



Efektivitas Fotodegradasi Lignin dari Limbah Ampas Sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) Menggunakan Katalis TiO₂

[The Effectiveness of the Photodegradation of Lignin from Sago (*Metroxylon sagu* Rottb.) Waste Using TiO₂ Catalyst]

Muh.Natsir¹, Aden Mula Pratiwi¹, Thamrin Azis¹, Nohong¹, Imran¹, Wa Ode Harlis², Alimin¹, La Ode Kadidae¹, Ruslan³, C. Bijang⁴, La Ode Abd Kadir¹, Laily Nurliana¹✉

¹Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Halu Oleo, Kendari 93232, Southeast Sulawesi, Indonesia

²Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Halu Oleo, Kendari 93232, Southeast Sulawesi, Indonesia

³Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Tadulako University Palu, Indonesia

⁴Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Patimura, Ambon Indonesia

Abstract. Lignin degradation from sago (*Metroxylon sagu* Rottb.) waste has been carried out using a TiO₂ catalyst. This research aims to determine the effectiveness of lignin degradation from sago waste using a TiO₂ catalyst. Lignin from sago pulp was isolated using 10% NaOH and characterized using Fourier Transform Infra Red (FTIR) spectroscopy. The results of the characterization using FTIR show that the absorption at wave number 2937.59 cm⁻¹ is the -C-H stretching vibration of the alkane functional groups, the absorption at wave number 2360.87 cm⁻¹ is the vibration of the C≡C triple bond, the wave numbers 1795.73 cm⁻¹ and 1637.56 cm⁻¹ are associated with the stretching of the carbonyl group. The absorption at wave number 1427.32 cm⁻¹ is a C-H vibration connected to an unsaturated bond in an aromatic ring. Absorptions at wave number 1105.21 cm⁻¹, 1128.36 cm⁻¹, 1153.43 cm⁻¹ were the stretching vibration of -C-H on the guaiasil ring, and the absorption at wave number 1022.27 cm⁻¹ was the stretching vibration of C-O-C ether. From this spectrum, it can be seen that lignin is not completely pure because it is probably still mixed with cellulose. The results of the effectiveness test of lignin degradation using a TiO₂ catalyst with the help of UV light were able to degrade the lignin isolated by 31.43%, for 3 hours at a lignin concentration of 40 ppm.

Keywords: Sago waste, degradation, TiO₂ catalyst, lignin

Abstrak. Degradasi lignin dari limbah sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) telah dilakukan dengan menggunakan katalis TiO₂. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas degradasi lignin dari limbah sagu menggunakan katalis TiO₂. Lignin dari ampas sagu diisolasi menggunakan NaOH 10% dan dikarakterisasi menggunakan spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Hasil karakterisasi menggunakan FTIR menunjukkan bahwa serapan pada bilangan gelombang 2937,59 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur -C-H gugus fungsi alkana, Serapan pada bilangan gelombang 2360,87 cm⁻¹ merupakan vibrasi ikatan rangkap tiga C≡C, bilangan gelombang 1795,73 cm⁻¹ dan 1637,56 cm⁻¹ berasosiasi dengan peregangan gugus karbonil. Serapan pada bilangan gelombang 1427,32 cm⁻¹ merupakan vibrasi C-H yang dihubungkan dengan ikatan tak jenuh pada cincin aromatik. Serapan pada bilangan gelombang 1105,21 cm⁻¹; 1128,36 cm⁻¹; 1153,43 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur -C-H pada cincin guaiasil, dan serapan pada bilangan gelombang 1022,27 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur C-O-C eter. Spektrum ini menunjukkan bahwa lignin tidak sepenuhnya murni karena kemungkinan masih bercampur dengan selulosa. Hasil uji efektivitas degradasi lignin menggunakan katalis TiO₂ dengan bantuan sinar UV mampu mendegradasi lignin hasil isolasi sebesar 31,43%, selama 3 jam pada konsentrasi lignin 40 ppm.

Kata kunci: Ampas Sagu, degradasi, katalis TiO₂, lignin

Diterima: 22 November 2022, Disetujui: 2 Desember 2022

Sitasi: Natsir, M., Pratiwi, A.M., Azis, T., Nohong., Imran., Harlis, W.O., Alimin., Kadidae, L.O., Ruslan., Bijang, C., Kadir, L.O.A., dan Nurliana, L. (2022). Efektivitas Fotodegradasi Lignin dari Limbah Ampas Sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) Menggunakan Katalis TiO₂. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 8(3): 258-265.

✉ Corresponding author

E-mail: laylinurliana@gmail.com

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2022.v8.i3.16149>



2477-5398/ © 2022 Natsir et al.
This is an open-access article under the CC BY-SA license.

LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan negara terbesar penghasil sagu dan kurang lebih 60% sagu dunia berasal dari Indonesia (Rajab & Munisyah, 2020). Sagu menjadi bahan makanan alternatif selain beras bagi sebagian masyarakat Indonesia. Pengolahan tepung sagu umumnya dikerjakan didekat sumber air seperti sungai, sehingga limbah cair hasil pengolahannya dapat mencemari perairan sungai dan menimbulkan aroma busuk (Priyono et al., 2012).

Pemanfaatan limbah hasil pengolahan sagu telah banyak dilaporkan, seperti pembuatan bahan nanokomposit (de Souza et al., 2019), biohidrogen (Ulhiza et al., 2018), bahan *fluorescent* (Amin et al., 2019), substrat enzim (Lalaoui et al., 2016), dan bioetanol (Thakur & Thakur, 2015). Ampas dari hasil pengolahan sagu mengandung selulosa 64,4%, hemiselulosa 25,1% dan lignin 10,5% (Aditya & Kartika, 2016).

Lignin terdiri dari polimer fenilpropanoid yang kaya akan senyawa organik dan sangat penting dalam dunia tumbuhan. Fungsi lignin pada tumbuhan adalah sebagai pengikat antar serat (Murni et al., 2013). Proses pembuatan *pulp kraft* dan sulfit dari industri *pulp* dan kertas menghasilkan lignin disebut lindi hitam. Namun, hanya 2 % lignin dari industri *pulp* digunakan dan sisanya dibuang sebagai bahan bakar tambahan energi, yang menyebabkan pemborosan sumber daya aromatik dan timbal yang signifikan terhadap pencemaran lingkungan (Stewart, 2008). Struktur molekul lignin terdiri dari sistem aromatik yang tersusun dari unit fenilpropana, yaitu *coniferyl alcohol*, *sinapyl alcohol* dan *paracoumaryl alcohol*. Unit ini dapat dipisahkan dengan proses degradasi menggunakan metode katalitik fotooksidasi

menggunakan katalis, yaitu titanium dioksida (TiO_2).

Titanium dioksida merupakan bahan semikonduktor yang banyak dimanfaatkan sebagai fotokatalisis, mikroelektronika, sel optik, inaktivasi mikroorganisme, dan pembersih (Dzinun et al., 2015; Maulidiyah et al., 2015a). TiO_2 memiliki tiga fase struktur kristal, yaitu anatase, rutil, dan brookit. Fase TiO_2 dalam kristal anatase merupakan bentuk yang paling efektif dan banyak digunakan sebagai fotokatalis karena memiliki stabilitas kimia dan fisik, tidak beracun, biaya rendah, dan fotoaktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis semikonduktor lainnya (Zhang et al., 2016 dan L O Mursalim et al., 2017). Nilai energi celah pita (Eg) TiO_2 jenis anatase sebesar sebesar 3,2 eV dan hanya dapat diaktifkan dengan penyinaran sinar UV (Maulidiyah et al., 2015b). Nilai energi celah pita (Eg) yang tinggi menghasilkan permukaan aktif yang lebih besar, menghasilkan fotoaktivitas yang lebih efektif (Asrori et al., 2010). Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui efektivitas degradasi lignin dari limbah sagu dengan menggunakan katalis TiO_2 .

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Ampas sagu, NaOH 10%, kertas saring whatman, H_2SO_4 20%, NaOH 1M, H_2SO_4 1M, larutan lignin, titanium dioksida (TiO_2), dan akuades. Peralatan yang digunakan meliputi spektrofotometer UV-Visible, Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR), *magnetic stirrer*, *hot plate*, sentrifugasi, blender, ayakan dengan pori 300 mesh, oven, dan penyaring vakum.

Prosedur Penelitian

Preparasi sampel

Ampas sagu dicuci dengan air keran mengalir sampai baunya hilang dan dijemur selama dua hari. Ampas sagu kering dicampur dan diayak dengan ayakan 300 mesh hingga terpisah dari seratnya.

Isolasi lignin ampas sagu

Ampas sagu 100 gram hasil preparasi dicampurkan dengan 1000 mL NaOH 10% kemudian dipanaskan pada suhu 100 ± 5 °C di atas hot plate selama 120 menit. Residu dan filtrat dipisahkan menggunakan kertas saring Whatman. Filtrat hasil saringan diencerkan dengan menambahkan air dengan perbandingan 1:2 (v/v) dan ditambahkan H₂SO₄ 20% hingga mencapai pH 2 sambil dipanaskan pada suhu 60°C serta diaduk menggunakan *magnetic stirrer* (Alaneme & Olusegun, 2012). Campuran diamkan selama 8 jam hingga mengendap sempurna. Residu lignin dipisahkan menggunakan sentrifugasi dengan kecepatan 4500 rpm selama 20 menit. Endapan lignin dilarutkan dengan NaOH 1 M dan tambahkan asam sulfat untuk meningkatkan kemurniannya. Endapan lignin dipisahkan dengan filtratnya menggunakan sentrifugasi. Saring dengan kertas saring untuk mendapatkan endapan lignin yang lebih murni. Endapan dicuci dengan H₂SO₄ 1M kemudian dengan akuades, kemudian disaring kembali menggunakan penyaring vakum. Endapan yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada suhu 50 - 60°C selama 2 jam hingga mencapai berat konstan dan didapatkan lignin serbuk.

Karakterisasi isolat lignin

Analisis gugus fungsi yang ada dalam isolat lignin dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer FT-IR. Isolat lignin sebanyak

1 mg ditambahkan 50 mg KBr, kemudian dibentuk pelet dan dianalisis dengan spektrofotometer FT-IR pada bilangan gelombang 4000 - 400 cm⁻¹ (Fajriah et al., 2007).

Penentuan kadar lignin

Larutan lignin komersial dibuat pada beberapa konsentrasi, yaitu 20, 30, 40, 50, 60, 70, dan 80 ppm. Tentukan nilai absorbansi dari masing-masing konsentrasi dengan panjang gelombang 280 nm. Kurva kalibrasi dibuat dengan menghubungkan konsentrasi larutan (X) lignin dengan absorbansi (Y) menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Penentuan kadar lignin dilakukan dengan menimbang 0,1 gram lignin dan dilarutkan di dalam NaOH 1%, kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 1000 mL hingga tanda tera. Absorbansi lignin diukur pada panjang gelombang 280nm.

Fotodegradasi lignin

Larutan lignin hasil isolasi 20 mL dimasukkan ke dalam lima gelas kimia ukuran 100 mL, kemudian ditambahkan 0,1 gram katalis TiO₂. Campuran dimasukkan ke dalam reaktor sinar ultra violet dan diaduk dengan stirer. Campuran dikeluarkan dari reaktor setiap selang waktu 1, 2 dan 3 jam, kemudian disaring dengan kertas saring. Filtrat hasil saringan, diambil 1 ml dan diukur absorbansi dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Nilai absorbansi larutan lignin dibandingkan sisa larutan uji sebelum dan sesudah didegradasi. Persentase degradasi (%D) dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\% D = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dimana, A₀ = absorbansi mula-mula
A_t = absorbansi pada waktu t (Parshetti et al., 2011)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil delignifikasi ampas sagu berupa lindi hitam (Gambar 1). Proses delignifikasi yaitu proses memisahkan lignin dengan serat (Permatasari *et al.*, 2014). Delignifikasi akan mengakibatkan struktur lignin rusak dan serat (karbohidrat) terlepas. Proses delignifikasi menggunakan larutan basa, seperti larutan NaOH (Mardina *et al.*, 2013)

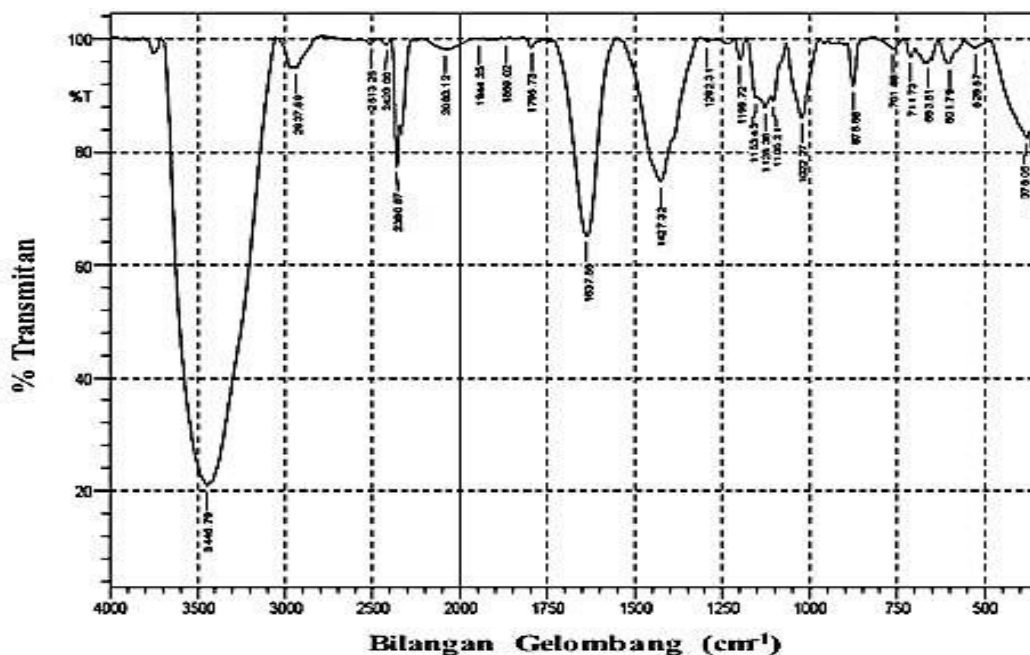


Gambar 1. Hasil delignifikasi ampas sagu (lindi hitam)

Hasil Karakteristisasi Lignin dengan FT-IR

Spektrum inframerah pada Gambar 2 menunjukkan daerah spesifik yang terdapat vibrasi molekuler pada isolat lignin. Serapan pada $3446,79\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi -OH dari alkohol. Serapan pada $2937,59\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan C-H dari alkana (Gambar 2). Indikasi adanya ikatan rangkap tiga $\text{C}\equiv\text{C}$ pada bilangan gelombang $2360,87\text{ cm}^{-1}$. Gugus karbonil terletak pada serapan $1637,56\text{ cm}^{-1}$. Gugus C-H berada pada bilangan gelombang $1427,32\text{ cm}^{-1}$ merupakan cincin aromatik. Pada bilangan gelombang $1105,21\text{ cm}^{-1}$; $1128,36\text{ cm}^{-1}$; $1153,43\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi ulur dari C-H pada cincin guasil. Ikatan eter C-O-C puncak serapan pada $1022,27\text{ cm}^{-1}$ (Tabel 1).

Berdasarkan data FT-IR, diduga lignin belum murni dan masih tercampur dengan selulosa, hal ini disebabkan terlihat dengan munculnya serapan $>1000\text{ cm}^{-1}$. Wijanarko & Iwana (2017) menjelaskan bahwa umumnya senyawa lignin terkontaminasi oleh sisa senyawa selulosa yang terdegradasi.



Gambar 2. Spektrum inframerah isolat lignin

Tabel 1. Hasil interpretasi spektrum IR isolat lignin dan lignin standar

Serapan IR isolat lignin pada bilangan gelombang (cm^{-1})	Serapan IR lignin standar pada bilangan gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi	Referensi
3446,79	3400-3450	O-H <i>stretching</i>	Thakur & Thakur, 2015
2937,59	2820-2940	C-H <i>stretching</i> ($-\text{CH}_3$)	Kusumo <i>et al.</i> , 2020
2360,87	2000-2500	CH_2 $\text{C}\equiv\text{C}$	Nandiyanto <i>et al.</i> , 2019
1795,73 dan 1637,56	1630-1690	C=O (karbonil) <i>stretching</i>	Derkacheva & Sukhov, 2008; Arham <i>et al.</i> , 2021
1427,32	1425-1430	C-H aromatik	Popescu <i>et al.</i> , 2007
1022,27	1000-1300	C-O-C Eter	Derkacheva & Sukhov, 2008

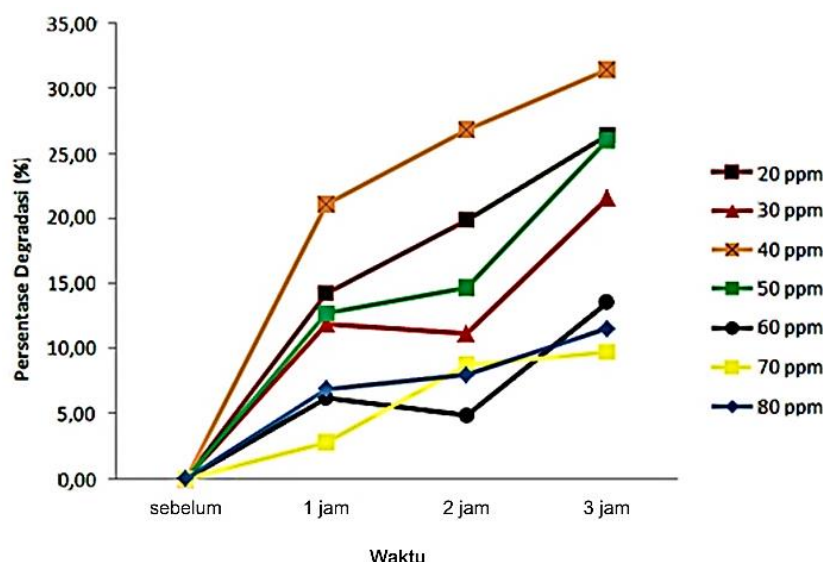
Kehadiran vibrasi ikatan pada hasil IR lignin menandakan bahwa selama proses sintesis berlangsung tidak ada ikatan dari lignin ampas sagu yang hilang atau terganggu dengan bereaksi membentuk gugus fungsi yang lain. Perbedaan yang terjadi vibrasi hanya terletak pada intensitas puncaknya saja. Serapan IR dari lignin menunjukkan puncak yang khas pada bilangan gelombang antara 3800 - 2750 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus -OH dari struktur alkohol dan fenolik, serta gugus metil dan metilen (You & Xu, 2016). Pita serapan antara 2900 - 2800 cm^{-1} mengidentifikasi adanya vibrasi regangan C-H dalam kelompok metil dan kelompok metoksil aromatik. Bilangan gelombang 1600 cm^{-1} adalah karakteristik senyawa aromatik yang dikombinasikan dengan vibrasi regangan C-H. Puncak pada bilangan gelombang 1460 - 1420 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan getaran regangan C-H cincin aromatik (Hidayati *et al.*, 2020). Puncak pada bilangan gelombang 1300 cm^{-1} dan 1200 cm^{-1} menunjukkan adanya siringil dan guaiasil dalam struktur kimia lignin (Watkins *et al.*, 2015).

Degradasi Lignin Ampas Sagu

Degradasi ampas sagu dapat dilakukan secara fotokatalisis dengan bantuan katalis

TiO_2 di bawah sinar UV. Uji degradasi lignin ampas sagu menggunakan proses fotokatalis TiO_2 di bawah sinar UV untuk mengetahui penurunan konsentrasi masing-masing.

Degradasi lignin ampas sagu dengan proses fotokatalis TiO_2 di bawah sinar UV dengan panjang gelombang 365 nm pada selang waktu tiga jam menunjukkan terjadi penurunan kadar lignin sebesar 31,43% (Gambar 3). Penurunan konsentrasi lignin diduga karena waktu penyinaran dengan sinar UV yang lama sehingga menyebabkan elektron yang tereksitasi semakin banyak yang diikuti dengan semakin banyaknya h^+ (*hole*) yang terbentuk. Degradasi lignin ampas sagu terjadi ketika permukaan TiO_2 terkena sinar UV. Elektron dalam keadaan dasar akan menyerap cahaya sehingga tereksitasi pada tingkat energi yang lebih tinggi sambil meninggalkan lubang pengoksidasi kuat (h^+) dan mengoksidasi molekul H_2O atau ion OH^- membentuk radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) (Muzakkar *et al.*, 2022; Maulidiyah *et al.*, 2017; Latifah *et al.* 2020). Selain itu, elektron yang tereksitasi (e^-) akan mereduksi molekul O_2 membentuk superoksida ($\text{O}_2\cdot^-$) yang selanjutnya akan memudahkan pembentukan molekul H_2O_2 dan $\text{OH}\cdot$ (Muzakkar *et al.*, 2022; Maulidiyah *et al.*, 2017).



Gambar 3. Degradasi lignin ampas sago menggunakan fotokatalis TiO₂

KESIMPULAN

Hasil karakterisasi isolat lignin ampas sago menggunakan FTIR menunjukkan adanya puncak serapan khas pada bilangan gelombang 3446,79 cm⁻¹; 2937,59 cm⁻¹; 2360,87 cm⁻¹; 1795,73cm⁻¹; dan 1637,56cm⁻¹; 1427,32 cm⁻¹; 1105,21 cm⁻¹; 1128,36 cm⁻¹; 1153,43 cm⁻¹ dan 1022,27 cm⁻¹. Hasil degradasi isolat ampas dengan fotokatalis TiO₂ di bawah sinar UV selang waktu 3 jam terjadi penurunan konsentrasi sebesar 40 ppm atau 31,43%.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, R dan Kartika,R.(2016), Pembuatan Bioetanol dari Biji Lai (*Duriokutejensis*). *Jurnal Atomik*,1(1).
- Alaneme, K.K., Olusegun, S.J. (2012). Corrosion Inhibition Performance of Lignin Extract of Sun Flower (*Tithonia Diversifolia*) on Medium Carbon Low Alloy Steel Immersed in H₂SO₄ Solution. *Leonardo Journal of Sciences*, 20, 59-70
- Amin, N., Sabli, N., Izhar, S dan Yoshida, H. (2019). Sago wastes and its applications. *Pertanika J.Sci. & Technol*,27(4),1841-1862.
- Asrori,M.Z.,Permana,A.,&Sukma,D.(2010).Pengembangan Nanokomposit PANi (HCl) TiO₂ Sebagai Material Pelapis Anti Korosi. *Prosiding Seminar Nasionalke-16 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir* 2910, 2775-281.
- Arham, Z., Saparuddin, S., Kurniawan, K., Rosmini,R and Lamote, H. (2021). Bioprocessing of Waste Sago Pulp Fiber Based on Chloride Solution for Cellulose Isolation. *Biointerface Researchin Applied Chemistry*,12(1), 441-449.
- de Souza, A.G., Rocha, D.B., Kano, F.S., and dos Santos Rosa, D. (2019). Valorization of industrial paper waste by isolating cellulose nano structures with different pretreatment methods. *Resources, Conservation and Recycling*,143,133-142.
- Derkacheva O and Sukhov D. (2008). Investigation of lignins by FTIR spectroscopy. *Macromolecular symposia*, Weinheim:WILEY-VCH Verlag. 265(1), pp.61-68.
- Dzinun H, Othman M H D, Ismail A F, Puteh M H, Rahman M A, Jafar J Dzinun H, Othman M H D, Ismail A F, Puteh M H, Rahman M A, Jafar. (2015). Photocatalytic degradation of nonylphenol by immobilized TiO₂ in dual layer hollow fibre membranes, *Chemical Engineering Journal*, 269(1): 255-261.
- Fajriah, S, Darmawan,A, Sundowo,A, dan Artanti, N. (2007). Isolasi senyawa antioksidan dari ekstrak etil asetat daun benalu *Dendrophthoe pentandra*L. Miq yang tumbuh pada inang Lobi-Lobi. *Jurnal Kimia Indonesia*,2(1),17-20.

- Hidayati, S., Satyajaya, W., & Fudholi, A. (2020). Lignin isolation from black liquor or from oil palm empty fruit bunch using acid. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 11382-11391.
- Kusumo, P., Biyono, S., & Tegar, S. (2020). Isolasi Lignin dari Serbuk Grajen Kayu Jati (*Tectona Grandis*) dengan Metode Klasson. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmuan dan Aplikasi Teknik*, 19(2), 130-139.
- Lalaoui, N., David, R., Jamet, H., Holzinger, M., LeGoff, A., and Cosnier, S. (2016). Host-guest complexation in the substrate pocket of laccase: direct bioelectrocatalytic reduction of O₂ on functionalized carbon nanotubes. *Acs Catalysis*, 6(7), 4259-4264.
- Latifah, S., Ridho, R. dan Baiti, I.F. (2020). Imobilisasi Foto katalis Komposit TiO₂-Kitosan Sebagai Pendegradasi Zat Warna Remazol Yellow. *Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya*, 2(1), 25-35.
- L O Mursalim A M, Ruslan, R A Safitri, T Azis, Maulidiyah, D Wibowo, M Nurdin (2017). Synthesis and Photoelectrocatalytic Performance of Mn-N-TiO₂/Ti Electrode for Electrochemical Sensor. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 267(012006): 1-8.
- Mardina, P., Talalangi, A.I., Sitinjak, J.F., Nugroho, A., dan Fahrizal, M.R. (2013). Pengaruh proses delignifikasi pada produksi glukosa dari tongkol jagung dengan hidrolisis asam encer. *Konversi*, 2(2), 17-23.
- Maulidiyah; Wibowo, Dwiprayogo; Hikmawati; Salamba, Richard; Nurdin, Muhammad. (2015a). Preparation and Characterization of Activated Carbon from Coconut Shell - Doped TiO₂ in Water Solution. *Oriental Journal of Chemistry*, 31(4): 2337-2342.
- Maulidiyah, Halimahtussaddiyah Ritonga, Catur Elok Faiqoh, Dwiprayogo Wibowo and Muhammad Nurdin (2015b). Preparation of TiO₂-PEG Thin Film on Hydrophilicity Performance and Photocurrent Response. *Biosci. Biotechnol. Res. Asia*, 12(3).
- Maulidiyah, Azis, T., Nurwahidah, A.T., Wibowo, D., Nurdin, M. (2017). Photoelectrocatalyst of Fe Co-doped N-TiO₂/Ti nanotubes: Pesticide degradation of thiamethoxam under UV-visible lights. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 8, 103-111.
- Murni, S.W., Pawignyo, H., Widyawati, D., dan Sari, N. (2013). Pembuatan Edible Film dari Tepung Jagung (*Zea mays* L.) dan Kitosan. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*.
- Muzakkar, M.Z., Maulidiyah, Azis, T., Nurdin, M., Natsir, M., Dali, N., and Ratna. (2022). Performance of Selenium Doped TiO₂/Ti Composite Electrodes (Se-TiO₂/Ti): Photoelectrocatalyst of Reactive Green 19 under UV-Visible Irradiation. *AIP Conf. Proc.* 2638, 020004-1-020004-11.
- Nandiyanto, A.B.D., Oktiani, R. and Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret FTIR spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97-118.
- Popescu, C. M., Singurel, G., Vasile, C., Argyropoulos, D. S., and Willfor, S. (2007). Spectral characterization of eucalyptus wood. *Applied Spectroscopy*, 61(11), 1168-1177.
- Parshetti, G.K., Parshetti, S.G., Telke, A.A., Kalyani, D.C., Doong, R.A., and Govindwar, S.P. (2011). Biodegradation of crystal violet by *Agrobacterium radio bacter*. *Journal of environmental sciences*, 23(8), 1384-1393.
- Permatasari, H.R., Gulo, F., & Lesmini, B. (2014). Pengaruh Konsentrasi H₂SO₄ dan NaOH terhadap delignifikasi serbuk bambu. *JPPK*, 1(2), 1313-140.
- Priyono, A., Ahmad, A., Bahruddin. (2012). Kajian Aklimatisasi Proses Pengolahan Limbah Cair Pabrik Sagu Secara Anaerob. *Prosiding SNTK TOPI 2012*, hlm.155-159.
- Rajab, M., dan Munisya. (2020). Potensi Olah Sagu Dalam Mendukung Diversifikasi Pangan Di Desa Poreang Kabupaten Luwu Utara. *BIOFARM: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 16(2), 54-58.
- Riyani, K., dan Setyaningtyas, T. (2013). Fotodegradasi Sianida Dalam Limbah Cair Tapioka. *Molekul*, 8(1), 49 - 57
- Stewart, D. (2008). Lignin as a base material for materials applications: Chemistry,

- application and economics. *Industrial crops and products*, 27, 202-207.
- Thakur VK, &Thakur MK. (2015). Recent advances in green hydrogels from lignin: a review. *Int J Biol Macromol.*, 72, 834-847. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2014.09.044.
- Watkins, D., Nuruddin, MD., Hosur, M., Tcherbi-Narteh, A., and Jeelani, S. (2015). Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. *Journal of Materials Research and Technology*, 4(1), 26-32.
- Wijanarko, F R.,& Iwana, D N. (2017) Karbonisasi Lignin sebagai Material Graphite dan Graphene. (*Skripsi*). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Zhang Q, Wang H, Fan X, Lv F, Chen S, Quan X, Fabrication of TiO₂ nanofiber membranes by a simple dip- coating Tehnichnique for water treatment, *Surface & Coatings Technol*, vol 298: 45-52.
- You, T., & Xu, F. (2016). Applications of Molecular Spectroscopic Methods to the Elucidation of Lignin Structure. In (Ed.), *Applications of Molecular Spectroscopy to Current Research in the Chemical and Biological Sciences*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/64581>.