

PREPARASI PENGEMULSI DARI NANOLIGNIN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Erdiana Gultom¹, Vivi Purwandari², Hestina³, Dina Utami⁴

^{1,2,3,4} Fakultas Sains Teknologi & Informasi, Universitas Sari Mutiara Indonesia, Medan, Sumatera Utara, 20123, Indonesia

Info Artikel

Riwayat Artikel:
Diterima: 12 Mei 2025
Direvisi: 16 Mei 2025
Diterima: 23 Mei 2025
Diterbitkan: 27 Mei 2025

Kata kunci: Nanolignin; Tandan Kosong Kelapa Sawit; TEM; FTIR; Pengemulsi

Penulis Korespondensi:

Erdiana Gultom
Email: dyangul25@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanolignin dari limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai pengemulsi alami untuk campuran minyak dan air. Karakterisasi nanolignin dilakukan menggunakan Transmission Electron Microscopy (TEM). Hasil analisis TEM menunjukkan bahwa nanolignin yang dihasilkan memiliki struktur amorf dengan ukuran partikel berkisar antara 20–200 nm, serta adanya agregasi partikel yang dipengaruhi oleh interaksi hidrogen dan gaya Van der Waals. Spektrum FTIR menunjukkan adanya gugus hidroksil (-OH), karbonil (C=O), dan cincin aromatik yang khas pada lignin. Variasi konsentrasi nanolignin, yaitu 50 mg dan 100 mg, serta penambahan emulsifier pada variasi 2%, 4%, dan 6% memberikan pengaruh signifikan terhadap kestabilan emulsi. Uji efektivitas menunjukkan bahwa penambahan nanolignin sebagai pengemulsi mampu memperlambat waktu pemisahan minyak dan air. Pada konsentrasi 50 mg dengan variasi 6%, waktu pemisahan mencapai 7 menit 17 detik, sedangkan pada konsentrasi 100 mg dengan variasi yang sama, waktu pemisahan meningkat hingga 9 menit 3 detik. Hasil ini membuktikan bahwa nanolignin TKKS dapat berperan sebagai pengemulsi alami yang efektif dan ramah lingkungan, serta berpotensi sebagai alternatif pengemulsi sintetis dalam industri pangan dan kosmetik.

Jurnal Teknologi Kesehatan dan Ilmu Sosial (TEKESNOS)

e-ISSN: 2270-8907

Vol. 07. No. 01, Mei, 2025 (P164-172)

Homepage: <https://e-journal.sari-mutiara.ac.id/index.php/7>

DOI: <https://doi.org/10.51544/tekesnos.v7i1.6265>



Copyright © 2025 by the Authors, Published by Program Studi: Sistem Informasi Fakultas Sain dan Teknologi Informasi Universitas Sari Mutiara Indonesia. This is an open access article under the CC BY-SA Licence ([Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)).

1. Pendahuluan

Berdasarkan data Badan Pusat Statistika (BPS) pada tahun 2018 produksi crude palm oil (CPO) pada industri minyak kelapa sawit sebesar 47,3 juta ton pada tahun 2020 (Hidayatulloh et al., 2022). Seiring meningkatnya produksi, limbah kelapa sawit juga meningkat, baik berupa limbah cair maupun padat. Salah satu limbah padat yang signifikan adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), yang mencapai 23% dari setiap ton kelapa sawit yang diolah atau sekitar 230 kg (Rafly et al., 2022). Selain itu, proses produksi dari kelapa sawit juga dapat menghasilkan limbah padat yang berupa tandan kosong, cangkang dan fiber (sabut) (Haryanti et al., 2014). Pada umumnya limbah yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit berupa limbah padat yang mengandung bahan organik yang tinggi sehingga berdampak tinggi pada pencemaran lingkungan. Penanganan limbah secara tidak tepat akan mencemari lingkungan (Haryanti et al., 2014).

Tandan Kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah padat kelapa sawit. TKKS adalah salah satu limbah dalam jumlah yang besar pada setiap produksi kelapa sawit, diketahui bahwa satu ton kelapa sawit dapat menghasilkan limbah TKKS hingga 23% atau 230 kilogram. Keberadaan limbah TKKS dapat mencemari lingkungan bila tidak dimanfaatkan serta diolah dengan baik (Rafly et al., 2022). TKKS sendiri memiliki manfaat yang besar jika dimanfaatkan dengan baik. TKKS mengandung lignin dalam jumlah signifikan, yang merupakan senyawa alami dengan potensi aplikasi yang luas sebagai bahan baku industri.. TKKS mengandung lignin dalam jumlah yang signifikan. Lignin adalah polimer alami yang memiliki potensi besar untuk berbagai aplikasi industri, termasuk bahan baku pembuatan nanomaterial (Yuni Hendrawati et al., 2023).

Nanolignin adalah hasil pengolahan lignin pada skala nanometer yang memiliki sifat koloid dan dapat digunakan sebagai pengemulsi alami. Proses pembuatan nanolignin dari TKKS melibatkan metode seperti pulping dan karakterisasi menggunakan SEM, TEM, dan FTIR (Suhartati, Saputra, & Rahmi, 2020). Pemanfaatan TKKS sebagai sumber nanolignin menawarkan solusi berkelanjutan untuk mengurangi limbah industri kelapa sawit serta meningkatkan nilai tambah produk limbah (Haryanti et al., 2014). Nanolignin dari TKKS dapat digunakan sebagai pengemulsi alami untuk menstabilkan campuran minyak dan air, menggantikan pengemulsi sintetis yang kurang ramah lingkungan (Yuni Hendrawati et al., 2023). Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengelola dan meningkatkan nilai ekonomi limbah padat kelapa sawit (TKKS) (Haryanti et al., 2014). Berdasarkan penelitian (Suhartati, Saputra, Rahmi, et al., 2020) mengolah limbah tandan padat sawit berupa TKKS menjadi nanopartikel tandan kosong kelapa sawit. Pada penelitiannya, sintesis nanopartikel perak berhasil dilakukan dengan memanfaatkan ekstrak tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Selain itu, penelitian (Yuni Hendrawati et al., 2023) memanfaatkan tandan kosong kelapa sawit untuk sintesis nanoselulosa serbuk tandan kosong kelapa sawit dengan menggunakan ultrasonifikasi. Ukuran nanoselulosa serbuk tandan kosong kelapa sawit yang optimum pada suhu 70 °C dengan yield 36,9%. Ukuran nanoselulosa serbuk yaitu 174,85-460,84 nm dengan SEM (Yuni Hendrawati et al., 2023). Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis nanolignin tandan kosong kelapa sawit untuk dijadikan sebagai pengemulsi dengan metode pulping serta karakterisasi dengan SEM, TEM, FTIR dan Uji Efektivitas.

2. Metode

Jenis penelitian ini bersifat eksperimental skala laboratorium dalam sintesis nanolignin tandan kosong kelapa sawit sebagai pengemulsi serta karakteristik nanolignin yang berasal dari tandan kosong kelapa sawit.

2.1 Preparasi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Tandan kosong kelapa sawit yang digunakan dalam kondisi segar dan bersih agar tidak terkontaminasi dengan zat atau pengotor lainnya dari pabrik pengolahan sawit. Selanjutnya, keringkan tandan kosong kelapa sawit dengan menggunakan oven pada suhu rendah atau jemur dibawah matahari agar menghilangkan kadar air.

2.2 Ekstraksi Lignin

Adapun tahap ekstraksi lignin yakni:

(1)Timbang 500 gr tandan kosong kelapa sawit (TKKS) + NaOH 30% + 4 L air dalam disgester (stainless) 10 L. Rasio biomassa dan air (1 : 8 (W/V) (2) Reaksikan selama 3 jam dengan suhu 170°C hingga dihasilkan larutan hitam. (3)Saring larutan agar menghilangkan sisa-sisa residu pulp (4)Ukur pH larutan hitam yang dihasilkan, gunakan H₂SO₄ 20% (5) Endapan lignin di sentrifugasi 3000 rpm selama 10 menit. (6) Keringkan lignin pada oven dengan suhu 50°C selama 4 hari (7) Endapan Lignin dihaluskan sampai membentuk bubuk (8) Lignin dimurnikan dan direflux menggunakan n-pentana selama 6 jam dengan suhu 37°C untuk menghilangkan lipofilia nano lignin (9) Saring dan cuci lignin dengan air asam untuk menghilangkan n-pentana (10) Keringkan lignin selulosa pada oven selama 24 jam

2.3 Preparasi Nanolignin

(1)Timbang 4 gram lignin selulosa, lalu rendam dan didispersikan dengan 400 ml air destilat (2) Homogenizeran 10.000 rpm selama 1 jam, kemudian ultrasonikasi selama 10 menit lalu ditambahkan membran dialysis (3) Keringkan nano lignin selulosa menggunakan freeze dry

2.4 Preparasi Emulsifying Agent

(1) 10 ml NaOH 1 M + 50 mg nanolignin selulosa. Lakukan hal yang sama untuk variasi 100 mg nanolignin. (2) Panaskan larutan sampai nanolignin selulosa larut seluruhnya (3) Encerkan dengan 30 ml air destilat (4) Tambahkan asam asetat 99% tetes demi tetes sampai diperoleh pH 3, (5)Biarkan campuran 10 menit sampai partikel nanolignin mengendap

2.5 Preparasi Emulsi

(1) Campurkan minyak kedelai dan air destilat 50 : 50 (2) Aduk menggunakan homogenizer 10.000 rpm selama 2 menit (3)Tambahkan secara perlahan emulsifier dengan variasi penambahan 2%, 4% dan 6% untuk masing-masing variasi emulsifier 50 mg dan 100 mg kemudian setiap variasi emulsifier diaduk hingga 10.000 rpm selama 2 menit (4) Lakukan untuk NLS (nanolignin selulosa) (5) Campuran minyak dan air yang menggunakan emulsifier dan tanpa menggunakan emulsifier kemudian diuji efektivitasnya dan untuk emulsifier variasi 50 mg dan 100 mg kemudian dianalisa dengan FTIR

2.6 Karakteristik Nanolignin

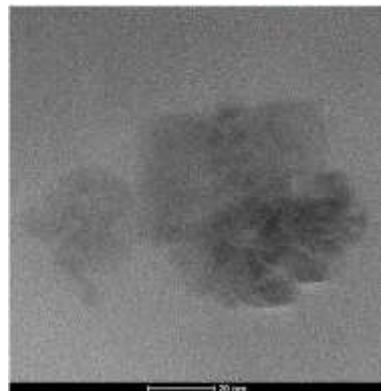
Nanolignin yang berasal dari tandan kosong kelapa sawit yang sudah diproses kemudian analisa dengan TEM, FTIR dan uji efektivitas sebagai emulsifier.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisa TEM (*Transmisson Electron Microscopy*) Pada

Nanolignin dari Lignin Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tujuan dari analisis *Transmission Electron Microscopy* (TEM) pada nanolignin adalah untuk mengkarakterisasi morfologi, ukuran partikel, serta distribusi dan kemungkinan agregasi partikel dalam skala nanometer. Analisis pada pengujian kali ini dilakukan pada skala bar 20 nm, seperti terlihat pada gambar berikut:



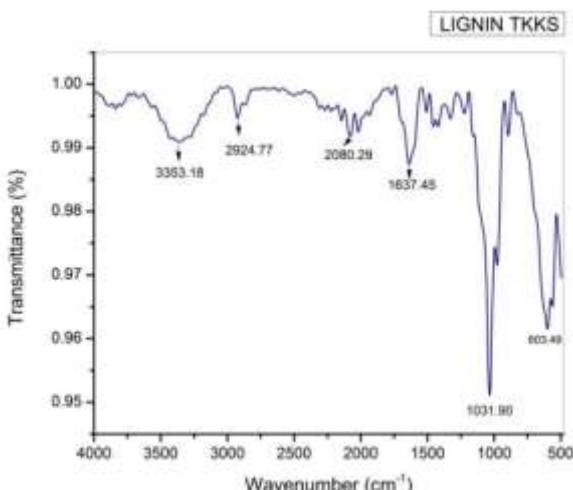
Gambar 1. Hasil pengujian TEM pada nanolignin

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa nanolignin memiliki ukuran partikel dalam skala nanometer dengan struktur yang cenderung amorf. Hal ini ditandai dengan area gelap yang menunjukkan daerah berkepadatan tinggi serta distribusi partikel yang tidak seragam. Berdasarkan penelitian sebelumnya, nanolignin umumnya memiliki rentang ukuran antara 20–200 nm tergantung pada metode sintesis yang digunakan. Proses nanopresipitasi diketahui efektif dalam menghasilkan partikel dengan ukuran lebih kecil dan distribusi lebih homogen. Selain itu, gambar TEM diatas juga menunjukkan adanya agregasi antar partikel, yang merupakan fenomena umum pada nanolignin akibat interaksi hidrogen dan gaya Van der Waals (Fang et al., 2017). Sifat amorf ini memberikan keunggulan dalam berbagai aplikasi, terutama dalam bidang material fungsional. Sebagai contoh, nanolignin dengan struktur amorf dan ukuran kecil dapat digunakan dalam aplikasi sebagai adsorben, bahan pengisi dalam komposit polimer, serta sebagai agen antioksidan dalam industri farmasi atau kosmetik.

Secara keseluruhan, analisis TEM menunjukkan bahwa nanolignin yang dihasilkan memiliki ukuran partikel dalam skala nanometer dengan kecenderungan agregasi dan struktur amorf. Hasil ini sejalan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menunjukkan partikel lignin dengan kisaran ukuran 50 – 200 nm. Dengan karakteristik ini, nanolignin memiliki potensi luas dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai material adsorben, komponen dalam material komposit, serta sebagai bahan aktif dalam produk berbasis antioksidan.

3.2 Hasil Analisa FTIR Emulsifier Nanolignin Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Pada penelitian sintesis nanolignin tandan kosong kelapa sawit sebagai pengemuli dilakukan variasi terhadap sampel emulsifier yang terbuat dari sintesis nanolignin.

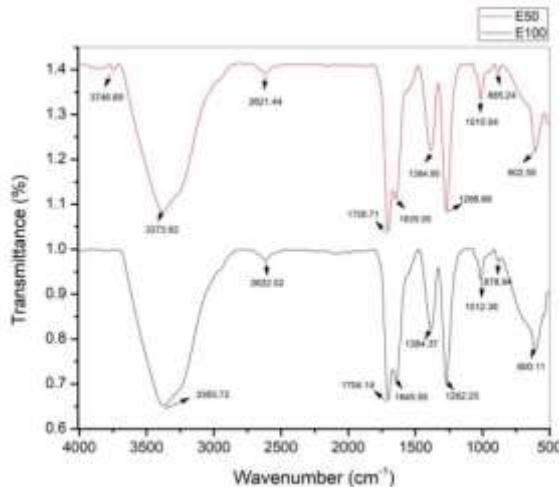


Gambar 2. Hasil FTIR Lignin TKKS

Pada gambar diatas, spektrum FTIR lignin yang diperoleh dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) menampilkan beberapa puncak utama yang mengindikasikan keberadaan gugus fungsional khas lignin. Puncak pada 3353.18cm^{-1} mengonfirmasi adanya gugus hidroksil (O-H), yang terkait dengan vibrasi stretching dalam struktur fenolik dan alkohol pada lignin. Gugus ini bersifat hidrofilik dan berperan dalam pembentukan ikatan hidrogen yang mempengaruhi karakteristik lignin (Gonultas & Candan, 2018; Nandiyanto et al., 2023). Selain itu, puncak pada 2924.77 cm^{-1} dikaitkan dengan vibrasi stretching gugus C-H alifatik dari rantai samping lignin, mencerminkan bagian alifatik dalam struktur lignin. Keberadaan gugus alifatik ini menunjukkan potensi lignin untuk berinteraksi dengan matriks polimer lain, yang penting dalam aplikasi biokomposit (Aditama & Ardhyananta, 2017).

Dalam spektrum FTIR lignin TKKS, terdeteksi puncak pada 2080.29 cm^{-1} , meskipun keberadaannya jarang ditemukan pada lignin alami. Puncak ini diidentifikasi sebagai hasil dari vibrasi stretching gugus karbonil (C=O), yang mengalami pergeseran akibat interaksi dengan pereaksi atau perubahan kondisi kimia selama proses isolasi lignin. Sementara itu, puncak pada 1637.45 cm^{-1} dikaitkan dengan vibrasi stretching ikatan C=C aromatik dalam cincin benzena, yang merupakan komponen utama dalam struktur aromatik lignin (Setiati et al., 2016). Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun lignin telah mengalami pemrosesan, struktur dasarnya tetap terjaga, yang berperan penting dalam menentukan reaktivitas serta potensi aplikasinya di berbagai bidang.

Adapun hasil pengujian FTIR sampel pada variasi sampel E50 dan E100, Spektrum FTIR yang diperoleh untuk sampel E50 (50 mg nanolignin) dan E100 (100 mg nanolignin) menunjukkan variasi signifikan dalam intensitas serta posisi puncak, yang mencerminkan perbedaan konsentrasi nanolignin dalam kedua sampel. Puncak lebar yang terdeteksi di sekitar $3373,92\text{ cm}^{-1}$ untuk E50 dan $3363,72\text{ cm}^{-1}$ untuk E100 mengindikasikan keberadaan gugus hidroksil ($-\text{OH}$) dalam struktur lignin. Puncak ini lebih intens pada E50, menunjukkan kemungkinan adanya interaksi hidrogen yang lebih kuat atau kandungan gugus hidroksil yang lebih tinggi, yang dapat berasal dari interaksi lignin dengan air atau gugus fenolik (Capocchi et al., 2023; Nandiyanto et al., 2023).



Gambar 3. Hasil uji FTIR E50 dan E100

Selain itu, puncak di sekitar $3746,89\text{ cm}^{-1}$ yang terdeteksi pada E50 tetapi tidak terlihat pada E100 menunjukkan adanya gugus -OH bebas. Hilangnya puncak ini pada E100 dapat mengindikasikan bahwa konsentrasi nanolignin yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan interaksi antar molekul lignin, sehingga mengurangi jumlah gugus -OH bebas yang terdeteksi. Sementara itu, puncak pada $1700,71\text{ cm}^{-1}$ untuk E50 dan $1704,14\text{ cm}^{-1}$ untuk E100 mengindikasikan regangan C=O dari gugus karbonil, yang dapat berasal dari keton atau ester dalam struktur lignin. Intensitas puncak ini lebih tinggi pada E100, yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi nanolignin berkorelasi dengan peningkatan kandungan karbonil, kemungkinan akibat modifikasi oksidatif selama proses ekstraksi (Blindheim & Ruwoldt, 2023; Nascimento et al., 2025). Selain itu, puncak yang muncul di sekitar $1635,05\text{ cm}^{-1}$ untuk E50 dan $1645,55\text{ cm}^{-1}$ untuk E100 dikaitkan dengan regangan C=C dalam cincin aromatik lignin. Pergeseran kecil dalam posisi puncak ini dapat mengindikasikan perubahan dalam interaksi intra- dan intermolekuler lignin akibat variasi konsentrasi nanolignin, yang mempengaruhi lingkungan kimia dari gugus aromatik tersebut.

Beberapa puncak karakteristik lignin teridentifikasi dalam rentang $1500\text{--}500\text{ cm}^{-1}$, memberikan informasi lebih lanjut tentang perubahan struktur akibat variasi konsentrasi nanolignin. Puncak pada $1384,95\text{ cm}^{-1}$ untuk E50 dan $1384,37\text{ cm}^{-1}$ untuk E100 dikaitkan dengan deformasi C-H dari gugus metil (-CH₃). Adanya perbedaan kecil dalam posisi puncak ini menunjukkan kemungkinan perubahan dalam interaksi struktural gugus metil dalam lignin. Selain itu, puncak kuat yang muncul di sekitar $1266,66\text{ cm}^{-1}$ untuk E50 dan $1262,25\text{ cm}^{-1}$ untuk E100 menunjukkan regangan C-O dari gugus fenolik atau alkohol sekunder dalam lignin. Intensitas puncak ini yang sedikit berbeda antara kedua sampel mencerminkan adanya perbedaan dalam jumlah atau interaksi gugus fenolik akibat perbedaan konsentrasi nanolignin. Puncak lain yang signifikan adalah $885,24\text{ cm}^{-1}$ untuk E50 dan $878,94\text{ cm}^{-1}$ untuk E100, yang mencerminkan deformasi luar bidang C-H dalam cincin aromatik lignin.

Spektrum FTIR yang diperoleh menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi nanolignin dari E50 ke E100 berdampak pada perubahan intensitas serta pergeseran posisi puncak yang berhubungan dengan gugus hidroksil (-OH), karbonil (C=O), dan struktur aromatik lignin. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi nanolignin berpengaruh terhadap interaksi molekul dan keberadaan gugus fungsional dalam struktur lignin. Proses ekstraksi dan pemurnian lignin, termasuk penambahan NaOH, berperan dalam meningkatkan kelarutan lignin dengan menghasilkan struktur fenolik

yang lebih terlarut. Hasil ini sejalan dengan literatur sebelumnya yang melaporkan karakterisasi lignin menggunakan FTIR, menunjukkan bahwa metode yang digunakan efektif dalam mengidentifikasi perubahan struktural lignin berdasarkan variasi konsentrasi nanolignin.

3.3 Uji Efektivitas

Berdasarkan hasil uji efektivitas pengemulsi diatas terhadap campuran minyak dan air, dapat disimpulkan bahwa penambahan pengemulsi meningkatkan kestabilan emulsi. Dibandingkan dengan blanko yang memisah dalam 1 menit 28 detik, penambahan pengemulsi memperlambat pemisahan fase minyak dan air. Pada konsentrasi 50 mg, semakin tinggi variasi pengemulsi, semakin lama waktu pemisahan. Variasi 6% menunjukkan waktu pemisahan terlama yaitu 7 menit 17 detik. Sementara itu, pada konsentrasi 100 mg, variasi 6% menunjukkan efektivitas tertinggi dengan waktu pemisahan mencapai 9 menit 3 detik. Dengan demikian, konsentrasi 100 mg pada variasi 6% merupakan kondisi yang paling optimal dalam memperlambat pemisahan minyak dan air dibandingkan dengan perlakuan lainnya.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian modifikasi nanolignin dengan natrium hidroksida (NaOH) sebagai stabilizer emulsi menunjukkan efektivitas yang signifikan dalam meningkatkan kestabilan emulsi minyak dalam air (O/W) maupun air dalam minyak (W/O). Selain itu, penggunaan nanolignin sebagai pengemulsi alami juga berkontribusi pada formulasi produk yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Hasil karakterisasi TEM menunjukkan bahwa nanolignin yang dihasilkan memiliki struktur amorf dengan ukuran partikel berkisar antara 20–200 nm. Sementara itu, analisis Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) mengonfirmasi keberadaan gugus fungsional utama yang mendukung sifat amfifilik lignin dalam proses emulsi. Pengujian efektivitas emulsifier menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi nanolignin yang digunakan, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk fase minyak dan air terpisah. Pada konsentrasi 100 mg dengan variasi 6%, emulsifier menunjukkan efektivitas tertinggi dengan waktu pemisahan mencapai 9 menit 3 detik, yang lebih baik dibandingkan dengan konsentrasi lainnya. Hasil ini membuktikan bahwa nanolignin dari TKKS dapat dijadikan sebagai alternatif pengemulsi yang potensial dalam berbagai aplikasi industri, termasuk kosmetik dan farmasi.

5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang terlibat dalam pelaksanaan penelitian ini atas semua dukungan, saran dan sumbangsi pemikiran yang membangun untuk kesempurnaan penelitian ini.

6. Referensi

- Adeyanju, O. A., & Oyekunle, L. O. (2018). Nilai Kecerahan pada Emulsi Minyak dalam Air dengan Menggunakan Fukoidan dan CMC sebagai emulsifier. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 657–662.
<https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.10.001>
- Aditama, A. G., & Ardhyananta, H. (2017). Isolasi Selulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Nano Filler Komposit Absorpsi Suara: Analisis FTIR. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 228–231.
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24098>

- Blindheim, F. H., & Ruwoldt, J. (2023). The Effect of Sample Preparation Techniques on Lignin Fourier. *Polymers*, 15, 2901. <https://doi.org/10.3390/polym15132901>
- Brienza, F., Cannella, D., Montesdeoca, D., Cybulska, I., & Debecker, D. P. (2023). A guide to lignin valorization in biorefineries: traditional, recent, and forthcoming approaches to convert raw lignocellulose into valuable materials and chemicals. *RSC Sustainability*, 2(1), 37–90. <https://doi.org/10.1039/d3su00140g>
- Capecchi, E., Piccinino, D., Nascimben, C., Tomaino, E., Ceccotti Vlas, N., Gabellone, S., & Saladino, R. (2023). Biosynthesis of Novel Ascorbic Acid Esters and Their Encapsulation in Lignin Nanoparticles as Carriers and Stabilizing Systems. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(10). <https://doi.org/10.3390/ijms24109044>
- Chen, Y., Gong, X., Yang, G., Li, Q., & Zhou, N. (2019). Preparation and characterization of a nanolignin phenol formaldehyde resin by replacing phenol partially with lignin nanoparticles. *RSC Advances*, 9(50), 29255–29262. <https://doi.org/10.1039/C9RA04827H>
- Fuadi, A. M., & Pranoto, H. (2016). Pemanfaatan limbah Tandan kosong kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Pembuatan Glukosa. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.26555/chemica.v3i1.4274>
- Harahap, F. S., Walida, H., Rahmaniah, R., Rauf, A., Hasibuan, R., & Nasution, A. P. (2020). Pengaruh Aplikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Arang Sekam Padi terhadap beberapa Sifat Kimia Tanah pada Tomat. *Agrotechnology Research Journal*, 4(1), 1–5.
- Hasdiana, U. (2022). Statistika Kelapa Sawit Indonesia. *Analytical Biochemistry*, 16(1), 1–5.
- Hidayatulloh, I., Widyanti, E. M., Aztaris, C., Melanitria, A., & Lidya Elizabeth. (2022). Kajian Pustaka Sintesis Nanoselulosa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Filler Pembuatan Tisu Toilet. *Fluida*, 15(1), 51–59. <https://doi.org/10.35313/fluida.v15i1.2711>
- Hutagalung, J. (2021). Perancangan Sistem Informasi Pengolahan Data Tanaman Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Sistem Informasi Dan Sistem Komputer TGD*, 4(2), 196–203. <https://doi.org/10.53513/jsk.v4i2.5673>
- Kensa, V., & Neelamegum, R. (2016). GC-MS Determination of Bioactive Constituents of *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. Collected from Unpolluted and Polluted Water Sources. *Asian Journal of Biology*, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.9734/AJOB/2016/30954>
- Kusumo, P., S Biyono, & Tegar S. (2020). Isolasi Lignin dari Serbuk Grajen Kayu Jati (*Tectona Grandis*) dengan Metode Klasson. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*, 19(2), 130–139.

- <https://doi.org/10.26874/jt.vol19no02.158>
- M Roganda L Lumban Gaol, Roganda Sitorus, Yanthi S, Indra Surya, & Renita Manurung. (2013). PEMBUATAN SELULOSA ASETAT DARI α SELULOSA TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(3), 33–39. <https://doi.org/10.32734/jtk.v2i3.1447>
- Nascimento, L., Reis, R., Araújo, D. L., Andrade, F. P. De, Maria, R., Garcia, R., Eduardo, C., Silva, D. F., McLaine, J., Freitas, D. De, Freitas, J. D. De, Barboza, M., Henrique, P., & França, B. (2025). *Obtaining Nanolignin from Green Coconut Shell and Fiber by the Acetosolv Method with Subsequent Ultrasonication.* 1–14. <https://doi.org/10.3390/reactions6010007>
- Siahaan, M. Y. R., & Darianto, D. (2020). Karakteristik Koefisien Serap Suara Material Concrete Foam Dicampur Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan Metode Impedance Tube. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 4(1), 85–93. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i1.3823>
- Yuni Hendrawati, T., Umar, E., Ilmar Ramadhan, A., Meta Sari, A., Salsabila, M., Suryani, R., & Budhi Rahardja, I. (2023). Sintesis Dan Karakterisasi Nanoselulosa Serbuk Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Ultrasonifikasi. *Jurnal Teknologi*, 15(1), 160–166. <https://doi.org/10.24853/jurtek.15.1.159-166>
- Zimniewska, M., Kozłowski, R., & Batog, J. (2014). Nanolignin Modified Linen Fabric as a Multifunctional Product. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 484(1), 43/[409]-50/[416]. <https://doi.org/10.1080/1542140080190339>