



Pengaruh Tingkat Keasaman dan Ukuran Bahan Terhadap Penurunan Kadar Abu TKKS Melalui Proses Perendaman di dalam POME

Effect of POME Acidity and Particle Size on Ash Reduction of Oil Palm Empty Fruit Bunches through Leaching

Anindhia Gusela Putri¹, Agus Haryanto^{1*}, Siti Suharyatun¹, Sugeng Triyono¹

¹Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

*Corresponding Author: agus.haryanto@fp.unila.ac.id

Abstract. Empty fruit bunches (EFB) are solid waste from the palm oil industry with potential as a biomass fuel. However, their high ash content can reduce combustion quality and energy efficiency. This study investigated the effects of POME acidity, EFB particle size, and their interaction on ash reduction and biomass fuel characteristics. A factorial Completely Randomized Design (CRD) was applied with two factors: POME acidity (pH 4, 3.5, and 3) and EFB particle size (0–2, 2–5, and 5–10 cm). EFB was soaked for 5, 15, 30, and 60 min, with three replications. Ash content, volatile matter, fixed carbon, calorific value, and ash mineral composition were analyzed. Data were subjected to ANOVA followed by the Least Significant Difference (LSD) test at a 5% significance level. The results showed that leaching with acetic-acid-enriched POME reduced EFB ash content under all treatment conditions. At 60 min, POME acidity, particle size, and their interaction significantly affected ash content ($p < 0.05$). The combination of 2–5 cm EFB particles and pH 3 produced the lowest ash content (4.10%), meeting the maximum requirement for solid biomass fuel according to SNI 8675:2018. This treatment also achieved a calorific value of 17.64 MJ/kg. Mineral analysis indicated that leaching removed ash-forming minerals, thereby improving the fuel quality of EFB.

Keywords: Acetic Acid, Ash Content, Biomass, Empty Fruit Bunches (EFB), Palm Oil Mill Effluent (POME).

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia sehingga industri kelapa sawit memberikan kontribusi penting terhadap perekonomian nasional. Peningkatan produksi minyak

sawit mentah (*Crude Palm Oil/CPO*) juga menyebabkan meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan. Setiap pengolahan 1 ton tandan buah segar (TBS) menghasilkan sekitar 220–230 kg tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan 670 kg *Palm Oil Mill Effluent* (POME) (Ristianingsih et al., 2015). TKKS merupakan limbah lignoselulosa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar biomassa, sedangkan POME merupakan limbah cair yang masih mengandung senyawa organik dan mineral sehingga memerlukan pengelolaan yang tepat agar tidak menimbulkan dampak lingkungan (Mohammad et al., 2021).

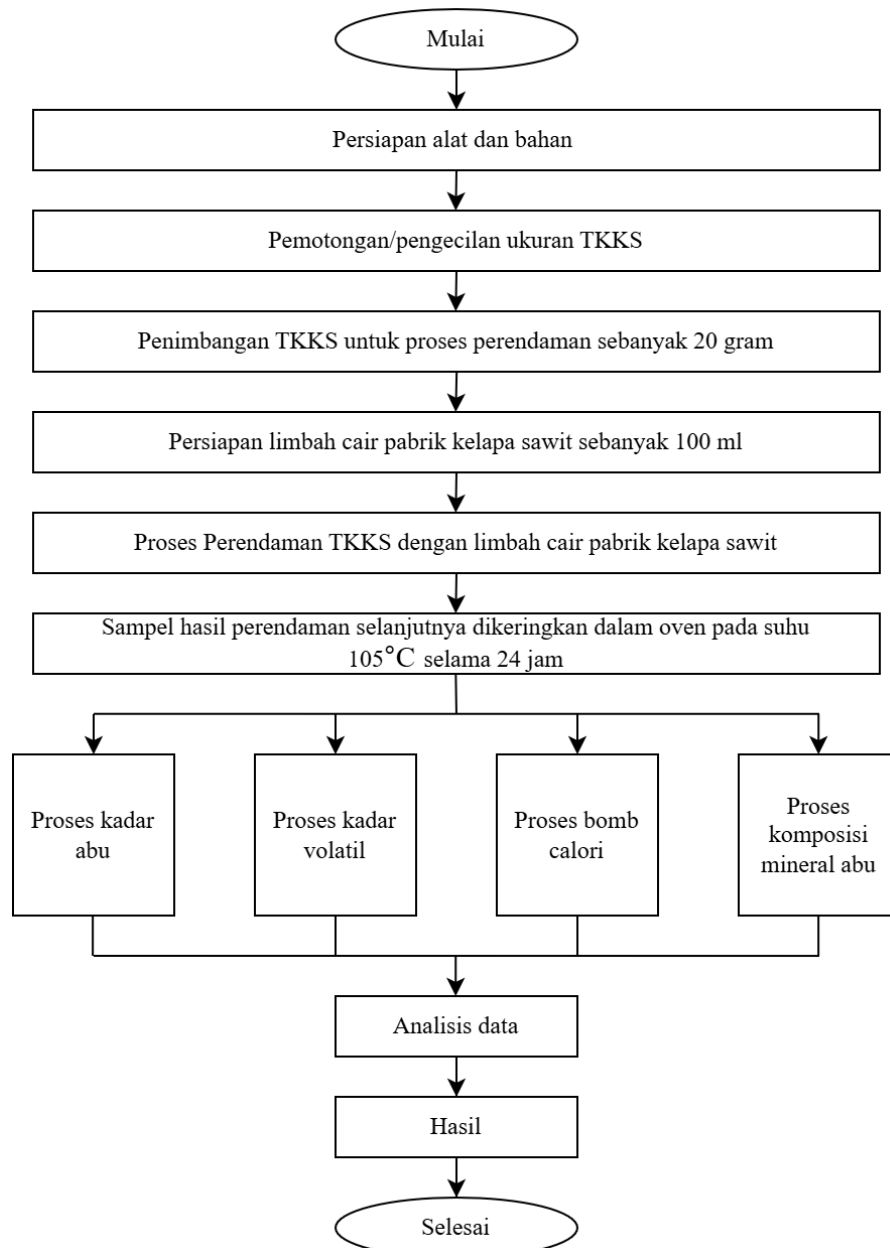
Pemanfaatan TKKS sebagai bahan bakar biomassa masih menghadapi kendala karena tingginya kadar abu. Kadar abu biopellet TKKS dilaporkan mencapai rata-rata 8,73%, sehingga belum memenuhi persyaratan mutu biomassa padat berdasarkan SNI 8675:2018 yang mensyaratkan kadar abu maksimum sebesar 5% (Falah & Nelza, 2019). Tingginya kadar abu dapat menurunkan kualitas biomassa karena dapat menyebabkan pembentukan kerak (*slagging*), endapan (*fouling*), serta menurunkan efisiensi pembakaran. Oleh karena itu, diperlukan proses pra-perlakuan untuk mengurangi kandungan mineral penyusun abu. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah proses *leaching* atau perendaman, yaitu proses pelindian mineral anorganik menggunakan pelarut cair. Efektivitas proses *leaching* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis pelarut, tingkat keasaman larutan, ukuran bahan, waktu perendaman, dan suhu pelindian (Kukuruzović et al., 2023).

POME memiliki karakteristik yang berpotensi dimanfaatkan sebagai media *leaching* karena mengandung senyawa organik, asam lemak, serta memiliki pH alami sekitar 4–5 (Tang et al., 2020). Pemanfaatan POME sebagai media pelindian tidak hanya mendukung konsep ekonomi sirkular, tetapi juga dapat mengurangi beban pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah cair secara langsung (Tang et al., 2020). Selain itu, penambahan asam asetat diperkirakan dapat meningkatkan efektivitas proses *leaching*. Asam organik, termasuk asam asetat, terbukti mampu menurunkan kadar abu biomassa secara signifikan dengan tetap mempertahankan struktur lignoselulosa (Wigley et al., 2016; Kukuruzović et al., 2023). Namun, penelitian mengenai penggunaan POME yang diperkaya asam asetat dengan memperhatikan pengaruh tingkat keasaman dan ukuran bahan terhadap penurunan kadar abu TKKS masih terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh tingkat keasaman POME yang diperkaya asam asetat dan ukuran bahan terhadap penurunan kadar abu TKKS melalui proses *leaching*. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi karakteristik biomassa yang meliputi kadar volatil, karbon tetap, nilai kalori, dan komposisi mineral abu untuk memperoleh kondisi perlakuan yang paling efektif dalam meningkatkan kualitas TKKS sebagai bahan bakar biomassa.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai dengan bulan April 2026, yang bertempat di Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air dan Lahan, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu wadah/ember plastik, gunting, pH meter, batang pengaduk, gelas ukur 100 ml, gelas beaker 1000 ml, gelas kaca, saringan, cawan porselen, penjepit cawan, oven merk memmert, furnace Vulcan D-550 dan merk Thermo scientific 7B1410 M-33, timbangan analitik merk KERN ADB, desikator, bomb kalori meter, stopwatch, kamera, alat tulis, serta laptop untuk mencatat data hasil. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tandan kosong kelapa sawit (TKKS) press, limbah cair pabrik kelapa sawit (POME), aquades, serta asam asetat yang dibeli di toko online. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yang dijelaskan menggunakan diagram alir ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Parameter Penelitian

Parameter penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.1.1 Uji Kadar Abu

Uji kadar abu dilakukan untuk mengetahui persentase residu anorganik yang tersisa setelah proses pembakaran sempurna bahan pada suhu tinggi. Pengujian kadar abu pada penelitian ini mengacu pada SNI 8675:2018. Cawan berisi sampel kemudian dimasukkan ke dalam furnace dan dibakar pada suhu 550 °C selama 2 jam 30 menit. Kadar abu dihitung dengan persamaan 1.

$$\text{Ash} = \frac{Q-C}{P-C} \times 100\% \quad (1)$$

dimana Ash adalah kadar abu (%). C adalah bobot cawan kosong porselin (g). P adalah bobot cawan + sampel sebelum dimasukkan kedalam furnace (g). Q adalah bobot cawan + abu (g).

2.1.2 Uji Kadar Volatil

Uji kadar volatil merupakan analisis proksimat yang bertujuan untuk menentukan fraksi zat mudah menguap yang dilepaskan dari biomassa selain air ketika dipanaskan pada kondisi tertentu tanpa kehadiran oksigen. Pengujian kadar volatil dilakukan dengan memanaskan sampel biomassa kering di dalam cawan tertutup pada suhu 950 °C selama 7 menit di dalam furnace sesuai SNI 06-3730-1995. Nilai kadar volatil dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$\text{Kadar Volatil (\%)} = \frac{S-Q}{S} \times 100\% \quad (2)$$

dimana S adalah massa sampel sebelum dipanaskan (g) dan Q adalah massa sampel setelah pemanasna (g).

2.1.3 Uji Karbon Tetap

Pengujian karbon tetap dilakukan untuk mengetahui kandungan karbon padat yang tersisa setelah kadar volatil dan kadar abu dikurangi. Nilai karbon tetap menunjukkan jumlah karbon yang dapat terbakar secara perlahan selama proses pembakaran sehingga berpengaruh terhadap kualitas biomassa sebagai bahan bakar padat. Semakin tinggi nilai karbon tetap, maka biomassa cenderung memiliki kualitas energi yang lebih baik. Nilai karbon tetap dihitung menggunakan persamaan 3.

$$FC = 100 - (VM + Ash) \quad (3)$$

dimana FC adalah karbon tetap (%), VM adalah kadar volatil (%), dan Ash adalah kadar abu (%).

2.1.4 Uji Nilai Kalori

Uji nilai kalori dilakukan untuk mengetahui jumlah energi panas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna suatu bahan biomassa. Nilai kalori merupakan parameter penting dalam menilai kualitas biomassa sebagai bahan bakar padat karena berhubungan langsung dengan efisiensi energi dan performa pembakaran. Pengujian dilakukan menggunakan *bomb calorimeter PARR Type 1341*, sampel yang diuji merupakan sampel dengan perlakuan terbaik berdasarkan hasil pengujian kadar abu terendah.

2.1.5 Uji Komposisi Mineral Abu

Uji komposisi mineral abu merupakan analisis lanjutan dari uji kadar abu yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan menentukan kandungan unsur mineral anorganik yang tersisa setelah biomassa mengalami pembakaran sempurna. Uji komposisi mineral abu dianalisis menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) untuk menganalisis komposisi unsur mineral abu secara menyeluruh. Uji komposisi mineral abu dilaksanakan di Universitas Negeri Padang. Sampel yang digunakan dalam uji komposisi mineral abu menggunakan sampel tanpa perlakuan dan sampel dari perlakuan yang menghasilkan nilai kadar abu paling rendah.

2.2 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan mengolah seluruh data yang diperoleh dari parameter pengujian serta tahapan pelaksanaan penelitian. Data penelitian dianalisis menggunakan metode kuantitatif deskriptif yang disajikan dalam bentuk tabel, grafik dan diagram batang. Selanjutnya data dianalisis secara statistik menggunakan uji sidik ragam (*Analysis of Variance/ ANOVA*). Apabila hasil ANOVA menunjukkan perubahan yang nyata, maka dilakukan uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Bahan

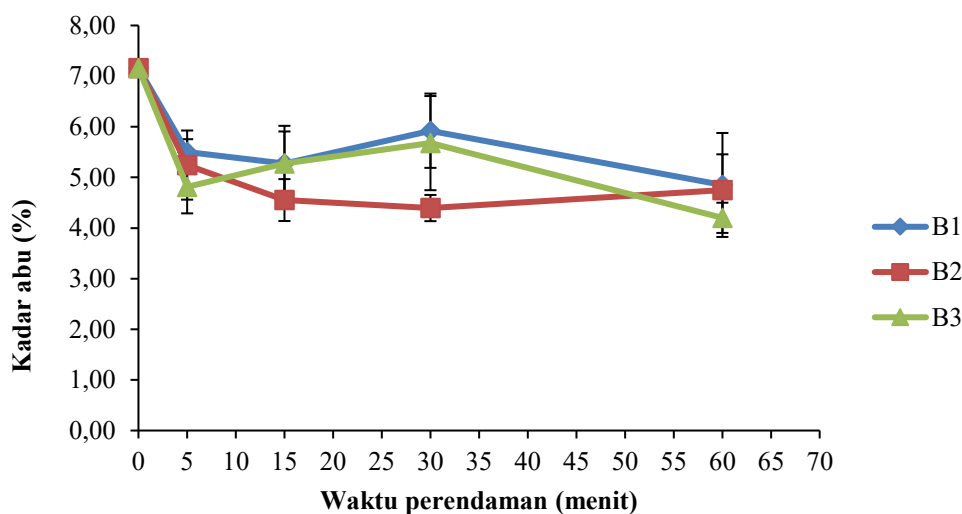
Secara keseluruhan, karakteristik TKKS press tanpa perlakuan menunjukkan kandungan volatil yang dominan, kadar abu yang relatif tinggi, serta karbon terikat dalam jumlah sedang. Kondisi ini menunjukkan bahwa bahan masih mengandung mineral anorganik yang cukup tinggi dan komponen organik yang belum mengalami perubahan. Oleh karena itu, data ini digunakan sebagai dasar pembandingan untuk mengevaluasi efektivitas perlakuan yang diberikan dalam menurunkan kadar abu dan memperbaiki kualitas biomassa.

Tabel 1. Hasil Uji Karakteristik Bahan TKKS Press Tanpa Perlakuan

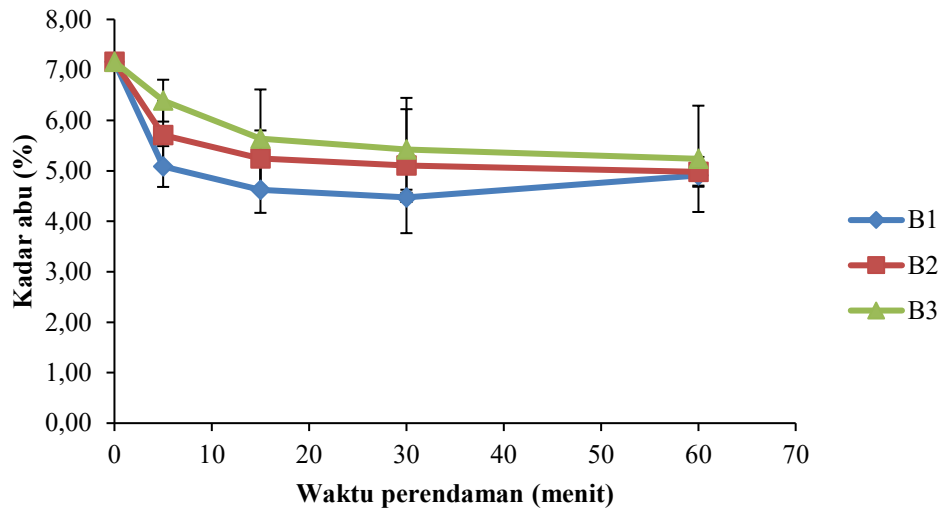
Perlakuan Mekanis	Nilai Rata-Rata				
	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Volatil (%)	Karbon Tetap (%)	Nilai Kalori (MJ/Kg)
TKKS Press	8,79	7,16	78,84	13,98	17,52
±SD	0,06	0,05	0,63	0,61	

3.2 Kadar Abu

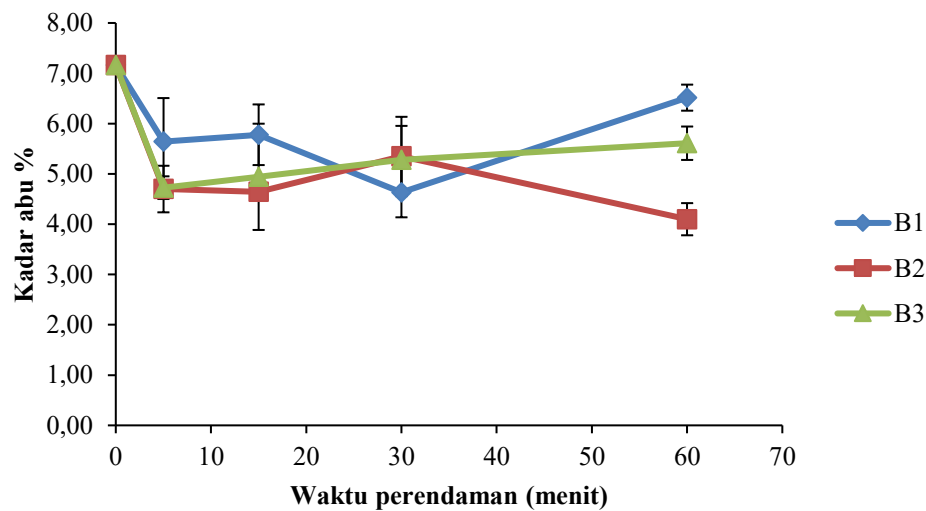
Kadar abu merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui kandungan mineral anorganik yang tersisa setelah proses pembakaran. Abu merupakan sisa yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan. Salah satu komponen penyusun abu adalah silika yang tidak dapat terbakar. Semakin tinggi kadar abu, maka kualitas bahan cenderung menurun. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya kandungan mineral dalam bahan yang menyebabkan jumlah abu yang dihasilkan juga meningkat. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 8675-2018), kadar abu maksimum yang diperbolehkan adalah sebesar 5%.



Gambar 2. Kadar abu pada perlakuan pH 4



Gambar 3. Kadar abu pada perlakuan pH 3,5



Gambar 4. Kadar abu pada perlakuan pH 3

Grafik pada Gambar 2 sampai 4 menunjukkan kadar abu TKKS mengalami penurunan pada seluruh kombinasi perlakuan setelah proses perendaman menggunakan larutan POME. Kadar abu TKKS Press tanpa perlakuan sebesar 7,16%, setelah diberikan perlakuan perendaman kadar abu yang dihasilkan mengalami penurunan dengan rentan nilai kadar abu 4,20–5,92% pada pH 4; 4,47–6,39% pada pH 3,5; 4,10–6,52% pada pH 3. Penurunan kadar abu pada penelitian ini dipengaruhi oleh proses perendaman dalam kondisi asam yang menyebabkan pelarutan komponen mineral anorganik dari biomassa. Semakin tinggi tingkat keasaman larutan dan semakin lama waktu perendaman, maka kemampuan dalam menurunkan kandungan abu menjadi lebih efektif.

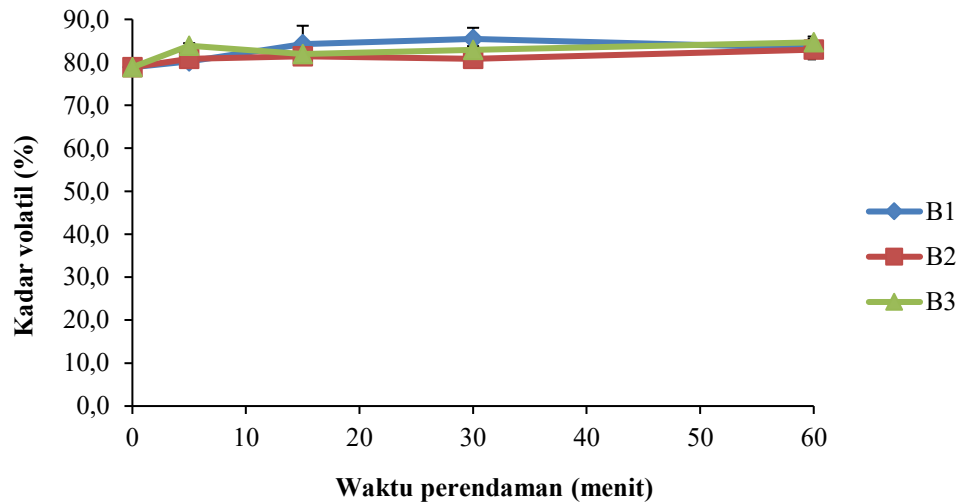
Hal ini sejalan dengan penelitian (Santosa et al., 2026) yang menyatakan bahwa proses demineralisasi (*leaching*) menggunakan larutan asam nitrat (HNO_3) efektif dalam menurunkan kadar abu dan kandungan mineral pada biomassa TKKS. Ukuran bahan juga mempengaruhi efektivitas proses perlakuan, dimana ukuran bahan yang lebih kecil cenderung meningkatkan luas permukaan yang besar sehingga lebih banyak cairan POME yang terserap (Shintawati et al., 2024).

Berdasarkan seluruh hasil yang diperoleh, nilai kadar abu terendah terdapat pada ukuran bahan 2–5 cm dan tingkat keasaman pH 3 dengan waktu perendaman 60 menit, dengan nilai rata-rata sebesar 4,10%. Nilai tersebut merupakan kadar abu paling rendah dibandingkan seluruh variasi

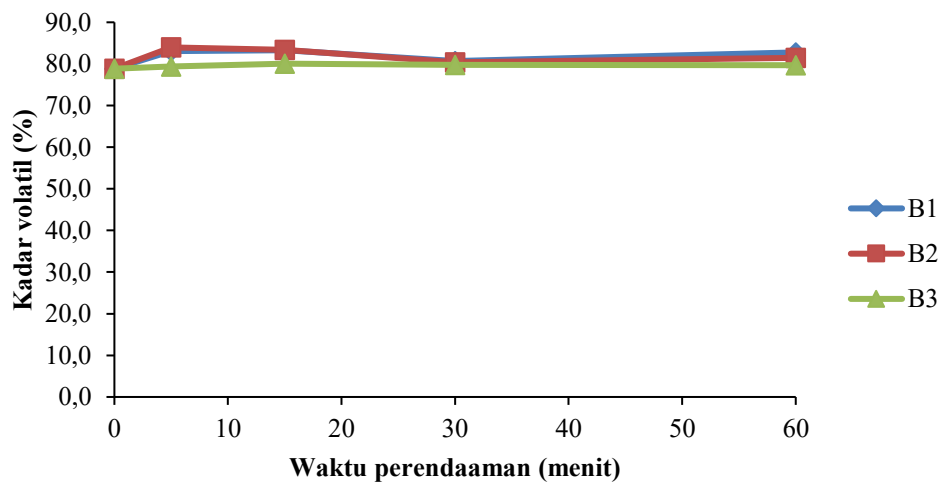
perlakuan yang dilakukan. Selain itu, hasil tersebut telah memenuhi standar mutu berdasarkan SNI 8675:2018, dimana kadar abu maksimum biomassa padat ditetapkan sebesar 5%.

3.3 Kadar Volatil

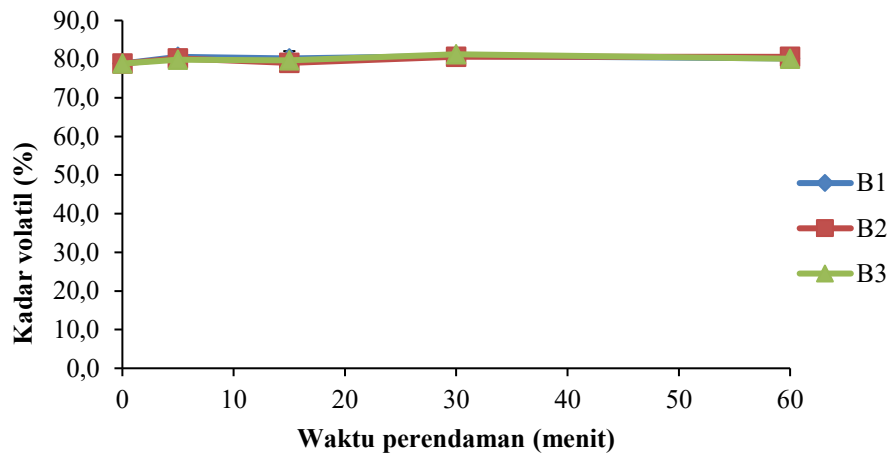
Kadar zat menguap adalah zat (*volatil matter*) yang dapat menguap dalam suatu bahan ketika dipanaskan pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen sebagai dekomposisi senyawa-senyawa yang masih terdapat di dalam arang selain air (Ristianingsih et al., 2015). Nilai kadar volatil ditentukan berdasarkan selisih massa sebelum dan sesudah pemanasan, sehingga menggambarkan kandungan komponen volatil dalam bahan (Wati & Supriyono, 2025).



Gambar 5. Kadar volatil pada perlakuan pH 4



Gambar 6. Kadar volatil pada perlakuan pH 3,5



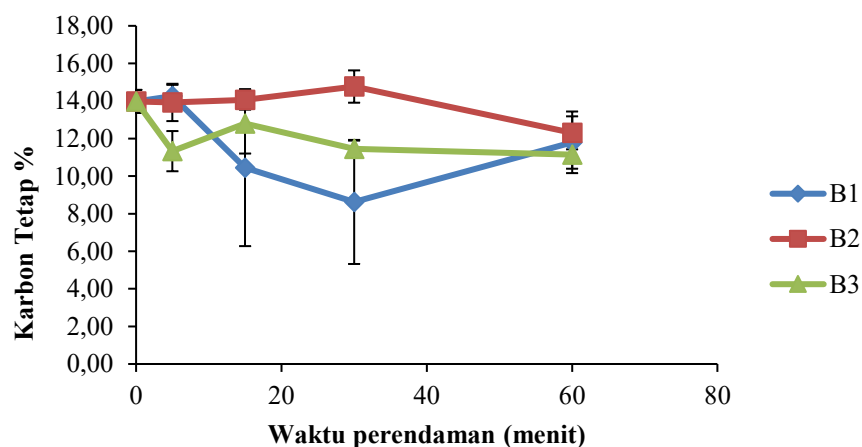
Gambar 7. Kadar volatil pada perlakuan pH 3

Grafik pada Gambar 5 sampai 7 menunjukkan bahwa proses *leaching* menggunakan POME memberikan pengaruh terhadap kadar volatil TKKS pada berbagai kombinasi perlakuan. Berdasarkan hasil penelitian, kadar volatil biomassa mengalami perubahan pada setiap perlakuan pH, ukuran bahan, dan waktu perendaman. Secara keseluruhan, perlakuan pada pH 3 menunjukkan bahwa kadar volatil cenderung stabil pada seluruh variasi ukuran bahan dan waktu perendaman, dengan perbedaan nilai yang tidak terlalu besar antar perlakuan. Menurut (Sukarta & Ayuni, 2016), perubahan kadar volatil pada penelitian ini dipengaruhi oleh kondisi perlakuan dan karakteristik bahan yang digunakan. Nilai kadar volatil dapat berbeda pada setiap perlakuan karena adanya perubahan komposisi bahan selama proses berlangsung.

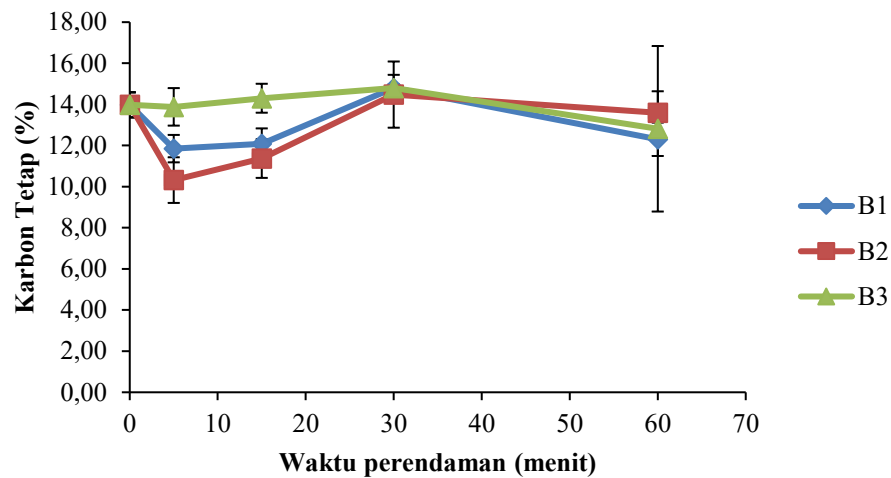
Perbedaan kadar volatil ini menunjukkan adanya perubahan kandungan zat mudah menguap pada biomassa akibat perlakuan asam dan ukuran bahan selama proses perendaman. Nilai kadar volatil yang lebih tinggi menunjukkan bahwa biomassa masih memiliki kandungan senyawa mudah menguap yang cukup besar.

3.4 Karbon Tetap

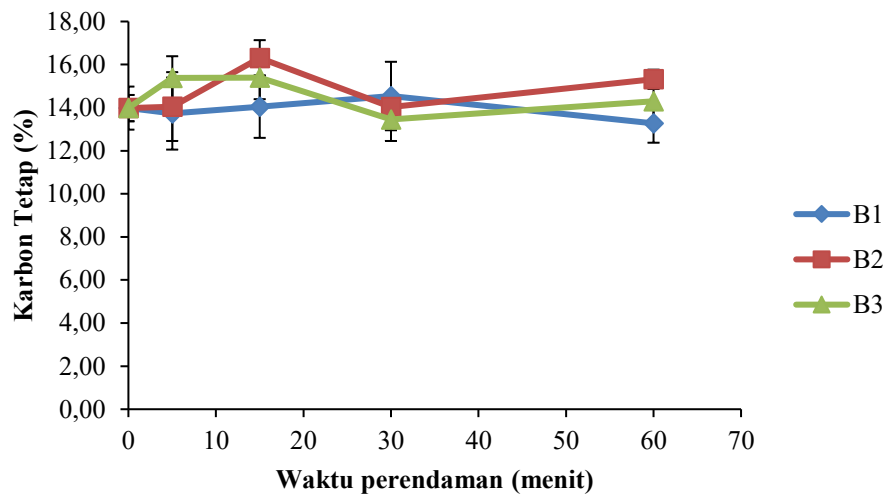
Karbon tetap merupakan bagian dari analisis proksimat yang menunjukkan jumlah karbon padat yang tersisa setelah komponen kadar volatil dan kadar abu dikurangi. Nilai karbon tetap menggambarkan kandungan karbon yang berperan dalam proses pembakaran dan berpengaruh terhadap kualitas bahan sebagai bahan bakar. Dalam penelitian ini, perhitungan karbon tetap dilakukan tanpa memperhitungkan kadar air, sehingga diperoleh dari selisih 100% dengan jumlah kadar volatil dan kadar abu.



Gambar 8. Karbon tetap pada perlakuan pH 4



Gambar 9. Karbon tetap pada perlakuan pH 3,5



Gambar 10. Karbon tetap pada perlakuan pH 3

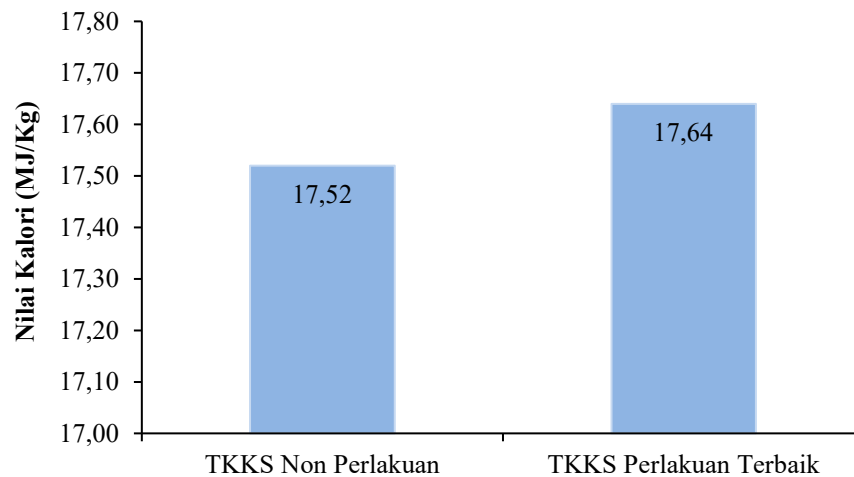
Grafik pada gambar 8 sampai 10 menunjukkan nilai karbon tetap TKKS. Secara umum, nilai karbon tetap pada penelitian ini menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik dengan kadar abu dan kadar volatil. Semakin rendah kadar abu dan kadar volatil, maka nilai karbon tetap cenderung meningkat. Hal ini disebabkan karena karbon tetap merupakan sisa komponen karbon setelah zat mudah menguap dan mineral anorganik dikurangi dari total komposisi bahan. Hasil ini sesuai dengan analisis proksimat biomassa yang menyatakan bahwa parameter kadar abu, kadar volatil, dan karbon tetap saling berkaitan dalam menentukan karakteristik bahan (Sufra et al., 2026).

Selain itu, variasi perlakuan seperti kondisi asam (pH), ukuran bahan, dan waktu perendaman dapat mempengaruhi komposisi biomassa sehingga berdampak pada nilai karbon tetap. Penurunan kadar abu akibat pelarutan mineral selama perlakuan akan meningkatkan fraksi karbon tetap dalam bahan. Dengan demikian, perubahan komposisi proksimat yang terjadi selama proses perlakuan akan mempengaruhi nilai karbon tetap yang dihasilkan (Dewi et al., 2023).

3.5 Nilai Kalori

Hasil pengujian nilai kalori tandan kosong kelapa sawit (TKKS) pada perlakuan terbaik, yaitu kondisi dengan kadar abu terendah. Pengukuran nilai kalori pada penelitian ini menggunakan alat bomb kalorimeter. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai panas pembakaran yang dapat

dihasilkan oleh biomassa sebagai bahan bakar. Nilai kalori sangat menentukan kualitas biomassa yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai kalorinya maka semakin tinggi juga kualitas biomassa yang dihasilkan.



Gambar 11. Hasil pengujian nilai kalori TKKS pada perlakuan terbaik

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 11, diperoleh nilai kalori sebesar 4220,70 kal/g atau setara dengan 17,64 MJ/kg. Nilai ini diperoleh pada kondisi perlakuan dengan kadar abu terendah sebesar 4,10%, yang menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan mampu meningkatkan kualitas energi biomassa.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa TKKS memiliki potensi yang baik sebagai sumber energi biomassa terbarukan. Nilai kalori sebesar 17,64 MJ/kg menunjukkan bahwa TKKS hasil perlakuan memiliki karakteristik yang sesuai sebagai bahan bakar biomassa, dan sekaligus melebihi batas minimal 16,5 MJ/kg yang ditetapkan oleh (SNI 8675:2018) untuk pelet biomassa sebagai bahan bakar energi, sehingga menunjukkan bahwa bahan uji memenuhi standar mutu nasional.

3.6 Komposisi Mineral Abu

Analisis komposisi mineral abu dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur anorganik yang terdapat dalam abu hasil pembakaran biomassa, serta mengidentifikasi komponen mineral dominan yang mempengaruhi karakteristik abu yang dihasilkan. Informasi ini penting untuk mengevaluasi kualitas biomassa, khususnya dalam kaitannya dengan potensi pembentukan kerak (*slagging*) dan pengaruhnya terhadap proses pembakaran.

Tabel 2. Perbandingan komposisi mineral abu sebelum dan sesudah perlakuan terbaik

Komponen	Element (%)	
	Sebelum Perlakuan	Sesudah Perlakuan
Na	14,915	7,905
Mg	4,022	3,673
Si	20,524	48,948
P	7,508	3,486
S	5,383	2,434
K	33,278	17,074
Ca	10,273	8,725
Ti	0,901	0,934

Komponen	Element (%)	
	Sebelum Perlakuan	Sesudah Perlakuan
V	0,343	0,996
Mn	0,815	1,926
Fe	2,025	2,983
Ni	0	0
Cu	0,013	0,009
Zn	0	0,907

Hasil analisis komposisi mineral abu menunjukkan bahwa silika (SiO_2) merupakan komponen dominan dengan kandungan sebesar 48,59%. Tingginya kandungan silika menunjukkan bahwa mineral ini bersifat stabil terhadap suhu tinggi dan tidak mudah larut selama proses *leaching*, sehingga tetap tertinggal dalam biomassa setelah pembakaran (Fatriani et al., 2018). Meskipun perlakuan yang dianalisis menghasilkan kadar abu terendah, silika tetap mendominasi komposisi abu karena sebagian besar mineral yang mudah larut telah terlepas selama proses perendaman.

Selain silika, komponen mineral yang teridentifikasi meliputi kalium (K_2O), natrium (Na_2O), kalsium (CaO), magnesium oksida (MgO), fosfor oksida (P_2O_5), dan sulfur oksida (SO_3). Penurunan kadar abu pada penelitian ini menunjukkan bahwa proses *leaching* menggunakan POME yang diperkaya asam asetat lebih efektif melarutkan mineral yang mudah larut, seperti kalium, natrium, dan kalsium, dibandingkan mineral yang stabil seperti silika. Hasil ini menunjukkan bahwa proses *leaching* mampu mengubah komposisi mineral abu melalui pengurangan mineral anorganik yang mudah larut sehingga berkontribusi terhadap penurunan kadar abu TKKS (Dewi et al., 2023).

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tingkat keasaman larutan POME berpengaruh terhadap efektivitas proses *leaching* TKKS. Penurunan pH hingga pH 3 meningkatkan kemampuan pelarutan mineral penyusun abu sehingga menghasilkan kadar abu yang lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya.
2. Ukuran bahan TKKS berpengaruh terhadap penurunan kadar abu. Ukuran bahan 2–5 cm menghasilkan kadar abu terendah dibandingkan ukuran 0–2 cm dan 5–10 cm sehingga dinilai paling efektif untuk proses *leaching* menggunakan POME yang diperkaya asam asetat.
3. Terdapat interaksi nyata antara tingkat keasaman dan ukuran bahan terhadap kadar abu TKKS pada waktu perendaman 60 menit. Kombinasi perlakuan terbaik diperoleh pada ukuran bahan 2–5 cm dan pH 3 dengan kadar abu sebesar 4,10%, yang telah memenuhi standar mutu biomassa padat menurut SNI 8675:2018.
4. Perlakuan terbaik menghasilkan nilai kalori sebesar 17,64 MJ/kg sehingga menunjukkan bahwa proses *leaching* menggunakan POME yang diperkuat asam asetat mampu meningkatkan kualitas TKKS sebagai bahan bakar biomassa.

4.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi pengaruh variasi tingkat keasaman dan volume larutan POME pada rentang yang lebih luas guna mengoptimalkan proses *leaching* TKKS. Selain itu, TKKS hasil perlakuan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biopellet untuk mengkaji pengaruh proses *leaching* terhadap karakteristik biopellet.

Daftar Pustaka

- Dewi, R.P., Sumardi, S., & Isnanto, R. (2023). Analysis of fixed carbon and volatile matter briquettes of pine sawdust and coconut shell waste. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(3), 901–907. <https://doi.org/10.21776/jrm.v14i3.1421>
- Fatriani, F., Sunardi, S., & Arfianti, A. (2018). Kadar air, kerapatan, dan kadar abu wood pellet serbuk gergaji kayu galam (*Melaleuca cajuputi* Roxb) dan kayu akasia (*Acacia mangium* Wild). *EnviroScienteeae*, 14(1), 77–81. <https://doi.org/10.20527/es.v14i1.4897>
- Ristianingsih, Y., Ulfa, A., & Syafitri K.S.R. (2015). Pengaruh suhu dan konsentrasi perekat terhadap karakteristik briket bioarang berbahan baku tandan kosong kelapa sawit dengan proses pirolisis. *Konversi*, 4(2), 16. <https://doi.org/10.20527/k.v4i2.266>
- Mustaghfirin, M., Hermawan, D., Nawawi, D.S., Kusumah, S.S., Ferdiansyah, M., Kelana, I.P.R.B.S., Pardede, A.S., Aziz, S.R.A., & Damanik, C.O.P. (2026). Synergistic effects of calliandra and biomass additives on the fuel quality of biopellets for sustainable energy. *Journal of Sylva Indonesiana*, 9(01), 94–104. <https://doi.org/10.32734/jsi.v9i01.23044>
- Shintawati, S., Ermaya, D., Wulandari, Y.R., Sukaryana, Y., & Fernando, R. (2024). Pengaruh metode pengarangan dan ukuran partikel terhadap kualitas briket cangkang kelapa sawit. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, 8(1), 17–27. <https://doi.org/10.21776/ub.rbaet.2024.008.01.03>
- Sufra, R., Susanto, H., Rizkiana, J., Suharto, S., & Satria, A.W. (2026). Termogravimetri analisis ultimat dan proksimat biomassa serta penentuan nilai kalor. *Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan*, 14(1), 78–83. <https://doi.org/10.47662/alulum.v14i1.1170>
- Sukarta, I.N., & Ayuni, P.S. (2016). Analisis proksimat dan nilai kalor pada pellet biosolid yang dikombinasikan dengan biomassa limbah bambu. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 5(1). <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v5i1.8278>
- Wati, D.A.R., & Supriyono, T. (2025). Analisis kandungan volatile matter pada briket batok kelapa dengan metode gravimetri untuk optimasi kualitas pembakaran. *KOLECER Scientific Journal of Mechanical Engineering*, 1(1), 37–44. <https://doi.org/10.23969/ksjme1120252316937-44>