

Analisis Proksimat dan Nilai Kalor Biopelet Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Sumber Energi Terbarukan

Proximate Analysis and Calorific Value of Empty Fruit Bunch (EFB) Palm Oil Biomass Pellets as a Renewable Energy Source

Eva Riana Br Bangun¹, Jufrizal^{1*}, Nurdiana²

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area, Medan 20223, Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Al-Azhar Medan, Medan 20142, Indonesia

*Corresponding author: jufrizal@staff.uma.ac.id

Diterima: 01-05-2025

Disetujui: 13-08-2025

Dipublikasikan: 20-08-2025

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Industri kelapa sawit di Indonesia menghasilkan limbah padat berupa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang sering kurang dimanfaatkan dan menimbulkan masalah lingkungan. Kandungan lignoselulosa tinggi pada TKKS berpotensi sebagai bahan bakar biomassa terbarukan. Penelitian ini mengevaluasi komposisi proksimat dan nilai kalor TKKS sebagai bahan baku biopelet melalui proses pengeringan, pencacahan, penggilingan, dan pelletisasi, kemudian diuji sesuai SNI 8021:2014, SNI 7709:2019, dan EN ISO 17225. Hasil menunjukkan kadar air 7,85% dan kadar abu 7,97%, keduanya masih dalam batas yang dapat diterima meski abu relatif tinggi. TKKS juga mengandung karbohidrat 24,20% dan serat kasar 37,99% yang mendukung kestabilan biopelet. Nilai kalor tercatat 1200 kkal/kg, jauh lebih rendah dari penelitian sebelumnya (≥ 3500 kkal/kg). Temuan ini menegaskan potensi TKKS sebagai energi terbarukan sekaligus perlunya optimasi pengolahan agar kualitas biopelet memenuhi standar dan dapat diaplikasikan pada pembangkit skala kecil maupun rumah tangga.

Kata Kunci: Tandan Kosong Kelapa Sawit, Biomassa, Biopelet, Nilai kalor.

Abstract

The palm oil industry in Indonesia generates a large amount of solid waste in the form of Empty Fruit Bunches (EFB). This waste is often underutilized and poses environmental challenges. The high lignocellulosic content of EFB offers significant potential for its development as a renewable biomass fuel. This study aims to evaluate the proximate composition and calorific value of EFB to assess its feasibility as a raw material for bio pellets. The experimental procedures included drying, shredding, grinding, and palletization, followed by laboratory testing based on SNI 8021:2014, SNI 7709:2019, and EN ISO 17225 standards. The results showed a moisture content of 7.85% and an ash content of 7.97%, both within acceptable limits, although the ash level was relatively high. Furthermore, EFB contained 24.20% carbohydrates and 37.99% crude fiber, which contributes to the structural stability of the bio pellets. The calorific value obtained was 1200 kkal/kg, which is considerably lower than values reported in previous studies (≥ 3500 kkal/kg). These findings highlight the potential of EFB as a renewable energy source while underscoring the need for process optimization to meet quality standards, with possible applications in small-scale and household energy generation.

Keywords: Empty Fruit Bunches, Biomass, Bio-pellets, Calorific Value.

1. Pendahuluan

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis di Indonesia yang menghasilkan produk utama berupa minyak sawit mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO) (Alamsyah et al., 2018). Proses pengolahannya juga menimbulkan limbah dalam jumlah besar, baik limbah cair maupun limbah padat (Arif dan Nasruddin, 2014; Azzahro et al., 2022; Yunaningsih et al., 2024). Salah satu limbah padat utama adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), yaitu sisa hasil pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) setelah minyak diperas (Arif et al., 2017). Jumlah TKKS sangat melimpah dan hampir sebanding dengan produksi CPO. Menurut data Direktorat Jenderal Perkebunan (2020), pabrik kelapa sawit berkapasitas 30 ton CPO per hari berpotensi menghasilkan sekitar 28–35 ton TKKS (Fahrizi et al., 2023). Dengan total produksi CPO nasional yang mencapai 52 juta ton per tahun, maka jumlah TKKS yang dihasilkan juga diperkirakan akan terus meningkat seiring ekspansi industri sawit di Indonesia (Emilia et al., 2024).

Sebagian besar TKKS belum dimanfaatkan secara optimal dan masih dianggap sebagai limbah yang berpotensi menimbulkan masalah lingkungan, seperti pencemaran dan peningkatan emisi gas rumah kaca (Adlie et al., 2018; Permadani dan Silvia, 2022). TKKS memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi sehingga berpotensi besar untuk dijadikan bahan baku energi alternatif (Herdinigrat et al., 2020). Salah satu bentuk pemanfaatan yang menjanjikan adalah pengolahan TKKS menjadi biopelet. Biopelet merupakan bahan bakar padat hasil densifikasi biomassa yang memiliki keunggulan berupa nilai kalor tinggi, bentuk seragam, mudah ditangani, dan relatif ramah lingkungan (Mawardi et al., 2019).

Penelitian terdahulu telah membuktikan potensi TKKS sebagai sumber energi biomassa. Alamsyah (2018) menunjukkan bahwa biopelet dari TKKS memiliki kandungan energi yang cukup kompetitif dibandingkan biomassa lain (Alamsyah dan Supriatna, 2018). Variasi kadar air, kadar abu, dan kandungan organik TKKS masih menjadi kendala yang memengaruhi kualitas biopelet (Haryanto et al., 2023). Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut yang mengkaji karakteristik proksimat TKKS serta nilai kalor yang dihasilkan agar diketahui kelayakannya sebagai bahan bakar biomassa padat (Maliki et al., 2025). Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi energi TKKS melalui pengujian kadar air, kadar abu, komposisi kimia, serta nilai kalor menggunakan metode standar. Hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi dasar pengembangan teknologi biopelet TKKS sebagai salah satu solusi penyediaan energi terbarukan yang efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

2. Metode

Bahan baku biopelet diuji di Laboratorium Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS). Tujuan utama adalah menguji karakteristik bahan baku biopelet berbahan dasar TKKS melalui analisis proksimat dan pengujian nilai kalor.

Tahapan penelitian ini dijabarkan lebih dirinci sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel
TKKS segar diambil dari pabrik kelapa sawit dengan massa awal $\pm 4,5$ kg. Sampel kemudian diperas untuk mengurangi kadar cairan berlebih sehingga berat bersih menjadi ± 4 kg.
2. Persiapan bahan
TKKS dicacah secara bertahap hingga berukuran lebih kecil, kemudian dilakukan pencucian untuk menghilangkan kotoran (pasir, tanah) yang berpotensi meningkatkan kadar abu.
3. Pengeringan awal
Sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu ± 105 °C hingga kadar air mencapai standar teknis ($<10\%$).

4. Penggilingan & penghalusan

TKKS kering digiling hingga menjadi serbuk halus untuk memudahkan proses densifikasi.

5. Pencetakan (pelletisasi)

Serbuk TKKS dipadatkan dengan mesin pencetak biopelet menggunakan tekanan dan suhu terkontrol, membentuk silinder berdiameter $\pm 6-8$ mm dengan panjang 10–20 mm.

6. Pengeringan akhir

Biopelet yang dihasilkan dikeringkan kembali untuk menurunkan kadar air sesuai standar ($<10\%$).

7. Pengujian Laboratorium

Biopelet diuji menggunakan metode proksimat dan bom kalorimeter dengan parameter: Kadar air (SNI 7709:2019), Kadar abu (SNI 01-0008-1987), Kadar protein, minyak, karbohidrat, dan serat kasar, Nilai kalor menggunakan Bom Kalorimeter (MPOB K.1.3.2004).



Gambar 1. Beberapa dokumentasi proses pengolahan bahan baku TKKS

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Uji Proksimat

Hasil uji laboratorium TKKS setelah melalui proses pengepresan, pencacahan, pengeringan, dan penggilingan ditampilkan pada Tabel 1. Tabel ini menunjukkan hasil uji proksimat dan analisis nilai kalor TKKS yang telah diolah menjadi biopelet. Parameter utama yang diuji meliputi kadar air, kadar abu, protein, minyak, karbohidrat, serat kasar, dan nilai kalor.

1. Kadar Air

Hasil pengujian menunjukkan kadar air biopelet TKKS sebesar 7,85%, masih dibawah ambang batas maksimal yang ditetapkan SNI 7709:2019, yaitu $<10\%$. Kadar air rendah sangat penting karena semakin tinggi kadar air, semakin rendah pula energi yang dihasilkan selama pembakaran. Nilai ini sejalan dengan penelitian Alamsyah dan Supriatna (2018) yang melaporkan kadar air biopelet TKKS berada pada rentang 6–9%. Dengan demikian, tahap pengeringan yang diterapkan dalam penelitian ini dikatakan efektif. Hal ini juga menjadi indikasi bahwa biopelet TKKS memiliki potensi efisiensi termal yang baik dalam aplikasi energi terbarukan.

Tabel 1. Hasil uji laboratorium

Parameter	Hasil Uji	Metode Uji	Interpretasi Teknis
Kadar air	7,85 %	SNI 7709:2019	Sesuai standar (<10%) → baik
Kadar abu	7,97 %	SNI 01-0008-1987	Cukup tinggi, perlu pengendalian
Protein	6,15 %	SNI 01-0008-1987	Rendah, mendukung pembakaran bersih
Minyak	1,27 %	MPOB K.1.3.2004	Rendah, menekan emisi
Karbohidrat	24,20 %	Volumetri	Sumber energi utama
Serat kasar	37,99 %	SNI 01-0008-1987	Mendukung struktur biopelet
Nilai kalor	1200 kkal/kg*	Perhitungan	Perlu klarifikasi (sangat rendah dibanding standar)

2. Kadar Abu

Kadar abu biopelet TKKS yang dihasilkan adalah 7,97%, lebih tinggi dibanding standar biopelet kayu menurut SNI 8021:2014 (sekitar 5%). Tingginya kadar abu ini menunjukkan bahwa masih terdapat kandungan mineral, silika, atau kotoran anorganik yang terbawa dalam bahan baku. Kondisi ini berimplikasi pada efisiensi pembakaran karena kadar abu yang tinggi berpotensi menimbulkan kerak (*slagging*) pada ruang bakar serta meningkatkan frekuensi pembersihan peralatan. Stahl dan Granström (2004) melaporkan bahwa abu yang tinggi merupakan tantangan utama dalam penggunaan biomassa berkualitas rendah. Oleh sebab itu, perbaikan pada tahap pra-pengolahan, seperti pencucian TKKS atau pengayakan lebih lanjut, menjadi langkah penting untuk menurunkan kadar abu.

3. Komposisi Organik (Protein, Minyak, Karbohidrat, dan Serat Kasar)

Kandungan protein 6,15% dan minyak 1,27% tergolong rendah, yang justru menguntungkan karena menekan emisi gas buang dan asap saat pembakaran. Sementara itu, karbohidrat 24,20% dan serat kasar 37,99% memberikan kontribusi terhadap stabilitas fisik dan densitas biopelet. Kandungan lignoselulosa yang tinggi pada TKKS berperan sebagai perekat alami selama proses pelletisasi, sehingga memperkuat struktur biopelet. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya (Alamsyah dan Supriatna 2018) yang menunjukkan bahwa kandungan serat kasar mendukung kerapatan dan kekuatan mekanis biopelet.

4. Nilai Kalor

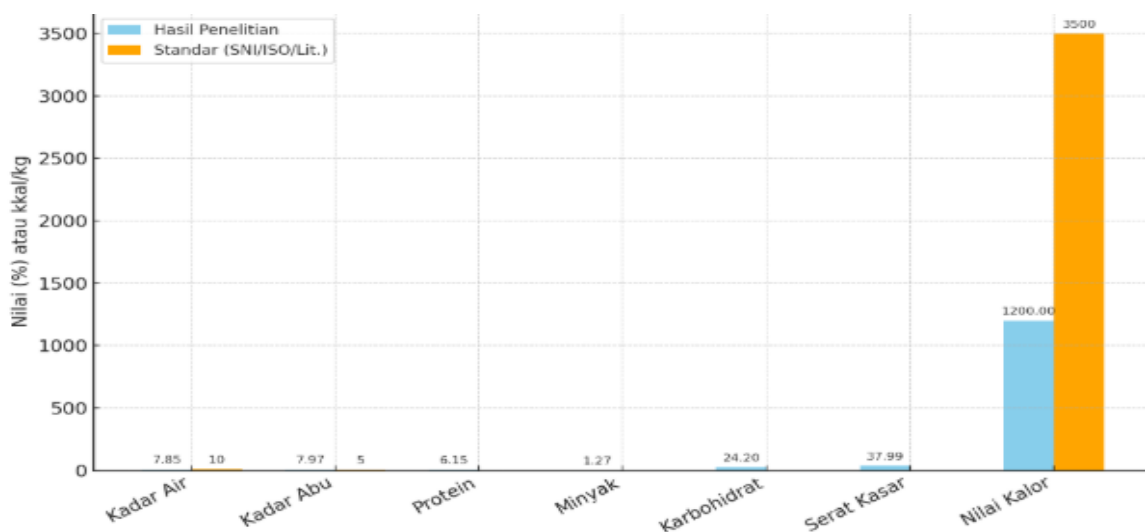
Nilai kalor biopelet TKKS hanya 1200 kkal/kg, jauh di bawah standar mutu biopelet (≥ 3500 kkal/kg; SNI 8021:2014, EN ISO 17225-2:2014). Perbedaan signifikan ini menegaskan perlunya kajian lebih lanjut dan optimasi proses produksi.

Penelitian lain melaporkan bahwa biopelet TKKS biasanya memiliki nilai kalor sekitar 3700–4200 kkal/kg (Alamsyah dan Supriatna 2018; Stahl dan Granström 2004). Oleh karena itu, hasil 1200 kkal/kg dalam penelitian ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh kondisi teknis saat proses pelletisasi. Hal ini menjadi catatan penting bahwa biopelet TKKS memang berpotensi sebagai energi terbarukan, tetapi kualitas proses produksi harus ditingkatkan agar produk akhir sesuai standar internasional.

Jika dibandingkan dengan literatur, biopelet TKKS umumnya memiliki nilai kalor 3700–4200 kkal/kg. Oleh karena itu, penelitian ini perlu menekankan pentingnya optimasi tahap persiapan bahan (khususnya pengurangan kadar abu dan peningkatan karbon terikat) agar menghasilkan biopelet dengan kualitas energi yang lebih kompetitif (Lucas et al., 2004).

Gambar 1 menunjukkan perbandingan antara hasil pengujian biopelet Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan standar acuan mutu biomassa padat (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Tiga parameter utama yang dianalisis adalah kadar air, kadar abu, dan nilai kalor. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kadar air biopelet TKKS sebesar 7,85%, masih berada di bawah batas standar (<10%). Kondisi ini menunjukkan bahwa proses pengeringan sudah cukup efektif dan sesuai dengan persyaratan teknis untuk memastikan efisiensi pembakaran. Sebaliknya, kadar abu yang diperoleh mencapai 7,97%, lebih tinggi dibandingkan standar acuan $\pm 5\%$. Nilai abu yang tinggi mempengaruhi kualitas energi bersih yang dilepaskan saat pembakaran dan meningkatkan residu padat, sehingga berdampak pada efisiensi termal serta biaya perawatan peralatan. Hal ini mengindikasikan bahwa pembersihan bahan baku masih perlu dioptimalkan untuk menekan kandungan mineral atau kontaminan.

Perbedaan paling signifikan terlihat pada nilai kalor. Hasil pengujian mencatat 1200 kkal/kg, jauh lebih rendah dibandingkan standar biopelet yang umumnya ≥ 3500 kkal/kg. Perbedaan yang besar ini menunjukkan adanya masalah pada proses produksi, khususnya pada tahap densifikasi dan pengeringan, atau kondisi teknis saat proses pelletisasi. Hal ini menjadi catatan penting bahwa biopelet TKKS Rendahnya nilai kalor ini menjadi tantangan utama yang perlu ditangani agar biopelet TKKS memenuhi persyaratan energi terbarukan di tingkat nasional maupun internasional.



Gambar 1. Diagram perbandingan hasil penelitian biopelet TKKS dengan standar SNI

Secara keseluruhan, biopelet TKKS yang dihasilkan memiliki kadar air sesuai standar, kadar abu relatif tinggi, serta komposisi organik yang mendukung kestabilan fisik. Akan tetapi nilai kalor yang rendah menjadi kendala utama dalam pemanfaatannya sebagai bahan bakar padat. Hal ini menandakan perlunya optimasi proses produksi agar biopelet TKKS, sehingga mampu memenuhi standar nasional dan internasional. Meskipun demikian, hasil penelitian ini tetap menunjukkan bahwa TKKS berpotensi sebagai sumber energi alternatif, terutama bila digunakan dalam bentuk campuran (co-firing) dengan biomassa lain atau untuk aplikasi skala kecil.

4. Kesimpulan

Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa: Biopelet berbahan baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) menunjukkan kadar air 7,85%, sudah sesuai standar (<10%) dan mendukung efisiensi pembakaran. Kadar abu mencapai 7,97%, lebih tinggi dari standar ($\sim 5\%$), sehingga diperlukan proses pembersihan bahan baku untuk menekan kontaminan mineral. Kandungan

karbohidrat (24,20%) dan serat kasar (37,99%) berkontribusi positif terhadap kestabilan struktur biopellet. Nilai kalor tercatat 1200 kkal/kg, jauh lebih rendah dibanding standar mutu biopellet (≥ 3500 kkal/kg), sehingga diperlukan klarifikasi satuan hasil uji dan optimasi proses pengolahan. TKKS memiliki potensi signifikan sebagai sumber energi terbarukan, tetapi peningkatan kualitas produksi melalui pengendalian kadar abu dan peningkatan densifikasi sangat penting agar memenuhi standar nasional maupun internasional.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area yang telah memberikan dukungan fasilitas dan pendanaan untuk penelitian ini. Tidak lupa, penulis menghargai bantuan dari semua pihak yang telah berkontribusi dalam pengumpulan data, pengujian laboratorium, serta analisis hasil penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Abu Bakar, Nasrin; May, Choo Yuen; Lim, Joseph; Lim, Stephen; Chin, Eddy; Loh, Song Kheang; Soon, Lim Weng, M Yunus, M Yusman; 2015. "Improved Process for the Production of Low-Ash Empty Fruit Bunch Pellet." *MPOB Information Series 706*, 2015. www.mpob.gov.my.
- Adlie, T. A., Z. Arif, F. Amir, S. Rizal, N. Ali, S. Huzni, S. Thalib, and S. Suheri. 2018. "Pengaruh Beban Tarik Terhadap Variasi Ukuran Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polymeric Foam." *JURUTERA - Jurnal Umum Teknik Terapan* 5 (01): 9–14. <https://doi.org/10.55377/JURUTERA.V5I01.708>.
- Alamsyah, Rizal, and Dadang Supriatna. 2018. "Analisis Teknik dan Tekno Ekonomi Pengolahan Biomassa Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Menjadi Pelet Sebagai Bahan Bakar Terbarukan Skala Produksi." *Warta IHP/Journal of Agro-Based Industry* 35 (1): 1–10.
- Arif, Z., T. A. Adlie, F. Amir, S. Thalib, N. Ali, N. Nazaruddin, and M. Mustafa. 2017. "Tensile Loading on Composite Polymeric Foam Reinforced by Empty Fruit Bunch Waste (EFB)." *International Conference on Science, Technology and Modern Society* 1 (1): 168–171. <https://ejurnalunsam.id/index.php/icstms/article/view/584>.
- Arif, Z., and Nasruddin. 2014. "Respon Parking Bumper Bahan Komposit Polymeric Foam Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Akibat Beban Tekan Statik Dan Dinamik (Simulasi Numerik)." *JURUTERA - Jurnal Umum Teknik Terapan* 1 (02): 41–51. <https://doi.org/10.55377/JURUTERA.V1I02.740>.
- Aulia, Sekar, Zainuddin Ginting, Dede Ibrahim Muthawali, Ishak Ishak, Muhammad Muhammad, Eddi Kurniawan, dan Budhi Santri Kusuma. 2024. "Karakteristik Biopellet Dari Limbah Kulit Kelapa Muda Dan Batok Kelapa Menggunakan Perakat Getah Pinus Sebagai Bahan Bakar Alternatif". *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 3 (1):119-29. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i1.61>.
- Azzahro, H., N. Indrasti, and A. I. Industri. 2022. "Penerapan Produksi Bersih pada Industri Kelapa Sawit di PT YZ." *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 32 (1): 1–11. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2022.32.1.1>.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2019. *SNI 7709:2019 Bahan Bakar Padat – Penentuan Kadar Air*. Jakarta: BSN.
- Brunerová, Anna, Miroslav Müller, Vladimír Šleger, Himsar Ambarita, and Petr Valášek. 2018. "Bio-Pellet Fuel from Oil Palm Empty Fruit Bunches (EFB): Using European Standards for Quality Testing." *Sustainability (Switzerland)* 10 (12). <https://doi.org/10.3390/su10124443>.
- Emilia, I., L. Ardila, and P. Anggraini. 2024. "Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Pupuk Kompos Di Desa Suka Damai Kecamatan Tunggal Jaya Musi Banyuasin."

- Environmental Science Journal (Esjo): Jurnal Ilmu Lingkungan* 2 (2): 34–39.
<https://doi.org/10.31851/ESJO.V2I2.15870>.
- Fahrizi, R. F., H. E. Saputra, F. Ekonomi, B. Islam, and I. P. Raya. 2023. “Valuasi Perkebunan Kelapa Sawit dan Pemanfaatan Limbah sebagai Peluang Bisnis di Indonesia.” *Al-Aflah* 2 (2): 73–86. <https://doi.org/10.23971/AL-AFLAH.V2I2.6838>.
- Haryanto, A., S. Waluyo, A. P. Utami, and S. Triyono. 2023. “Pengaruh Gaya Tekan Dan Waktu Penekanan Terhadap Karakteristik Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit.” *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem* 11 (1): 89–101.
<https://doi.org/10.29303/JRPB.V11I1.447>.
- Herdiningrat, R. A., E. Mardawati, S. H. Putri, and T. Yuliani. 2020. “Karakterisasi Bioetanol Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Metode Pemurnian Adsorpsi (Adsorpsi Menggunakan Adsorben Berupa Zeolit).” *Jurnal Industri Pertanian* 2 (1).
<https://jurnal.unpad.ac.id/justin/article/view/26188>.
- Lucas, C., D. Szewczyk, W. Blasiak, and S. Mochida. 2004. “High-Temperature Air and Steam Gasification of Densified Biofuels.” *Biomass and Bioenergy* 27 (6): 563–575.
<https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2003.08.015>.
- Maliki, S., Min Alfisyahri Program Studi Teknik Kimia, M., J. Teknik Kimia, N. Sriwijaya, P. Lama, B. Barat, I. Palembang, K. Selatan, and S. 2025. “Karakteristik Biopellet Berbasis Cangkang Kelapa Sawit Dan Batubara Sub-Bituminous Untuk Energi Terbarukan.” *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)* 5 (3): 272–282.
<https://doi.org/10.29103/CEJS.V5I3.21836>.
- Mawardi, I., and R. Usman. 2019. “Peningkatan Karakteristik Biopellet Kayu Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif.” *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe* 3 (1): 230. <https://e-jurnal.pnl.ac.id/semnaspnl/article/view/1722>.
- Permadani, R. L., and S. Silvia. 2022. “Sintesis Bioplastik Dari Selulosa Asetat Tandan Kosong Kelapa Sawit: Sebuah Kajian.” *Jurnal Integrasi Proses* 11 (2): 47–58.
<https://doi.org/10.36055/JIP.V11I2.16553>.
- Suhasman, S., Yuniarti Andi Detti, Pangestu Kidung Tirtayasa Putra, Agussalim, Kitta Ikhlas, Arisandi Heru, Rachmadona Nova, Darmawan Saptadi, and Pari Gustan. 2024. “Biopellets from Four Shrub Species for Co-Firing in East Indonesia.” *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 52 (6): 539–54. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2024.52.6.539>.
- Wenas, Ari Akbariyanto, and Toto Hardianto. 2022. “Pengaruh Torefaksi Terhadap Pencucian Potassium Dalam Konversi Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bahan Bakar Padat Ramah Lingkungan.” *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)* 5 (2): 123–40.
<https://doi.org/10.18196/jmpm.v5i2.14109>.
- Yunaningsih, A., and Y. S. 2024. “Indikator Sirkularitas di dalam Tata Kelola Limbah Pabrik Kelapa Sawit Studi Kasus: Limbah Cair (POME) Pabrik Kelapa Sawit.” *Jurnal IICET* 2024.
<https://doi.org/10.29210/020243688>.