

## Pengelolaan Bioenergi Berbasis Kayu Lokal: Integrasi Kajian Teknis dan Sosial di Wilayah Perbatasan Indonesia–Timor Leste

Maria Y. R. Kehi<sup>1</sup>, Jemmy J. S. Dethan<sup>2\*</sup>, Jonathan E. Koehuan<sup>3</sup>, Arlindo U. S. Kette<sup>4</sup>,

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Mekanisasi Pertanian, Universitas Kristen Artha Wacana, Adisucipto -  
Kupang 85228

<sup>1</sup>Email: yunikehi186@gmail.com

<sup>2</sup>Email : jemmydethan19@gmail.com

<sup>3</sup>Email: jekoehuan@gmail.com

<sup>4</sup>Email : arlindo020304kette@gmail.com

Submit : 20-05-2025

Revisi : 15-06-2025

Diterima : 16-06-2025

### ABSTRACT

*The reliance of border communities on firewood as a primary energy source remains high due to limited access to modern energy. This study aims to examine the bioenergy potential of three locally available wood types commonly used by residents of Alas Selatan Village, Kobalima Timur District, Malaka Regency, East Nusa Tenggara: *Leucaena leucocephala* (Lamtoro), *Tectona grandis* (Teak), and *Tamarindus indica* (Tamarind). A descriptive quantitative and qualitative approach was employed. Laboratory tests were conducted to measure moisture content and ash content as indicators of combustion efficiency. Observations and interviews were carried out to explore community practices in the collection and storage of firewood. The results show that all three wood types exhibit low moisture content (<8%), with Tamarind having the lowest at 7.57%. In terms of ash content, Lamtoro proved to be the most efficient, producing only 1.3% ash, followed by Teak (2.355%) and Tamarind (4.725%). The community applies adaptive firewood storage methods, such as storing wood under stilt houses and above kitchen hearths (para-para), which facilitate effective drying. These findings indicate that the management of locally sourced wood-based bioenergy holds significant potential as a sustainable energy alternative in border regions, particularly when supported by technical education and appropriate conservation policies.*

**Keywords:** Ash Content, Bioenergy, Border Region, Firewood, Moisture Content, Sustainable Energy

### ABSTRAK

Ketergantungan masyarakat perbatasan terhadap kayu bakar sebagai sumber energi utama masih tinggi akibat keterbatasan akses energi modern. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi bioenergi dari tiga jenis kayu lokal yang umum digunakan masyarakat di Desa Alas Selatan, Kecamatan Kobalima Timur, Kabupaten Malaka, Nusa Tenggara Timur, yaitu Lamtoro (*Leucaena leucocephala*), Jati (*Tectona grandis*), dan Asam (*Tamarindus indica*). Pendekatan yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Uji laboratorium dilakukan untuk mengetahui kadar air dan kadar abu sebagai indikator efisiensi pembakaran. Observasi dan wawancara dilakukan untuk menggali praktik masyarakat dalam pengumpulan dan penyimpanan kayu bakar. Hasil menunjukkan bahwa ketiga jenis kayu memiliki kadar air yang rendah (<8%), dengan kayu Asam memiliki kadar air terendah sebesar 7,57%. Dari sisi kadar abu, Lamtoro menonjol sebagai yang paling efisien dengan kadar abu hanya 1,3%, diikuti Jati (2,355%) dan Asam (4,725%). Masyarakat menggunakan metode penyimpanan kayu yang adaptif terhadap kondisi lingkungan, seperti menyimpan kayu di bawah rumah panggung dan di atas para-para dapur untuk mempercepat proses pengeringan. Temuan ini menunjukkan bahwa pengelolaan bioenergi berbasis kayu lokal memiliki potensi besar untuk menjadi alternatif energi berkelanjutan di wilayah perbatasan, terutama jika didukung oleh edukasi teknis dan kebijakan konservasi yang tepat.

**Kata kunci:** Bioenergi, Daerah Perbatasan, Energi Berkelanjutan, Kadar Abu, Kadar Air, Kayu Bakar

## 1 Pendahuluan

Permasalahan ketahanan energi di wilayah perbatasan Indonesia masih menjadi tantangan struktural yang belum terselesaikan (Hikam, 2019). Di daerah pedesaan terpencil seperti Desa Alas Selatan, Kecamatan Kobalima Timur, Kabupaten Malaka, masyarakat tetap mengandalkan kayu bakar sebagai sumber energi utama, terutama untuk memasak (Sariguna Johnson Kennedy et al., 2015). Ketergantungan ini dipengaruhi oleh terbatasnya akses energi modern seperti listrik serta rendahnya kondisi sosial ekonomi masyarakat yang sebagian besar berprofesi sebagai petani dan buruh tani.

Penggunaan kayu bakar tanpa pengelolaan berkelanjutan berdampak pada tekanan ekologis seperti deforestasi dan degradasi lahan. Ketergantungan pada kayu sebagai energi utama di negara berkembang menjadi persoalan lingkungan serius. Di wilayah Himalaya, konsumsi kayu bisa mencapai 120 kg/rumah tangga per hari. Selain itu, pembakaran kayu menghasilkan emisi gas rumah kaca dan partikel yang memperburuk pencemaran udara serta mempercepat perubahan iklim (Sintayehu Eshetu, 2024). Kurangnya pemahaman kolektif tentang konservasi dan tidak tersedianya pendekatan pengelolaan bioenergi berbasis komunitas memperburuk situasi. Padahal, potensi biomassa kayu di wilayah ini cukup besar, tetapi belum dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan.

Studi sebelumnya umumnya fokus pada aspek teknis bioenergi, seperti nilai kalor, kadar air, dan kadar abu. Misalnya, briket daun Kesambi memiliki karbon tetap 79,53%, nilai kalor 15,91 MJ/kg, dan kadar air serta abu yang rendah (Dethan, Bale-Therik, Lalel, et al., 2024). Komposisi 1:3 antara ranting Kesambi dan arang kulit kemiri menghasilkan nilai kalor >19 MJ/kg, dengan model Nhuchhen sebagai prediktor terbaik ( $R^2 = 0,93$ ) (Dethan, 2024a). Perekat memengaruhi resistansi, lama nyala, densitas, dan kadar air briket (Kette et al., 2024). Partikel kecil meningkatkan densitas dan kuat tekan briket (Abineno et al., 2024; Bunga et al., 2024). Penelitian torefaksi juga menunjukkan bahwa pemanasan daun Kesambi pada 300°C selama 20 menit meningkatkan nilai kalor dan karbon tetap (Dethan, Bale-Therik, Telupere, et al., 2024). Produk torrefaksi dikarakterisasi menggunakan standar ASTM berdasarkan massa, kadar air, zat volatil, dan karbon tetap (Dethan, Haba Bunga, Ledo, et al., 2024). Proses ini mendukung pengembangan bahan bakar biomassa berkelanjutan (Dethan, 2024b).

Kajian yang mengintegrasikan aspek teknis dan sosial-budaya dalam pemanfaatan bioenergi masih jarang ditemukan, terutama di wilayah perbatasan yang minim infrastruktur energi. Praktik lokal masyarakat dalam pengumpulan, penyimpanan, dan penggunaan kayu bakar belum banyak diteliti secara komprehensif. Penelitian ini mengkaji karakteristik teknis kayu bakar lokal seperti lamtoro, jati, dan asam, mencakup kadar air, kadar abu, nilai kalor,

dan efisiensi pembakaran. Secara kualitatif, penelitian ini menggali praktik masyarakat melalui observasi partisipatif dan wawancara semi-terstruktur. Integrasi antara data laboratorium dan kondisi sosial-budaya lokal menjadi keunikan studi ini, yang berfokus pada efisiensi energi rumah tangga skala kecil di wilayah perbatasan. Temuan penelitian ini mendukung diversifikasi energi nasional dan mengurangi kesenjangan akses energi antarwilayah. Potensi memperkaya literatur akademik, dengan menawarkan model pengelolaan bioenergi yang kontekstual, berkelanjutan, dan dapat direplikasi di wilayah serupa.

## **2 Metode Penelitian**

### **Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober hingga November 2024 di Desa Alas Selatan, Kecamatan Kobalima Timur, Kabupaten Malaka, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Lokasi ini dipilih karena merupakan wilayah perbatasan yang sangat bergantung pada kayu bakar sebagai sumber energi utama rumah tangga.

### **Jenis dan Pendekatan Penelitian**

Jenis penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur karakteristik teknis dari tiga jenis kayu bakar lokal (lamtoro, jati, dan asam), termasuk kadar air dan kadar abu. Pendekatan kualitatif digunakan untuk menggambarkan kebiasaan masyarakat dalam penggunaan, penyimpanan, dan pengumpulan kayu bakar, melalui observasi lapangan dan wawancara semi-terstruktur.

### **Populasi dan Sampel**

Populasi dalam penelitian ini adalah semua jenis kayu yang digunakan sebagai bahan bakar oleh masyarakat Desa Alas Selatan. Sampel dipilih secara purposive (bertujuan), yaitu kayu Lamtoro (*Leucaena leucocephala*), Jati (*Tectona grandis*), dan Asam (*Tamarindus indica*) yang umum digunakan oleh masyarakat dan tersedia secara lokal.

### **Teknik Pengumpulan Data**

Data kuantitatif meliputi kadar air yang dilakukan dengan mengeringkan potongan kayu dalam oven hingga mencapai berat konstan, lalu dihitung kadar airnya secara persentase. Kadar abu dilakukan dengan membakar total sampel kayu dalam tungku laboratorium dan menimbang sisa abu untuk menentukan persentasenya.

Data kualitatif meliputi observasi langsung dilakukan untuk mengetahui praktik masyarakat dalam penggunaan dan penyimpanan kayu bakar. Dokumentasi visual dilakukan terhadap tiga bentuk sistem penyimpanan kayu yang umum dijumpai: di samping rumah, di bawah rumah panggung, dan di atas para-para dapur. Wawancara semi-terstruktur dengan warga untuk menggali informasi terkait (jenis kayu yang digunakan,

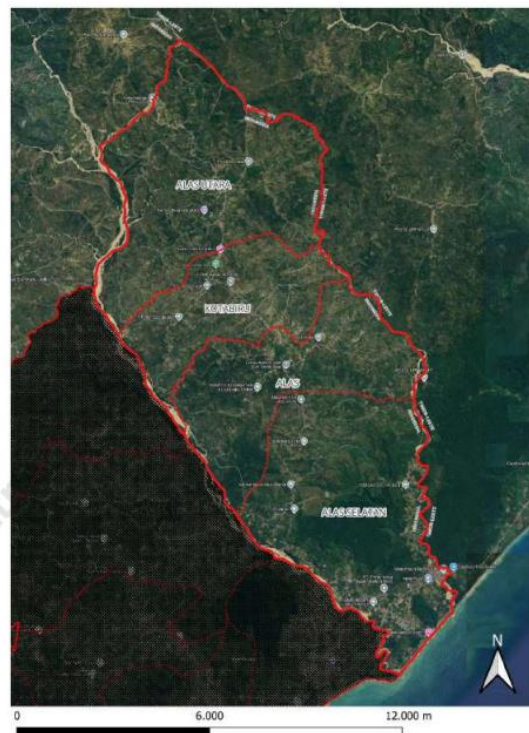
teknik pengumpulan dan penyimpanan, frekuensi penggunaan kayu dalam aktivitas memasak)

### **Teknik Analisis Data**

Data kuantitatif dianalisis secara deskriptif dengan menghitung nilai rata-rata dan deviasi standar. Uji perbedaan antar jenis kayu terhadap kadar air dan kadar abu dilakukan menggunakan analisis ANOVA satu arah. Data kualitatif dianalisis secara naratif untuk menggambarkan pola penggunaan energi dan sistem penyimpanan kayu di masyarakat.

## **3 Hasil dan Pembahasan**

Kabupaten Malaka memiliki wilayah seluas 1.160,63 Km<sup>2</sup> dengan keadaan morfologi sebagian besar wilayahnya berbukit-bukit dan bergunung-gunung dengan derajat kemiringan (>50%). Desa Alas Selatan merupakan bagian dari wilayah Kecamatan Kobalima Timur dengan luas wilayah 30,6 Km<sup>2</sup> (gambar 1) (BPS Kab Malaka, 2025). Desa Alas Selatan merupakan wilayah perbatasan dengan akses energi terbatas, dihuni oleh masyarakat agraris dengan ketergantungan tinggi terhadap kayu bakar sebagai energi utama.



**Gambar 1.** Peta Kecamatan Kobalima Timur, Kab Malaka (BPS Kak. Malaka, 2025)

### **Kebutuhan Energi Biomasa**

Sebagian besar penduduk Desa Alas Selatan bekerja sebagai petani dan buruh tani dengan pola konsumsi subsisten. Sumber energi utama yang digunakan dalam rumah tangga adalah kayu bakar, diikuti oleh gas dan listrik. Kayu bakar dimanfaatkan terutama

untuk memasak air, nasi, lauk, dan sayur, sementara listrik digunakan untuk keperluan elektronik. Proses memasak biasanya berlangsung selama satu hingga satu setengah jam per kali, dengan frekuensi dua kali sehari, yaitu pagi dan sore. Pola konsumsi masyarakat cenderung sederhana, terdiri atas ikan asin dan sayuran kebun. Untuk menyalakan api, masyarakat umumnya tidak menggunakan minyak tanah karena mahal, tetapi memanfaatkan bahan lokal seperti daun kering, sabut kelapa, dan pelepah bambu, dengan waktu penyalaan sekitar tiga menit akibat rendahnya kadar air kayu.

Pengumpulan kayu bakar meningkat pada musim kemarau karena kayu dalam kondisi kering lebih ringan dan mudah diangkut. Aktivitas ini dilakukan secara intensif menjelang acara besar seperti pernikahan, sedangkan pada hari biasa dilakukan sesuai kebutuhan tanpa jadwal tetap. Penebangan pohon jarang dilakukan karena lahan kebun didominasi pohon buah yang bernilai ekonomis; hanya pohon mati atau tidak produktif yang ditebang. Tugas pengumpulan kayu biasanya dilakukan oleh kepala keluarga, namun dapat melibatkan seluruh anggota keluarga sesuai kondisi.

#### **Lamtoro**

Lamtoro merupakan tanaman hijauan yang dikenal sangat adaptif, terutama di lingkungan kering. Daya tarik utamanya terletak pada profil nutrisinya yang kaya serta produktivitasnya yang tinggi, menjadikannya salah satu pilihan unggulan sebagai pakan ternak di wilayah tropis. Kandungan gizinya mencakup 25,90% protein kasar, 20,40% serat kasar, serta mineral penting seperti 2,3% kalsium dan 0,23% fosfor, yang semuanya sangat berperan dalam mendukung pertumbuhan dan kesehatan hewan ternak (Yanuario et al., 2021).

Namun demikian, meskipun dikenal tahan terhadap kondisi lingkungan yang kering, pertumbuhan Lamtoro ternyata cukup sensitif terhadap kondisi tanah yang asam. Pada tingkat keasaman tanah (pH) di bawah 5,5, kemampuan tanaman ini untuk tumbuh dengan optimal dan melakukan fiksasi nitrogen secara efektif dapat menurun drastis. Hal ini tentu menjadi tantangan tersendiri dalam pengembangannya di wilayah-wilayah dengan karakteristik tanah masam, seperti yang banyak ditemukan di daerah tropis basah (Rojas-Sandoval & Acevedo-Rodríguez, 2022).

Lamtoro merupakan tanaman multifungsi yang dikenal karena pertumbuhannya yang cepat serta kandungan gizinya yang tinggi. Daun mudanya kaya akan protein, menjadikannya alternatif hijauan yang sangat baik untuk pakan ruminansia dan unggas, khususnya di wilayah kering yang sering mengalami kekurangan pakan tradisional.

Secara gizi, daun lamtoro mengandung kadar protein kasar sekitar 25,90%, serat kasar 20,40%, serta kalsium dan fosfor masing-masing sebesar 2,3% dan 0,23%, menjadikannya sumber pakan berkualitas tinggi (Sarabia-Salgado et al., 2020). Kandungan

ini sangat bermanfaat untuk mendukung pertumbuhan dan kesehatan hewan ternak, khususnya pada masa-masa kekurangan hijauan. Selain itu, lamtoro juga mampu menggantikan sebagian bahan pakan konvensional tanpa menurunkan produktivitas, yang penting dalam strategi efisiensi biaya dan ketahanan pakan di sektor peternakan (Goenaga et al., 2023).

Kayu bakar merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki peran vital dalam kehidupan masyarakat pedesaan di Indonesia, khususnya dalam mendukung keberlangsungan kebutuhan sehari-hari. Kayu ini umumnya digunakan untuk keperluan memasak makanan dan merebus air. Berdasarkan pengamatan, proses perebusan air sebanyak 15 liter hingga mencapai titik didih dengan variasi ukuran kayu memerlukan waktu sekitar 54 menit 57 detik.

#### **Kayu Jati**

Kayu jati dikenal luas karena kekuatannya, keawetannya, serta ketahanannya terhadap cuaca dan serangan biologis, menjadikannya salah satu komoditas kayu unggulan. Berbagai populasi jati seperti jati emas dan jati nusantara superior menunjukkan variasi karakteristik morfologis, seperti panjang dan lebar daun serta warna batang, yang mencerminkan keanekaragaman genetik dari sumber benih yang berbeda (Jawahar et al., 2022). Meski demikian, sejumlah penelitian menunjukkan bahwa kesamaan genetik di antara sumber-sumber benih tersebut cukup tinggi, sehingga hanya beberapa sifat tertentu yang benar-benar mampu membedakan antar populasi. Dari segi kualitas, kayu jati diklasifikasikan ke dalam tiga grade, yaitu A, B, dan C, yang masing-masing mencerminkan perbedaan dalam warna, serat, dan kepadatan.

Secara kimiawi, kayu jati memiliki komponen khas yang berkontribusi pada ketahanannya. Kayu terasnya mengandung senyawa seperti levoglucosan, yang membantu melindungi dari kerusakan biologis, sedangkan bagian kayu gubal kaya akan asam asetat, memberikan nilai tambah dalam pemanfaatan industri (de Castro et al., 2022). Komposisi lignin, yang dinilai melalui rasio siringil terhadap guaiacyl, juga menunjukkan konsistensi antar bagian kayu teras, mencerminkan kestabilan kimia yang tinggi dan mendukung proses pengolahan yang efisien. Selain itu, karakteristik teknologi kayu jati seperti mudah dikeringkan, dikerjakan, dan diolah menjadikannya pilihan utama dalam industri furnitur, konstruksi, dan kapal.

#### **Kayu Asam**

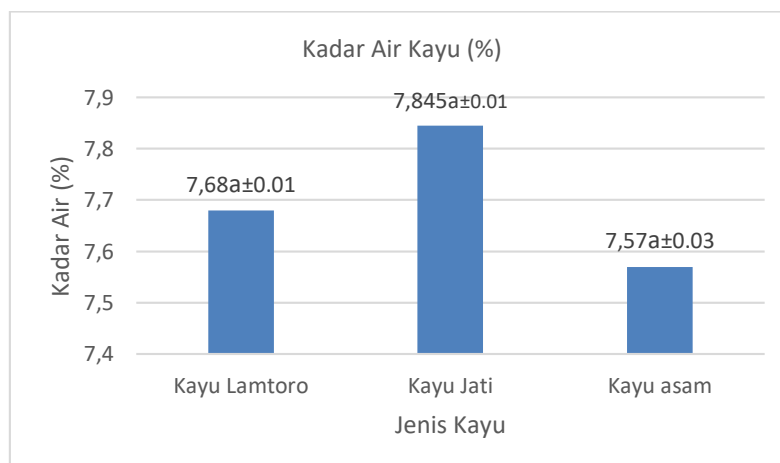
Kayu asam merupakan salah satu jenis kayu keras yang berasal dari pohon asam jawa yang banyak tumbuh di wilayah tropis termasuk Nusa Tenggara Timur. Selain buahnya yang umum dimanfaatkan sebagai bahan pangan dan bumbu masakan, kayunya

memiliki potensi besar sebagai sumber energi biomassa untuk keperluan rumah tangga maupun pengolahan pangan tradisional.

Kayu asam jawa dikenal memiliki struktur yang padat dan keras, menjadikannya pilihan unggul sebagai kayu bakar. Dengan nilai kalor berkisar antara 4.000 hingga 4.500 kkal/kg, kayu ini mampu menghasilkan energi yang cukup besar saat dibakar, sehingga efisien untuk keperluan memasak dan pemanasan (Doumecq et al., 2023). Sifat pembakarannya yang stabil terbakar perlahan dan menghasilkan panas yang merata menjadikan kayu asam jawa sangat diminati, terutama di wilayah pedesaan yang masih bergantung pada kayu bakar sebagai sumber energi utama dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu keunggulan kayu asam adalah kemampuannya menghasilkan asap dengan aroma khas yang tidak terlalu pekat, sehingga sering dimanfaatkan dalam proses pengasapan daging tradisional seperti se'i di Nusa Tenggara Timur. Pengasapan menggunakan kayu ini tidak hanya memberikan efek pengawetan alami, tetapi juga meningkatkan cita rasa khas pada produk pangan yang diasapi.

#### Kadar Air

Hasil pengujian kadar air pada kayu Lamtoro, Jati, dan Asam yang diperoleh dari hutan di Desa Alas Selatan menunjukkan angka yang sangat berdekatan, yaitu masing-masing sebesar 7,68%, 7,845%, dan 7,57%, tidak menunjukkan adanya perbedaan nyata secara statistik (Gambar 1).



**Gambar 2.** Grafik Nilai rata-rata Kadar Air Kayu Lantoro, Kayu Jati, dan Kayu Asam

Nilai kadar air yang diperoleh berada dalam rentang yang sangat sempit, sehingga secara matematis tidak menimbulkan deviasi yang cukup besar untuk dianggap signifikan, terutama bila jumlah sampel terbatas atau variasi antar-sampel rendah. Selain itu, masyarakat di Desa Alas Selatan diketahui menerapkan metode penyimpanan kayu yang hampir seragam dan cukup efektif, seperti meletakkan kayu di bawah rumah panggung, di atas para-para dapur, dan di samping rumah. Pola penyimpanan ini memungkinkan proses

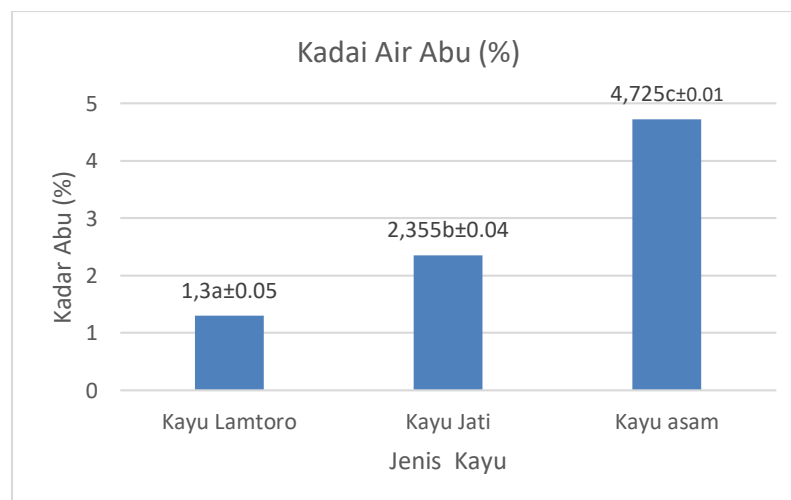
pengeringan yang merata dan efisien, menjadikan kadar air antar jenis kayu cenderung serupa.

Kadar air kayu dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kondisi lingkungan, metode pengeringan, dan karakteristik alami dari masing-masing jenis kayu. Dalam konteks lokasi geografis yang memiliki iklim, suhu, dan kelembapan yang relatif seragam, kadar kelembapan pada berbagai jenis kayu cenderung konsisten dan rendah yakni di bawah 8%, yang mengkategorikannya sebagai kayu kering (Horacek et al., 2022). Keseragaman iklim tersebut menciptakan kondisi pengeringan yang stabil, sehingga mengurangi variasi kadar air antar spesies kayu. Faktor lingkungan yang seragam seperti suhu udara dan kelembapan menjadi penentu utama dalam mempercepat dan menstabilkan proses pengeringan alami kayu (Rahimi et al., 2022).

Meskipun setiap jenis kayu memiliki karakteristik pengeringan dan pembakaran yang unik, kesamaan lingkungan tempat kayu tersebut dikeringkan membantu mereduksi perbedaan tersebut. Tiga jenis kayu yang diteliti menunjukkan sifat pembakaran yang efisien, menjadikannya kandidat yang layak sebagai bahan bakar biomassa (Gusamo & Towalis, 2022). Namun demikian, perbedaan komposisi kimia dan struktur anatomi antar spesies tetap memberikan pengaruh terhadap performa akhir kayu sebagai bahan bakar. Oleh karena itu, meskipun pengaruh lingkungan memberikan keseragaman kadar air, penilaian lebih lanjut terhadap kualitas pembakaran masing-masing jenis kayu tetap penting dilakukan untuk memastikan efisiensi energi yang optimal.

#### Kadar Abu

Hasil pengujian kadar abu dari kayu bioenergi Lamtoro, Jati, dan Asam yang dikumpulkan dari hutan di wilayah perbatasan Desa Alas Selatan, Kecamatan Kobalima Timur, Kabupaten Malaka menunjukkan perbedaan yang nyata, dengan nilai masing-masing sebesar 1,3%, 2,355%, dan 4,725% (Gambar 2).



**Gambar 3.** Grafik Nilai rata-rata Kadar Abu Kayu Lantoro, Kayu Jati, dan Kayu Asam

Perbedaan nyata (signifikan) antara kadar abu dari ketiga jenis kayu tersebut mengindikasikan bahwa jenis kayu memang memiliki karakteristik pembakaran yang berbeda secara statistik. Kayu Lamtoro menunjukkan efisiensi pembakaran yang lebih unggul dibandingkan dengan kayu Jati dan kayu Asam, terutama karena kadar abunya yang rendah, yaitu 1,3%. Efisiensi ini mencerminkan bahwa kayu Lamtoro menghasilkan residu yang minimal selama proses pembakaran, sehingga meningkatkan kelayakannya sebagai bahan bakar biomassa.

Perbedaan kadar abu antara ketiga jenis kayu ini mencerminkan variasi komposisi kimia dan karakteristik strukturalnya, yang berperan penting dalam menentukan kualitas pembakaran. Nilai kadar abu yang rendah pada kayu Lamtoro menunjukkan konversi energi yang lebih efisien dan pembakaran yang lebih bersih. Sebaliknya, kayu Asam memiliki kadar abu yang jauh lebih tinggi, yaitu 4,725%, yang menunjukkan bahwa lebih banyak material tersisa sebagai residu tidak terbakar sempurna, sehingga efisiensinya lebih rendah (Njenga et al., 2023).

Kandungan mineral anorganik yang lebih tinggi serta struktur jaringan yang padat pada kayu Asam kemungkinan besar menjadi penyebab tingginya kadar abu tersebut. Selain itu, faktor-faktor seperti umur pohon, kondisi tanah tempat tumbuh, serta bagian kayu yang digunakan apakah mencakup kulit dan ranting atau hanya teras kayu juga turut memengaruhi jumlah abu yang dihasilkan (Smolka-Danielowska & Jabłońska, 2022). Perbedaan karakteristik pembakaran ini menunjukkan pentingnya mempertimbangkan jenis kayu dalam aplikasi energi berbasis biomassa.

Temuan ini penting dalam pemilihan jenis kayu yang efisien untuk digunakan sebagai bahan bakar, karena kadar abu yang rendah akan meminimalkan residu dan memudahkan pembersihan alat pembakaran serta meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan.

#### **4 Kesimpulan**

Penelitian ini menunjukkan bahwa kayu bakar lokal seperti Lamtoro, Jati, dan Asam memiliki potensi sebagai sumber energi biomassa yang layak dan berkelanjutan bagi masyarakat perbatasan di Desa Alas Selatan. Kadar air ketiga jenis kayu relatif rendah, yaitu Lamtoro: 7,68%, Jati: 7,845%, Asam: 7,57%. Nilai ini mendukung efisiensi pembakaran karena kayu mudah menyala dan menghasilkan bara yang stabil. Kadar abu menunjukkan bahwa Lamtoro memiliki kadar abu terendah (1,3%), Jati sedang (2,355%), dan Asam tertinggi (4,725%). Ini menunjukkan bahwa Lamtoro paling efisien karena menghasilkan residu pembakaran paling sedikit. Secara kualitatif, masyarakat Desa Alas Selatan telah mengembangkan sistem pengumpulan dan penyimpanan kayu bakar yang

adaptif terhadap kondisi lingkungan, seperti penyimpanan di samping rumah, di bawah rumah panggung, dan di atas para-para dapur. Praktik ini turut berkontribusi terhadap efektivitas pengeringan dan efisiensi energi dalam kegiatan memasak sehari-hari. Dengan demikian, pengelolaan bioenergi berbasis kayu lokal, jika ditunjang dengan strategi konservasi dan edukasi teknis, dapat menjadi solusi energi alternatif yang kontekstual dan berkelanjutan bagi wilayah perbatasan.

## Daftar Pustaka

- Abineno, J. C., Dethan, J. J. S., Bunga, F. J. H., & Bunga, E. H. (2024). Characterization and performance analysis of Kesambi branch biomass briquettes: A study on particle size effects. *Journal of Ecological Engineering*, 26(1), 213–222. <https://doi.org/10.12911/22998993/195643>
- Bunga, F. J. H., Dethan, J. J. S., Bullu, N. I., Hetharia, G. E., & Bunga, E. Z. H. (2024). Comparative analysis of predictive models for *Tamarindus indica* waste briquettes higher heating value. *Journal of Ecological Engineering*, 26(1), 345–354. <https://doi.org/10.12911/22998993/195883>
- BPS Kab. Malaka (2025). Kecamatan Kobalima Timur Dalam Angka 2024. Badan Pusat Statistik Kabupaten Malaka. <https://malakakab.bps.go.id/id/publication/2024/09/26/cd62f7459ae54bd673070903/kecamatan-malaka-timur-dalam-angka-2024.html>
- de Castro, V. R., Surdi, P. G., Fernandes, S. A., da Silva Berger, M., Vinha Zanuncio, A. J., Zanuncio, J. C., & de Oliveira Araujo, S. (2022). Chemical composition of heartwood and sapwood of *Tectona grandis* characterized by CG/MS-PY. *Scientific Reports*, 12(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/S41598-022-22800-1>
- Dethan, J. J. S. (2024a). Evaluation of an empirical model for predicting the calorific value of biomass briquettes from candlenut shells and kesambi twigs. *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering (AFSSAAE)*, 7(3), 253–264. <https://doi.org/10.21776/UB.AFSSAAE.2024.007.03.6>
- Dethan, J. J. S. (2024b). Statistical models for predicting the higher heating value of torrefied kesambi leaves. *Journal of Water and Land Development*, (63), 86–90. <https://doi.org/10.24425/jwld.2024.151793>
- Dethan, J. J. S., Bale-Therik, J. F., Lalel, H. J. D., & Telupere, F. M. S. (2024). Optimization of Particle Size of Torrefied Kesambi Leaf and Binder Ratio on the Quality of Biobriquettes, 12(1), 1-21 <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d12.0490>
- Dethan, J. J. S., Bale-Therik, J. F., Telupere, F. S., Lalel, H. J. D., & Adisasmito, S. (2024). Characteristics of kesambi leaf torrefaction biomass. 050016. <https://doi.org/10.1063/5.0193717>
- Dethan, J. J. S., Haba Bunga, F. J., Ledo, M. E. S., & Abineno, J. C. (2024). Characteristics of Residence Time of the Torrefaction Process on the Results of Pruning Kesambi Trees. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 13(1), 102. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v13i1.102-113>
- Doumecq, M. B., Jiménez-Escobar, N. D., Morales, D., & Ladio, A. (2023). Much More Than Firewood: Woody Plants in Household Well-Being Among Rural Communities in Argentina. *Journal of Ethnobiology*, 43(2), 101–114. <https://doi.org/10.1177/02780771231176065>

- Goenaga, I., García-Rodríguez, A., Goiri, I., León-Ecay, S., De Las Heras, J., Aldai, N., & Insausti, K. (2023). Vegetable By-Products as Alternative and Sustainable Raw Materials for Ruminant Feeding: Nutritive Evaluation and Their Inclusion in a Novel Ration for Calf Fattening. *Animals* 2023, Vol. 13, Page 1391, 13(8), 1391. <https://doi.org/10.3390/ANI13081391>
- Gusamo, B. K., & Towalis, K. A. (2022). A Comparative Evaluation of Combustion Characteristics of *Araucaria cunninghamii*, *Intsia bijuga* and *Pometia pinnata* for Bio-Energy Source. *Forests* 2022, Vol. 13, Page 563, 13(4), 563. <https://doi.org/10.3390/F13040563>
- Hikam, M. A. S., (2019). Ketahanan Energi Indonesia 2015-2025: Tantangan Dan Harapan. Retrieved May 20, 2025, from [https://www.academia.edu/11916231/KETAHANAN\\_ENERGI\\_INDONESIA\\_2015\\_2025\\_TANTANGAN\\_DAN\\_HARAPAN](https://www.academia.edu/11916231/KETAHANAN_ENERGI_INDONESIA_2015_2025_TANTANGAN_DAN_HARAPAN)
- Horacek, M., Magdas, D. A., Ondreickova, K., Hölzl, S., & Wunderlin, D. A. (2022). Editorial: Identification and control of the geographic origin of plant materials: Investigation of ambient influences and environmental selection. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 985249. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2022.985249>
- Jawahar, J. V., K. T. P., S, U. K., S, R., Kumar, U., & Farooq, T. H. (2022). Characterizing the Morphological Descriptors of Thirty Seed Sources of Teak (*Tectona grandis* L.f.) Concerning Sustainable Forestry. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 12012, 14(19), 12012. <https://doi.org/10.3390/SU141912012>
- Kette, A. U. S., Dethan, J. J. S., Bunga, F. J. H., Banfatin, N., & Purwadi, R. (2024). Adding adhesive on making of waste bricket of eucalyptus oil refining. *THE 7TH BIOMEDICAL ENGINEERING'S RECENT PROGRESS IN BIOMATERIALS, DRUGS DEVELOPMENT, AND MEDICAL DEVICES: The 15th Asian Congress on Biotechnology in Conjunction with the 7th International Symposium on Biomedical Engineering (ACB-ISBE 2022)*, 3080. <https://doi.org/10.1063/5.0195318>
- Njenga, M., Sears, R. R., & Mendum, R. (2023). Sustainable woodfuel systems: a theory of change for sub-Saharan Africa. *Environmental Research Communications*, 5(5), 051003. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ACD0F3>
- Rahimi, S., Singh, K., Devallance, D., Chu, D., & Bahmani, M. (2022). Drying Behavior of Hardwood Components (Sapwood, Heartwood, and Bark) of Red Oak and Yellow-Poplar. *Forests*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/F13050722>
- Rojas-Sandoval, J., & Acevedo-Rodríguez, P. (2022). *Leucaena leucocephala* (leucaena). <https://doi.org/10.1079/FC.31634.20210114111>
- Sarabia-Salgado, L., Solorio-Sánchez, F., Ramírez-Avilés, L., Alves, B. J. R., Ku-Vera, J., Aguilar-Pérez, C., Urquiaga, S., & Boddey, R. M. (2020). Increase in Milk Yield from Cows through Improvement of Forage Production Using the N<sub>2</sub>-Fixing Legume *Leucaena leucocephala* in a Silvopastoral System. *Animals* 2020, Vol. 10, Page 734, 10(4), 734. <https://doi.org/10.3390/ANI10040734>
- Sariguna Johnson Kennedy, P., Josephine LTobing, S., LToruan, R., & Tampubolon, E., (2015). Analisa Kondisi Ketahanan Energi Di Perbatasan Provinsi Nusa Tenggara Timur Dengan Negara Timor Leste. *IKRAITH-EKONOMIKA*, 2(3), 104-110.
- Sintayehu Eshetu, A. (2024). Household level fuelwood use and carbon dioxide emissions in Delanta district, Northeastern Ethiopia. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1490691. <https://doi.org/10.3389/FENVS.2024.1490691>
- Smółka-Danielowska, D., & Jabłońska, M. (2022). Chemical and mineral composition of ashes from wood biomass combustion in domestic wood-fired furnaces.

International Journal of Environmental Science and Technology, 19(6), 5359–5372.  
<https://doi.org/10.1007/S13762-021-03506-9>

Yanuarianto, O., Amin, M., Dilaga, S. H., & Dahlanuddin, D. (2021). Budidaya Lamtoro Sebagai Bank Pakan Sumber Protein di Kecamatan Moyo Utara Kabupaten Sumbawa. Jurnal Gema Ngabdi, 3(1), 75–83.  
<https://doi.org/10.29303/JGN.V3I1.135>