



Literature Review: Pengembangan Potensi Limbah Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dengan Proses Hidrolisis Guna Menyongsong Indonesia Emas 2045

Della Syaras Wati, Universitas Mulawarman, Indonesia

Nursilawati, Universitas Mulawarman, Indonesia

Rahmadina Purwita, Universitas Mulawarman, Indonesia

ABSTRACT

The newest energy source is the key to the success of Indonesia Emas 2045. East Kalimantan, as one of the largest palm oil producing regions in Indonesia, provides an abundant supply of energy sources originating from palm oil waste. Generation Z can contribute to creating sustainable solutions to reduce dependence on conventional energy and manage palm oil waste with various innovations and creativity that will produce products with promising potential to realize one of the visions of Golden Indonesia 2045 in the Energy sector. The method used in this research is a Narrative Literature Review (NLR) of 28 articles by analyzing several literature sources related to the potential for palm oil waste to be used in the energy sector. The research results show that palm oil waste is divided into liquid waste and solid waste. Palm oil solid waste consists of empty palm fruit bunches, palm oil shells, palm fronds and palm fiber. For liquid waste in the form of Palm Oil Mill Liquid Waste (POME). The products produced from palm oil waste can be used as a renewable energy source such as bioethanol, biobriquettes, biooil, biogas and biopellets using widely used methods, namely hydrolysis and pyrolysis.

ARTICLE HISTORY

Submitted 22/10/2024

Revised 11/11/2024

Accepted 26/11/2024

KEYWORDS

Energy; palm oil waste; palm oil waste innovation.

CORRESPONDENCE AUTHOR

✉ syarassrsvt@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.30743/cheds.v7i1.10053>

1. PENDAHULUAN

Indonesia Emas 2045 menitikberatkan pada masa depan berkelanjutan dengan fokus pada bioenergi. Harapannya, Indonesia dapat menjadi pemimpin dalam pemanfaatan sumber daya alam untuk energi terbarukan, sehingga dengan pengembangan bioenergi yang berkelanjutan, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meminimalkan dampak negatifnya terhadap lingkungan. Penerapan teknologi yang inovatif dapat memberikan harapan bahwa bioenergi akan menjadi pilar utama dalam mencapai Indonesia Emas 2045 yang berkelanjutan dan berdaya saing. Generasi Z diharapkan menjadi pionir dalam mengadopsi teknologi hijau, menggali inovasi, dan memimpin transformasi menuju energi bersih. Potensi bioenergi yang melimpah memberikan peluang bagi mereka untuk membentuk masa depan yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Guna mencapai Indonesia emas 2045 terdapat tantangan seperti peningkatan efisiensi, dan pemberdayaan energi terbarukan. Permasalahan seperti ketergantungan pada energi fosil, kurangnya infrastruktur energi terbarukan, dan perluasan akses energi ke daerah terpencil menjadi hambatan yang perlu diatasi. Meskipun Indonesia masih akan terus menggunakan energi fosil hingga tahun 2050 namun disisi lain, Indonesia juga terus mempersiapkan diri dalam pengembangan energi terbarukan secara regional dan siap bersaing di pasar global. Hal ini dilakukan karena semakin menipisnya cadangan energi fosil di alam dan meningkatnya biaya impor minyak. Sebagai negara dengan keanekaragaman hayati yang melimpah, Indonesia diantisipasi untuk menjadi swasembada energi. Indonesia memiliki hutan tropis yang begitu luas, penghasil utama berbagai produk pertanian tropis, dan juga perkebunan. Hasil alam tersebut selain digunakan untuk memenuhi kebutuhan primer, dapat pula diubah menjadi energi, khususnya biomassa. Residu dari bahan baku alam yang terbuang begitu saja di lingkungan, akan lebih baik jika dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Sejauh ini, penggunaan energi biomassa belum sekomersial energi fosil. Biomassa berpotensi menjadi salah satu sumber energi berkelanjutan terpenting di masa depan, terutama untuk pembangunan berkelanjutan di negara industri dan berkembang (Radhiana *et al.*, 2023)

Sumber daya alam yang melimpah memiliki potensi besar dalam mengatasi masalah kelangkaan energi konvensional. Pemanfaatan sumber daya alam memiliki beberapa peluang dan keunggulan dibandingkan hanya



mengandalkan energi tak terbarukan karena sumber daya alam bersifat tak terbatas, sehingga dapat mendukung keberlanjutan jangka panjang. Energi terbarukan yang berasal dari sumber daya alam berpotensi meningkatkan kemandirian energi suatu negara dan mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil. Kalimantan Timur merupakan provinsi di Indonesia yang menghasilkan Kelapa Sawit sebagai komoditi perkebunan utama yang menguasai 88,4 dan 99,6% dari total luas areal dan total komoditinya. Potensi yang besar ini dapat menimbulkan dampak terutama pada sektor lingkungan yang disebabkan oleh limbah yang dihasilkan (Heryadi *et al.*, 2021). Permasalahan limbah ini dapat diatasi dengan berbagai inovasi. Inovasi dalam pemanfaatan limbah kelapa sawit menciptakan solusi yang ramah lingkungan dengan memberikan kontribusi signifikan terhadap keberlanjutan. Salah satu terobosan utama adalah transformasi limbah kelapa sawit menjadi bioenergi terbarukan seperti biodiesel, biogas, dan bioetanol yang memiliki jejak karbon lebih rendah dari sumber energi konvensional. Keunggulan dari inovasi ini membuka peluang untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan merangsang perkembangan industri bioenergi. Penggunaan limbah kelapa sawit sebagai sumber bahan bakar membawa dampak positif terhadap keberlanjutan lingkungan, menciptakan siklus energi yang lebih bersih, dan memberikan kontribusi nyata terhadap perubahan menuju masyarakat yang lebih ramah lingkungan (Arifandy *et al.*, 2021).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Jenis Penelitian yang digunakan pada artikel review ini adalah jenis penelitian kepustakaan dengan metode yang digunakan yaitu *Narrative Literature Review (NLR)*. *Narrative literature review* merupakan jenis penelitian yang meninjau publikasi dalam menunjang kajian *Library and Information Science (LIS)* (Fani & Rukmana, 2022).

2.2 Prosedur Penelitian

Analisa data dalam kajian literatur ini menggunakan metode *narrative literature review (NLR)* yang dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu (1) mencari artikel-artikel yang terkait potensi limbah kelapa sawit sebagai sumber energi terbarukan (2) menganalisis artikel dengan mengumpulkan informasi yang sesuai dengan topik pembahasan artikel (3) informasi yang didapat disusun dalam bentuk deskriptif dan diagram lingkaran (4) hasil analisis sebagai dasar untuk menyusun pembahasan dan hasil kajian literatur.

2.3 Data, Instrumen, dan Teknik Pengumpulan Data

Proses pencarian data dilakukan dengan menggunakan database Google Scholar dengan kata kunci “potensi limbah kelapa sawit” dan “produk inovasi limbah kelapa sawit” dan diperoleh 28 artikel yang relevan.

2.4 Teknik Analisis Data

Penulis menganalisis data menggunakan teknik *simplified approach*, tahapan yang ditempuh pada analisa *simplified approach* meliputi meringkas setiap literatur *critical appraisal*/telaah kritis dilakukan secara bersamaan untuk menentukan kekuatan dan kelemahan literatur serta untuk melihat hubungan antara satu literatur dengan literatur lain, mengidentifikasi tema-tema dari hasil setiap penilaian (Sumartiningsih & Prasetyo, 2019).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Jenis-Jenis Limbah Kelapa Sawit dan Zat Kimia Yang Terkandung Didalamnya

Indonesia menghasilkan limbah kelapa sawit yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dalam jumlah besar. Tandan Kosong Kelapa Sawit terdiri dari tiga komponen utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Barlianti *et al.*, 2015). Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan biomassa lignoselulosa yang memiliki kandungan selulosa sebesar 35–50%, selulosa tersebut digunakan sebagai substrat untuk menghasilkan glukosa yang akan digunakan sebagai umpan dalam proses fermentasi untuk menghasilkan bioetanol (Sindhuwati *et al.*, 2021). Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) adalah limbah hasil dari proses pengolahan minyak sawit yang terdiri dari serat dan kulit yang masih mengandung minyak. Pada tandan kosong kelapa sawit, diperoleh spektrum inframerah yang menunjukkan bahwa terdapat gugus-gugus fungsional seperti hidrokarbon, gugus alkohol, gugus aldehid, gugus asam, gugus hidroksi, gugus karboksilat, gugus keton, gugus klorida, gugus nitrat, gugus nitril, gugus amina, gugus fenol, gugus hidrogen sulfida, gugus sulfur dan gugus oksigen (Joni *et al.*, 2023). Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan hasil samping dari industri minyak sawit dan terdapat dalam jumlah banyak (Sarwono *et al.*, 2016). TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) memiliki potensi sebagai bahan dasar dalam pembuatan bioetanol (Simanjuntak *et al.*, 2021).

Limbah cair pabrik kelapa sawit (POME) merupakan buangan cairan dari proses penggilingan kelapa sawit. POME merupakan cairan kental berwarna kecoklatan dengan nilai padatan, minyak dan lemak, COD dan BOD yang tinggi. Meskipun POME merupakan limbah tidak beracun, namun membuang POME yang tidak diolah ke perairan

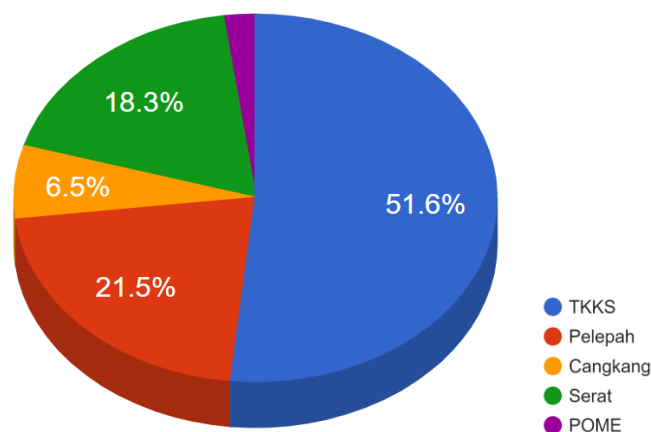
dapat berdampak buruk terhadap ekologi perairan. POME memiliki kandungan oksigen kimia (COD) yang tinggi (40.667 mg/L). POME juga mengandung unsur hara seperti Mg, Ca, P, K yang penting bagi pertumbuhan tanaman (Aziz & Hanafiah, 2017).

Serabut kelapa sawit merupakan limbah padat yang berasal dari ampas perasan buah kelapa sawit yang diambil minyaknya pada stasiun pengepresan proses pengolahan kelapa sawit (Dahlia *et al.*, 2022). Serat kelapa sawit sebagai limbah pengeloaan pabrik mengandung lignoselulosa yang tergolong tinggi sehingga berpotensi untuk dikembangkan menjadi sumber energi seperti bioetanol (Ni'mah *et al.*, 2016). Pada serat buah kelapa sawit diperoleh kandungan lignin sebesar 31,34%; hemiselulosa 19,8%; selulosa 38,45% serta abu sebesar 3,24% (Kurniawan & Rahman, 2020). Serabut kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler karena serabut kelapa sawit mengandung selulosa yang dapat dihidrolisis menjadi glukosa dengan bantuan enzim ataupun asam. Menurut Dahlia (2022) serabut kelapa sawit merupakan biomassa lignoselulosa berupa serat. dengan komponen utama selulosa 59,6%, lignin 28,5%, protein kasar 3,6%, lemak 1,9%, abu 5,6% dan impurities 8%.

Limbah kelapa sawit berupa pelepah kelapa sawit juga merupakan sisa industri kelapa sawit yang dimanfaatkan sebagai sumber selulosa dan hemiselulosa (Nadia *et al.*, 2017). Dengan demikian, limbah pelepah sawit merupakan biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan penghasil energi alternatif (Anggraini *et al.*, 2022). Selulosa merupakan bahan homopolisakarida yang tersusun dari unit β -D glukopiranoose, diikat oleh β -(1-4) ikatan glikosidik (Rilek *et al.*, 2017). Berdasarkan penelitian Haq (2018) kandungan gizi pelepah kelapa sawit terdiri dari bahan kering 97,39%, abu 3,96%, protein kasar 2,23%, serat kasar 47,00%, lemak kasar 3,04%, *Neutral Detergent Fibre* (NDF) 76,09%, *Acid Detergent Fibre* (ADF) 57,56%, hemiselulosa 18,51%, lignin 14,23% dan selulosa 43,00%. PKS (Pelepah Kelapa Sawit) merupakan limbah kelapa sawit yang juga memiliki potensi sebagai bahan baku dalam pembuatan bioetanol (Simanjuntak *et al.*, 2021).

Cangkang kelapa sawit merupakan limbah kelapa sawit yang merupakan bagian terdalam pada buah kelapa sawit yang memiliki tekstur keras. Oleh sebab itu, dalam pengolahan buah kelapa sawit cangkang ini tidak bisa diolah menjadi minyak dan hanya menjadi limbah atau buangan pabrik (Arbi & Irsad, 2018). Limbah cangkang diperoleh dari adanya pemecahan inti kelapa sawit (kernel) pada bagian pengolahan cangkang di Pabrik Kelapa Sawit. Kandungan dari cangkang kelapa sawit terdiri dari lignin 50,7%, selulosa 20,8%, dan hemiselulosa 22,7%. Kandungan pada limbah cangkang yaitu, C 46,75%, O 37,97%, H 5,92%, K 0,15%, N 0,3-0,6% dan P 0,01% (Arifandy *et al.*, 2021). Cangkang kelapa sawit mempunyai kandungan yang baik untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar dan bisa untuk pengolahan lebih lanjut agar mempermudah penggunaannya dan lebih efektif dengan mengolahnya menjadi briket arang sebagai bahan bakar alternatif.

Berdasarkan 29 artikel yang dianalisis, diperoleh penggunaan limbah kelapa sawit dengan diagram lingkaran sebagai berikut.



Gambar.1 Presentase Limbah Kelapa Sawit

Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa limbah cair yang berasal dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) menunjukkan presentase sebesar 51,6%, penggunaan limbah pelepah kelapa sawit sebesar 21,5%, limbah cangkang kelapa sawit sebesar 6,5%, lalu limbah serat buah kelapa sawit sebesar 18,3%, dan limbah cair berupa *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sebesar 2,6%. Penggunaan limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) paling banyak digunakan dibandingkan limbah kelapa sawit lainnya.

3.2 Teknologi Konversi dan Inovasi Produk Olahan Limbah Kelapa Sawit

Sumber energi alternatif dapat diperoleh dari bahan yang mengandung lignoselulosa yang diproduksi menjadi bioetanol. Salah satu bahan yang mengandung lignoselulosa yang dapat dimanfaatkan menjadi bioetanol adalah limbah kelapa sawit seperti serat kelapa sawit (Ahmad *et al.*, 2020). Selain itu, Bahan yang bisa dijadikan bioetanol salah satunya ialah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) (Sari *et al.*, 2020). Bioetanol dari bahan baku limbah lignoselulosa menjadi energi alternatif yang mulai dikembangkan (Muryanto *et al.*, 2016). Pada proses pembuatan bioetanol, limbah harus melewati proses *pretreatment* terlebih dahulu yang bertujuan untuk memecah lignoselulosa menjadi monomer gula (Putri *et al.*, 2021). Bioetanol dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah terhadap lingkungan dan dihasilkan dari bahan baku yang dapat diperbaharui. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah pertanian yang memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi. TKKS ini belum dimanfaatkan secara maksimal dengan kandungan selulosa sebesar 45-50 %, maka TKKS berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol (Yoricya *et al.*, 2016). Penggunaan larutan NaOH sebagai katalis memberikan kandungan hemiselulosa yang lebih tinggi daripada katalis asam H₂SO₄ (Nurrahmah *et al.*, 2023). Perendaman NaOH 10% pada suhu 900°C selama 2 jam mampu mengurangi kadar lignin dari 22,28% menjadi 20,38% dan kadar hemiselulosa dari 17,88% menjadi 13,12% (Kayati *et al.*, 2016). Serat yang telah dikecilkan kemudian dihidrolisis menggunakan H₂SO₄ dengan variabel 1M, 2M dan 3M. Perbandingan serat dengan H₂SO₄ adalah 1:20 pada suhu 100°C selama 3 jam. Hasil hidrolisis disaring dan diambil filtratnya. Residu dibuang. Filtrat tersebut merupakan larutan yang mengandung gula hasil konversi dari serbuk serat buah sawit. Selanjutnya, larutan dinetralkan dengan NaOH 50% hingga pH 4,5 (Ahmad *et al.*, 2020). Hidrolisis selulosa akan menghasilkan glukosa sedangkan hemiselulosa akan menghasilkan xilosa, manosa, asam asetat, galaktosa dan glukosa (Simanjuntak *et al.*, 2021). Faktor yang biasanya mempengaruhi proses hidrolisis yaitu bahan baku, pH, waktu dan suhu (Sari *et al.*, 2020). Peruraian TKKS pada proses hidrotermal tidak banyak dipengaruhi oleh suhu reaksi namun sangat dipengaruhi oleh waktu reaksi sedangkan hasil glukosa sangat dipengaruhi oleh waktu dan suhu reaksi (Sarwono *et al.*, 2016).

Setelah proses hidrolisis, untuk menghasilkan etanol dilakukan dengan metode fermentasi. Fermentasi adalah proses produksi energi dalam sel, biasanya dengan keadaan anaerobik (tanpa oksigen). Fermentasi alkohol merupakan proses pembuatan alkohol dengan memanfaatkan aktivitas yeast yaitu mengubah glukosa menjadi alkohol tanpa oksigen (Simanjuntak *et al.*, 2021). Etanol diproduksi dengan cara fermentasi dengan bantuan mikroorganisme oleh karena itu sering disebut sebagai bioetanol (Ni'mah *et al.*, 2016). Larutan hasil hidrolisis selanjutnya akan dianalisa kadar gula nya menggunakan analisa spektrofotometer dan fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* (Ahmad *et al.*, 2020).

Bioetanol mendominasi biofuel untuk keperluan transportasi (Nair *et al.*, 2017). Ketersediaan bioetanol G2 sangat melimpah sebagai limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan dengan keunggulan lainnya dapat mengurangi 91% emisi gas kaca dibanding bahan bakar fosil (Nadia *et al.*, 2017). Salah satu sumber EBT salah satunya bioetanol yang bisa digunakan sebagai pengganti bahan bakar minyak. Bioetanol merupakan EBT yang lebih ramah lingkungan. Proses reaksi etanol menghasilkan produk air dalam bentuk uap dan gas CO₂ dalam jumlah yang lebih rendah dibanding bahan bakar minyak (Khairiah & Ridwan, 2021).

Selain limbah padat, limbah cair kelapa sawit juga memiliki potensi yang besar seperti *Palm Oil Mill Effluent* (POME). *Palm Oil Mill Effluent* (POME) dapat menjadi sumber yang baik untuk menghasilkan bioenergi karena kandungan organik yang tinggi. Karena banyaknya *Palm Oil Mill Effluent* (POME) yang dihasilkan di pabrik, maka *Palm Oil Mill Effluent* (POME) akan menjadi sumber energi terbarukan yang paling dapat diandalkan. Pengolahan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) didasarkan pada metode pengolahan biologis konvensional yaitu pengasaman, pencernaan anaerobik, fakultatif, dan aerobik. Proses pencernaan anaerobik merupakan metode pengolahan yang cocok untuk penguraian bahan organik secara cepat untuk menghasilkan biogas yang dapat dimanfaatkan untuk listrik dan sumber energi (Aziz & Hanafiah, 2017).

Limbah Cair Kelapa Sawit dapat dimanfaatkan sebagai energi berupa biogas melalui tahap yaitu reaksi hidrolisis, acidogenesis, acetogenesis dan metanogenesis. Salah satu tahap reaksi pada pra pembuatan biogas adalah reaksi hidrolisis. Hidrolisis merupakan langkah awal proses digester anaerobik untuk semua proses penguraian dimana bahan organik akan berubah menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga lebih mudah diurai oleh mikroorganisme pada proses fermentasi. Proses penguraian ini melibatkan mikroorganisme hidrolase dimana senyawa-senyawa organik kompleks dihidrolisis menjadi monomer-monomer. Pada tahap hidrolisis mikroorganisme yang berperan adalah bakteri anaerob seperti *clostridia*, bakteri fakultatif lainnya seperti *streptococcus*. Hasil dari proses hidrolisis adalah asam volatil karboksilat, asam keton, asam hidroksi, keton, alkohol, gula, asam amino, H₂ dan CO₂ (Rambe, 2016).

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Melalui pengolahan limbah organik khususnya limbah yang dihasilkan dari aktivitas perkebunan kelapa sawit seperti tandan kosong kelapa sawit, cangkang kelapa sawit, pelepah kelapa sawit, serat kelapa sawit dan *Palm Oil Mill Effluent* memiliki potensi yang dapat dimanfaatkan sebagai energi yang ramah lingkungan yaitu bioetanol dan biogas melalui metode hidrolisis.

4.2 Saran

Penelitian mengenai penggunaan limbah kelapa sawit dengan metode hidrolisis masih sedikit, sehingga perlu dikembangkan lebih lanjut mengenai penggunaan limbah kelapa sawit dengan metode lainnya, baik metode pirolisis maupun karbonisasi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Amri, I., & Wani, W. S. (2020). Pengaruh Pretreatment pada Fermentasi Bioetanol Generasi Kedua dari Serat Buah Kelapa Sawit. *Journal of Bioprocess, Chemical and Environmental Engineering Science*, 1(1), 1-12.
- Anggraini, F. J., Yanova, S., Laura, W. C. H., & Rodhiyah, Z. (2022). Pemanfaatan Limbah Pelepah dan Daun Sawit Menjadi Briket di Desa Muaro Sebapo, Muaro Jambi. *Seminar Nasional AVoER XIV*, 1–7.
- Arbi, Y., & Irsad, M. (2018). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Menjadi Briket Arang Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Sains Dan Teknologi Sttind Padang*, 5(4), 1–9.
- Arifandy, I. M., Pandu Cynthia, E., & Muttakin, F. (2021). Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Terbarukan dalam Implementasi Indonesian Sustainability Palm Oil PKS Sungai Galuh. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, 19(1), 116–122.
- Aziz, N. I. H. A., & Hanafiah, M. M. (2017). The Potential of Palm Oil Mill Effluent (POME) As a Renewable Energy Source. *Acta Scientifica Malaysia (ASM)*, 1(2), 9–11.
- Barlianti, V., Dahnum, D., Muryanto, Triwahyuni, E., Aristiawan, Y., & Sudiyana, Y. (2015). Hidrolisis Enzimatis Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Menghasilkan Gula Pereduksi dan Kinetikanya. *Menara Perkebunan*, 83(1), 37-43.
- Dahlia, Kurniawan, E., Ginting, Z., Ishak, & Dewi, R. (2022). Pemanfaatan Limbah Serabut Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) sebagai Sumber Energi Alternatif dalam Pembuatan Biopellet. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 2(2), 11–24.
- Fani, Z. A., & Rukmana, E. N. (2022). Penelitian Penerapan SLiMS dalam Pengolahan Perpustakaan pada Database Google Scholar: Sebuah Narrative Literature Review. *Informatio: Journal of Library and Information Science*, 2(1), 29–42.
- Haq, M., Fitra, S., Madusari, S., & Yama, D. . (2018). Potensi Kandungan Nutrisi Pakan Berbasis Limbah Pelepah Kelapa Sawit dengan Teknik Fermentasi. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 1–8.
- Heryadi, E., Hermanto, & Susanty, A. (2021). Potensi Biogas dan Energi dari Limbah Padat (Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), Serat Mesocarp dan Lumpur Decanter) Industri Kelapa Sawit di Kalimantan Timur. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 15(2), 487-497.
- Joni, Setiawan, R. P. A., & Siregar, K. (2023). Analisis Karakteristik Tandan Kosong Sawit Menggunakan Metode FT-IR dan Pirolisis-GCMS. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(2), 377–385.
- Kayati, F. N., Syamsiah, S., Sediawan, W. B., & Sutijan, S. (2016). Studi Kinetika Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan Proses Fermentasi Padat Menggunakan Jamur *Aspergillus niger*. *Jurnal Reaktor*, 16(1), 1–8.
- Khairiah, H., & Ridwan, M. (2021). Pengembangan Proses Pembuatan Bioetanol Generasi II dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 9(4), 233-240.
- Kurniawan, E. W., & Rahman, M. (2020). Proses Optimasi Produksi Bioetanol dari Limbah Serat Buah Sawit dengan Metode SHF. *Jurnal Buletin Loupe*, 16(01), 60–67.
- Muryanto, Sudiyani, Y., & Abimanyu, H. (2016). Optimasi Proses Optimasi Proses Perlakuan Awal NaOH Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk menjadi Bioetanol. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 18(1), 27–35.
- Nadia, A., Fauziah, A., Mayori, E. (2017). Potensi Limbah Lignoselulosa Kelapa Sawit di Kalimantan Selatan untuk Produksi Bioetanol dan Xylitol. *IPI Portal Garuda*, 8(2), 41-51.
- Ni'mah, L., Ghofur, A., & Samlawi, A. K. (2016). Pemanfaatan Serat Kelapa Sawit untuk Pembuatan Gasohol (Premium-Bioetanol) dengan Pretreatment Lignocelulolitic Material dan Fermentasi dengan Menggunakan Ragi Tape dan NPK. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Basah*, 647–653.

- Nurrahmah, F. A., Nawawi, E., & Hidayah. (2023). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Berbasis Green Chemistry pada Praktikum Laju Reaksi di Laboratorium SMA. *Jurnal Pendidikan Kimia Undiksha*, 7(1), 33–40.
- Putri, D. K., Rosalina, & Sutri, R. (2021). Pre-Treatment Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Bioetanol dengan Bantuan Gelombang Microwave. *Jurnal Online Universitas PGRI Palembang*, 8(1), 43-48.
- Radhiana, Yana, S., Muzailin, Zainuddin, Susanti, Kasmaniar, & Hanum, F. (2023). Strategi Keberlanjutan Pembangunan Energi Terbarukan Jangka Panjang Indonesia: Kasus Biomassa Energi Terbarukan di Sektor Pertanian, Perkebunan dan Kehutanan Indonesia. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(1), 4978–4990.
- Rambe, S. M. (2016). Evaluasi Reaktor Hidrolisis-Acidogenesis sebagai Bioreaktor Intermediate Proses pada Pra Pembuatan Biogas dari Limbah Cair PKS Pada Skala Pilot Plant. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 27(2), 94–102.
- Rilek, N. M., Hidayat, N., & Sugiarto, Y. (2017). Hidrolisis Lignoselulosa Hasil Pretreatment Pelepah Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) Menggunakan H_2SO_4 pada Produksi Bioetanol. *Industria: Jurnal Teknologi Dan Manajemen Agroindustri*, 6(2), 76–82.
- Sari, E. P., Fani, P. A., Abubakar, & Mukhlisien. (2020). Proses Hidrolisis dan Fermentasi Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Bioetanol. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)*, 1(3), 6-19.
- Sarwono, R., Hariyanto, A., Puspitadewi, R., Kurniawan, H. H., & Sulaiman, D. F. (2016). Konversi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Glukosa dengan Proses Hidrotermal Tanpa Melalui Proses Pretreatment. *Biopropal Industri*, 7(2), 63-71.
- Simanjuntak, A. L. S., Ucha, I., Rangkuti, P., Hendra Ginting, M., Tinggi, S., Pertanian, I., & Perkebunan, A. (2021). Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit: Pelepah Kelapa Sawit dan Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Bioetanol. *Jurnal Teknik Pengolahan Hasil Perkebunan Kelapa Sawit dan Karet*, 3(2), 2656–4831.
- Sindhuwati, C., Mustain, A., Rosly, Y. O., Aprijaya, A. S., Mufid, M., Suryandari, A. S., Hardjono, H., & Rulianah, S. (2021). Review: Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol dengan Metode Fed Batch pada Proses Hidrolisis. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 5(2), 128–144.
- Sumartiningsih, M. S., & Prasetyo, Y. E. (2019). A Literature Review: Pengaruh Cognitive Therapy Terhadap Post Traumatic Stress Disorder Akibat Kekerasan pada Anak. *Jurnal Pendidikan Keperawatan Indonesia*, 5(2), 167–176.
- Yoricya, G., Aisyah, S., Dalimunthe, P., Manurung, R., & Bangun, N. (2016). Hidrolisis Hasil Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dalam Sistem Cairan Ionik Choline Chloride. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(1), 27-33.