 6,4%, dengan total keseluruhan 71,4%. Sementara kayu mahoni memiliki kandungan lignin 21%, selulosa 47%, hemiselulosa 3%, dan kadar abu 15,38%, dengan total keseluruhan 78,38%. Sengon memiliki kandungan lignin 5%, selulosa 27%, hemiselulosa 41%, dan kadar abu 3,70%, dengan total keseluruhan 97,7%, sedangkan eceng gondok memiliki kandungan lignin 2%, selulosa 26%, hemiselulosa 19%, dengan total keseluruhan 80%.

Kata kunci : Analisis proksimat, selulosa, hemiselulosa, lignin

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris yang kaya akan sumber daya alam, salah satu sumber daya alam yang dimiliki ialah perkebunan. Hasil perkebunan berupa limbah kayu sisa pengolahan bahan primer yang tinggi yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan surfaktan sodium lignosulfonate yang memiliki nilai ekonomis. Sumber daya terbarukan yang paling melimpah di dunia adalah kayu, dimana memiliki tiga komponen utamanya yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa merupakan biopolymer yang paling melimpah, kemudian lignin yang menyumbang 15 – 40% berat kayu (Aro dan Fatehi, 2017).

Komponen utama dari biomassa lignoselulosa adalah lignin, selulosa, hemiselulosa, ekstraktif, dan abu. Terdapat beberapa metode pengukuran kandungan komponen biomassa lignoselulosa, salah satunya adalah metode yang dikemukakan oleh Chesson (Datta 1981)

Lignin adalah polimer alami yang berperan sebagai pengikat utama dalam struktur tumbuhan. Lignin memiliki gugus fungsional seperti hidroksi, karbonil, dan metoksi, serta memiliki sifat yang kurang larut dalam air. Oleh karena itu, lignin memiliki potensi untuk

digunakan sebagai perekat, bahan plastik yang dapat terdegradasi secara alami, dan surfaktan dalam sistem Enhanced Oil Recovery (EOR) (Suhartati dkk., 2016).

Selulosa adalah polimer linier yang dihubungkan oleh ikatan β -1,4-glikosidik pada cincin glukopiranososa (Chen dkk., 2022; Dai dkk., 2019). Hemiselulosa bukanlah polisakarida homogen melainkan terdiri dari berbagai gugus glikosil seperti xy kalahkan, manosa, glukosa, dan galaktosa. Hemiselulosa dari berbagai bahan biomassa memiliki komposisi yang bervariasi, dan strukturnya lebih kompleks daripada selulosa (Giudicianni dkk., 2019).

Kayu jati memiliki kandungan selulosa sebesar 14 – 24%, hemiselulosa 3,65 – 12,51% dan kandungan lignin sebesar 6,11 – 10,92% (Mursalim dkk., 2019). Kayu sengon (*Parasenriantes falcataria*) mengandung selulosa sebesar 67,94%, hemiselulosa 24,62%, lignin dengan rata – rata 24,69%, dan kadar abu kayu 3,67% (Kristiani dkk., 2017). Kayu mahoni mengandung selulosa sebesar 35 – 50%, hemiselulosa 20 – 30%, dan lignin 25 – 30% (Wijayanti, 2018). Eceng gondok memiliki kandungan selulosa 18-31%, lignin 7-26%,

hemiselulosa 18- 43%, dan ash 15-26% dengan kandungan air 85- 95% (Nata dkk., 2013).

Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh (Vegatama, 2023) uji proksimat pada serbuk kayu meranti menunjukkan holoselulosa 77,34%, selulosa 63,97%, hemiselulosa 13,37% dan lignin 29,39%. Penurunan berat kering (oven dry weight, ODW) setiap langkah fraksinasi memberikan fraksi berat komponen lignoselulosa utama: larut dalam air panas (hot water soluble, HWS), hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Berat kering ditentukan setelah pengeringan sampel pada suhu 105 ± 3 °C selama 24 jam sesuai dengan metode TAPPI T264 cm tes standar-97 (TAPPI 2002)

Lignoselulosa dapat diperoleh dengan proses hidrolisis untuk memecahkan polimer selulosa dan hemiselulosa menjadi monomer gula (glukosa atau xilosa) yang dapat dikonversi lagi menjadi berbagai macam senyawa (Ishola dkk.,(2015).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin dan kadar abu pada kayu jati, kayu, mahoni, kayu sengon serta eceng gondok dengan metode Chesson-Datta.

2. METODOLOGI

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Juni 2023 - Agustus 2023 di Laboratorium Kimia Dasar Universitas 17 Agustus 1945 Semarang.

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu kertas saring dari Toko Kimia Indrasari, oven (Mettler), kaca arloji, corong kaca, labu takar 100 ml (Pyrex), gelas beker 100 ml dan 250 ml (Iwaki), pipet tetes, cawan porselin, timbangan digital (Denver SI 6002) dan furnace. Bahan baku yang akan diteliti serbuk kayu jati, mahoni sengon, dan eceng gondok diambil dari daerah Jepara. Aquades yang diperoleh dari Toko Kimia Indrasari. H₂SO₄ 98% (teknis) diperoleh dari Toko Kimia Indrasari.

2.3 Prosedur Kerja

2.3.1 Persiapan Bahan

Semua Bahan Baku serbuk kayu jati, mahoni, sengon dan eceng gondok dikeringkan dalam oven selanjutnya dihaluskan dengan blender kemudian di ayak sampai diperoleh ukuran -80 + 90 mesh. Untuk karakterisasi

masing-masing kandungan bahan baku (lignin, selulosa, hemiselulosa, silica) dengan memakai metode Chesson-Datta

2.3.2 Uji Proksimat Metode Chesson-Datta

1 gram sampel (wet basis) yang mengandung pektin, oligosakarida, hemiselulosa, selulosa, lignin, non volatile compound ditambah aquadest 150 ml kemudian direflux (t 2 jam, T 100°C) setelah reflux dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring sehingga terpisah antara filtrat yang berisi air, pektin, oligosakarida dan padatan yang berisi hemiselulosa, selulosa, lignin, non volatile compound, padatan dicuci/disaring menggunakan aquadest 300 ml sehingga terpisah antara filtrat yang berisi air, sisa pektin dan oligosakarida dan padatan yang berisi hemiselulosa, selulosa, lignin dan non volatile compound, selanjutnya padatan dikeringkan dalam oven (t 24 jam, 105°C), airnya menguap dan yang tersisa adalah hemiselulosa, selulosa, lignin, non volatile compound.

Padatan yang sudah dioven ditambah larutan H₂SO₄ 1N sebanyak 150 ml, direflux (t 2 jam, T 100°C) selanjutnya disaring dan terpisah antara filtrat yang berisi larutan H₂SO₄, hemiselulosa dan padatan yang berisi hemiselulosa, selulosa, lignin, non volatile compound kemudian padatan dicuci/disaring menggunakan aquadest 300 ml, filtratnya mengandung air, sisa hemiselulosa dan padatannya mengandung selulosa, lignin dan volatile compound kemudian dikeringkan (t 24 jam, T 105°C) hingga airnya menguap dan padatan yang tersisa mengandung selulosa, lignin dan volatile compound.

Hasil direndam dengan 10 ml H₂SO₄ 72% (t 4 jam, T 30°C) selanjutnya direflux dengan H₂SO₄ 1N sebanyak 150 ml (t 2 jam, T 100°C) setelahnya dilakukan penyaringan dan terpisah antara filtrat yaitu selulosa dan larutan H₂SO₄ dan padatan yaitu selulosa, lignin, non volatile compound kemudian dicuci/disaring menggunakan aquades sebanyak 400 ml kemudian padatan dikeringkan dalam oven (t 24 jam, T 150°C), sisa airnya menguap dan yang tertinggal adalah lignin, non volatile compound kemudian dimasukkan ke dalam Furnace (t 6 jam, T 650°C), lignin hilang pijar dan yang tersisa adalah abu (non volatile compound). Kemudian hasil dari uji proksimat dilakukan perhitungan kadar lignin, kadar selulosa dan kadar hemiselulosa dengan persamaan berikut :

$$\text{Kadar Lignin} = \frac{(d-e)}{a} \times 100\% \quad (1)$$

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

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

Keterangan :

a = berat kering sampel (gram)

b = berat residu pertama (gram)

c = berat residu kedua (gram)

d = berat residu ketiga (gram)

e = berat residu keempat (gram)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi Lignin, Selulosa dan Hemiselulosa

Hasil analisis kandungan lignin, selulosa, hemiselulosa dan kadar abu dari serbuk kayu jati, serbuk kayu mahoni, serbuk kayu sengon dan eceng gondok ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa

R u n	Jenis Bahan Baku	Analisis			
		A	B	C	D
1.	Serbuk Kayu Jati	25	32	8	6,4
2.	Serbuk Kayu Mahoni	21	47	3	15,38
3.	Serbuk Kayu Sengon	5	27	41	3,70
4.	Enceng Gondok	2	26	19	33

Ket: A = % Lignin

B = % Selulosa

C = % Hemiselulosa

D = % Abu

Berdasarkan Tabel 1, diperoleh kandungan lignin, selulosa, hemiselulosa dan kadar abu pada serbuk kayu jati berturut – turut adalah 25%, 32%, 8% dan 6,4% sehingga total keseluruhan ialah 71,4%. Pada serbuk kayu mahoni kandungan lignin, selulosa, hemiselulosa dan kadar abu ialah 21%, 47%, 3% dan 15,38% sehingga total keseluruhan adalah 78,38%. Pada serbuk kayu sengon kandungan lignin, selulosa, hemiselulosa dan kadar abu adalah 5%, 27%, 41% dan 3,70% total keseluruhan ialah 97,7% sedangkan pada

eceng gondok kandungan lignin, selulosa, hemiselulosa dan kadar abu ialah 2%, 26%, 19% total keseluruhan 80%.

Perlakuan termal menyebabkan sejumlah perubahan komponen kimia kayu (selulosa, lignin, hemiselulosa, dan ekstraktif), tergantung kandungannya menurut spesies kayu. Lignin kayu keras mempunyai komposisi guaiacyl-syringyl (GS) yang bervariasi proporsinya, tergantung pada beberapa faktor seperti spesies, asal atau metodologi.

Kandungan lignin juga berkontribusi terhadap keawetan alami kayu jati. Di dalamnya, polimer ini memiliki peran penting bagi tanaman dari segi fisik, yaitu menyediakan ketahanan dinding sel dan peningkatan hidrofobisitas, serta menjadi penghalang perlindungan terhadap degradasi mikroba. Kandungan lignin dan tipe komposisinya berkaitan dengan kekakuan kayu dan ketahanan mekanis, seperti yang telah dismapaikan oleh Koehler dan Telewski (2006).

Secara umum, produk turunan lignin lebih mudah diidentifikasi karena pirolisis lignin menghasilkan campuran turunan fenol yang mempertahankan cincin aromatik, dengan gugus metoksil asli, dan sebagian atau seluruh rantai samping propana (Meier dan Faix, 1992). Sebaliknya, karbohidrat mudah terfragmentasi menjadi senyawa dengan berat molekul lebih rendah, sehingga sulit untuk membedakan asal usulnya (selulosa atau hemiselulosa) dengan spektrometri massa (Faix et al., 1991b).

Pemanasan menyebabkan peningkatan persentase kandungan ekstraktif, selulosa, dan lignin pada kedua jenis kayu. Begitu juga pada kayu eucalyptus, kandungan ekstraktifnya meningkat, dan hampir seluruh ekstraktif aslinya hilang, membentuk senyawa baru hasil degradasi hemiselulosa dan lignin (Esteves dkk., 2008).

Peningkatan kandungan lignin pada kayu yang mendapatkan perlakuan termal sesuai dengan fakta umum bahwa lignin lebih stabil secara termal dibandingkan sakarida dan juga mengembun (Nuopponen dkk.). Sebagai perbandingan, hemiselulosa pada kayu beriklim sedang yang diberi perlakuan termal lebih stabil; pada kayu oak, kandungan hemiselulosa menurun sebesar 58%, dan pada kayu cemara, kandungan hemiselulosa hanya menurun sebesar 37% (Sikora dkk. 2018).

Lignin memberikan kekuatan dan ketahanan terhadap serangan organisme pengurai, itulah sebabnya jati umumnya

digunakan dalam konstruksi dan manufaktur (Wrasiati dkk., 2022). Jenis lignin yang dominan pada kayu jati adalah guaisyl lignin yang cenderung lebih padat. Mahoni juga memiliki kandungan guaisyl lignin, dengan hasil analisis sekitar 21%, secara umum lignin pada kayu mahoni berkisar antara 25 - 30%, Hasil nya lebih kecil dari standar pada umumnya disebabkan oleh variasi alami dalam sampel dan usia pohon (Wijayanti, 2018)

Hasil analisa lignin pada kayu sengon hanya 5% karena jenis kayu ini tumbuhnya cepat dan dipanen muda sehingga kadar ligninnya rendah dibandingkan dengan kayu jati dan mahoni. Lignin pada eceng gondok hanya 2%, eceng gondok merupakan tumbuhan air yang tumbuh di perairan dangkal, strukturnya lunak sehingga kandungan ligninnya rendah dengan begitu tidak perlu menahan tekanan atau beban seperti kayu. Kelembutan dan kelenturan eceng gondok lebih cocok untuk ekosistem bawah air (Yulistiani dkk., 2017).

Kayu mahoni termasuk golongan kayu keras dimana hasil penelitian menunjukkan kadar selulosa sebesar 47% dibandingkan dengan tiga bahan baku lainnya. Penyebab kandungan selulosa yang tinggi pada kayu mahoni adalah struktur dinding sel kayu yang kaya akan selulosa. Selulosa memiliki peran kunci dalam memperkuat dinding sel kayu, memberikan dukungan mekanis yang diperlukan untuk pertumbuhan pohon yang tinggi dan kuat. Lebih lanjut, selulosa berperan dalam proses pengangkutan air dan nutrisi dari akar hingga daun pohon. Kandungan selulosa yang lebih tinggi pada pohon mahoni yang lebih tua juga dipengaruhi oleh pertambahan usia, di mana pohon menghasilkan lebih banyak selulosa untuk memperkuat dinding selnya (Rowell dkk., 2012).

Hasil Analisa hemiselulosa pada kayu sengon sebesar 41%. Hal ini karena kayu sengon termasuk pada kategori kayu lunak. Pohon yang lebih muda cenderung memiliki dinding sel yang lebih lunak dan kandungan hemiselulosa yang lebih tinggi. Hemiselulosa pada kayu lunak terbuat dari galaktoglukomanan dan manosa sebagai monomer utama (Ahmad dan Zakaria, 2019). Sedangkan pada kayu jati dan kayu mahoni termasuk pada kategori kayu keras sehingga kadar hemiselulosa nya lebih kecil. Kayu sengon lebih banyak digunakan untuk furnitur, pembuatan kertas dan kontruksi ringan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa kayu jati memiliki kandungan lignin sebesar 25%, selulosa 32%, hemiselulosa 8%, dan kadar abu 6,4%. Kayu jati memiliki tingkat lignin yang tinggi, dan ini disebabkan oleh faktor genetik, lingkungan tumbuh yang hangat dan lembab, umur pohon yang lebih tua, dan jenis kayu yang memiliki kandungan lignin pada gubalnya lebih tinggi. Lignin memberikan kekuatan dan ketahanan terhadap serangan organisme pengurai, sehingga kayu jati umumnya digunakan dalam konstruksi dan manufaktur.

Kemudian kayu mahoni memiliki kandungan lignin sebesar 21%, selulosa 47%, hemiselulosa 3%, dan kadar abu 15,38%. Meskipun kayu mahoni termasuk dalam kayu keras, kandungan selulosanya cukup tinggi. Ini disebabkan oleh struktur dinding sel kayu yang kaya akan selulosa. Selulosa memiliki peran penting dalam memperkuat dinding sel kayu dan mendukung pertumbuhan pohon yang kuat. Sedangkan kayu sengon memiliki kandungan lignin yang rendah, hanya sebesar 5%, dengan selulosa sebesar 27% dan hemiselulosa sebesar 41%. Kayu sengon tumbuh dengan cepat dan dipanen muda, sehingga memiliki kadar lignin yang rendah dibandingkan dengan kayu jati dan mahoni.

Kayu sengon banyak digunakan dalam furnitur, pembuatan kertas, dan konstruksi ringan. Terakhir Eceng gondok memiliki kandungan lignin yang sangat rendah, hanya sebesar 2%, selulosa 26%, dan hemiselulosa 19%. Eceng gondok adalah tumbuhan air yang tumbuh di perairan dangkal, dan strukturnya lunak. Kandungan lignin yang rendah membuatnya tidak perlu menahan tekanan atau beban, dan kelembutan serta kelenturan eceng gondok lebih cocok untuk ekosistem bawah air.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, N., dan Zakaria, M. R. (2019). Oligosaccharide from hemicellulose. *Lignocellulose for Future Bioeconomy*, 135–152. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816354-2.00008-6>
- Aprilia Lestari, V., dan Bagus Priambodo, T. (2020). Kajian Komposisi Lignin Dan Selulosa Dari Limbah Kayu Sisa Dekortikasi Rami Dan Cangkang Kulit Kopi Untuk Proses Gasifikasi Downdraft. *Jurnal Energi dan Lingkungan (Enerlink)*, 16(1), 1–8.

- <https://doi.org/10.29122/jel.v16i1.4572>
Aro, T., dan Fatehi, P. (2017). Production and Application of Lignosulfonates and Sulfonated Lignin. *ChemSusChem*, 10(9), 1861–1877.
- <https://doi.org/10.1002/cssc.201700082>
Chen, D., Cen, K., Zhuang, X., Gan, Z., Zhou, J., Zhang, Y., dan Zhang, H. (2022). Insight into biomass pyrolysis mechanism based on cellulose, hemicellulose, and lignin: Evolution of volatiles and kinetics, elucidation of reaction pathways, and characterization of gas, biochar and bio-oil. *Combustion and Flame*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2022.112142>
- Dai, G., Wang, K., Wang, G., dan Wang, S. (2019). Initial pyrolysis mechanism of cellulose revealed by in-situ DRIFT analysis and theoretical calculation. *Combustion and Flame*, 208, 273–280. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.07.009>
- Esteves, B., Graça, J., and Pereira, H. (2008). “Extractive composition and summative chemical analysis of thermally treated eucalypt wood,” *Holzforschung* 62(3), 344–351. DOI: 10.1515/HF.2008.057
- Faix O, Meier D, Fortman I (1990b) Thermal degradation products of wood. Gas chromatographic separation and mass spectrometric characterization of monomeric lignin derived products. *Holz Roh Werkst* 48:281–285
- Giudicianni, P., Gargiulo, V., Alfè, M., Ragucci, R., Ferreiro, A. I., Rabaçal, M., dan Costa, M. (2019). Slow pyrolysis of xylan as pentose model compound for hardwood hemicellulose: A study of the catalytic effect of Na ions. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 137(November 2018), 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.12.004>
- Gusrita, A., dan Komalasari. (2020). Pengaruh Waktu Dan Suhu Pretreatment Ampas Tebu Menggunakan Asam Sulfat Encer. *Jom Fteknik*, 7(2), 1–6.
- Im, J., Lee, S., Jo, I., Kang, J. W., dan Kim, K. S. (2022). Structural characteristics and thermal properties of regenerated cellulose, hemicellulose and lignin after being dissolved in ionic liquids. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 107, 365–375. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.12.005>
- Ishola, M. M., dkk (2015), “ Simultaneous glucose and xylose utilization for improved ethanol production from lignocellulosic biomass through SSFF with encapsulated yeast” *Biomass and Bioenergy*, 77(1), 192 – 199.
- Kristiani, I. R., Fauzie, M. M., dan Narto, N. (2017). PEMANFAATAN SAMPAH KERTAS HVS, SERBUK KAYU SENGON (*Paraserianthes falcataria*) DAN KULIT SINGKONG (*Manihot utilissima*) SEBAGAI BAHAN PEMBUATAN KERTAS KARTON. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 7(3), 111. <https://doi.org/10.29238/sanitasi.v7i3.58>
- Koehler L, Telewski FW (2006) Biomechanical and transgenic wood. *Am J Bot* 93(10):1433–1438
- Meier D, Faix O (1992) Pyrolysis–gas-chromatography–mass spectroscopy. In: Lin SY, Dence CW (eds) *Methods in lignin chemistry.*, Springer series in wood science Springer, New York, pp 177–199
- Mursalim, Munir, Fitriani, dan Novieta, I. D. (2019). Kandungan Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin Serbuk Gergaji Kayu Jati (*Tectona grandis* L.F) dan Daun Murbei (*Morus alba*) Yang Dikombinasikan Sebagai Pakan Ternak. *Seminar Nasional Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 2, 323–327.
- Nata, I. F., Niawati, H., dan Muizliana, C. (2013). Pemanfaatan Serat Selulosa Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Kertas: Isolasi Dan Karakterisasi. *Konversi*, 2(2), 9. <https://doi.org/10.20527/k.v2i2.75>
- Nuopponen, M., Vuorinen, T., Jämsä, S., and Viitaniemi, P. (2005). “Thermal modification in softwood studied by FT-IR and UV resonance Raman spectroscopies,” *J. Wood Chem. Technol.* 24(1), 13-26. DOI: 10.1081/WCT- 120035941
- Rowell, R., Pettersen, R., dan Tshabalala, M. (2012). Cell Wall Chemistry. In *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Second Edition*. <https://doi.org/10.1201/b12487-5>
- Sikora, A., Kačík, F., Gaff, M., Vondrová, V., Bubeníková, T., and Kubovský, I. (2018). “Impact of thermal modification on color and chemical changes of spruce and oak

- wood,” *J. Wood Sci.* 64(4), 406-416. DOI: 10.1007/s10086-018-1721-0
- Simatupang, H., Andi, N., dan Netti, H., 2012, *Studi Isolasi dan Rendemen Lignin dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKS)*, Skripsi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- Sudiyani, Y., Waluyo, J., Putra riandy, A., Primandaru, P., dan Novia. (2015). Pengaruh Temperatur dan Waktu Tinggal pada Perlakuan Awal Bagas Sorgum dengan Metode Steam Explosion. *Jurnal Teknik Kimia*, 21(4), 48-57.
- Suhartati, S., Puspito, R., Rizali, F., dan Angraini, D. (2016). Analisis Sifat Fisika dan Kimia Lignin Tandan Kosong Kelapa Sawit asal Desa Sape, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(1), 24-29. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i1.3102>
- TAPPI, T. (2002), 222 om-02: Acid-insoluble lignin in wood and pulp, 2002 – 2003 TAPPI Test Methods.
- Vegatama, M. R. (2023). *Konsentrasi Perekat Organik pada Biobriket Berbahan Baku Limbah Serbuk Kayu*. 7, 15844-15853.
- Wijayanti, W. (2018). Identifikasi Komposisi Kimia Tar Kayu Mahoni untuk Biofuel pada Berbagai Temperatur Pirolisis. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(3), 183-190. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2018.009.03.5>
- Wrasiati, L. P., Studi, P., Industri, T., Pertanian, F. T., Udayana, U., dan Jimbaran, B. (2022). Isolation Of Cellulose From Coconut Fiber (*Cocos Nucifera L .*) At Variation Of Temperature And Time Of Bleaching Process With Peracetic Acid Isolasi Selulosa Dari Serat Sabut Kelapa (*Cocos Nucifera L .*) Pada Variasi Suhu Dan Waktu Proses Bleaching Denga. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 10(3), 248-258.
- Yuansah, S. C. (2019). The Potential for Non-Digestible Sugar Production from Cellulose and Hemicellulose using Enzymatic Hydrolysis. *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal*, 2(2), 69-74. <https://doi.org/10.20956/canrea.v2i2.116>
- Yulistiani, F., Permanasari, A. R., Ridwan, I., Nurhasanah, A., dan Warda, S. (2017). Analisis Pengaruh Pre-treatment Eceng Gondok sebagai Bahan Baku Pembuatan biogas. *8th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 8, 35-41.