

**UJI KINERJA TUNGKU MODIFIKASI DENGAN VARIASI LUBANG
ANGIN DALAM MEMPERCEPAT PEMBAKARAN BIOPELET DAUN
SIRSAK (*Annona muricata*) DAN BIOPELET
DAUN JATI (*Tectona grandis*)**

*Performance Test of Modified Furnace with Variation of Wind Holes in
Acceleration of Soursop (*Annona muricata*) Leaf Biopellets and Teak Leaf
Biopellets (*Tectona grandis*)*

Rangga Putra Wijaya¹, M. Faisal Mahdie¹, Adi Rahmadi¹

¹Program Studi Kehutanan

Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat

ABSTRACT. The depletion of fossil fuel reserves and the increasing need for environmentally friendly alternative energy sources have driven the development of biomass-based fuels such as bio-pellets. This study aims to analyze the performance of a modified furnace with variations in air hole configurations to accelerate the combustion of bio-pellets made from soursop leaves (*Annona muricata*) and teak leaves (*Tectona grandis*). The research method involves testing three different air hole variations (one, two, and three holes) to determine the most efficient configuration in boiling 200 ml of water. The combustion efficiency was evaluated based on the time required to reach 100°C and the amount of fuel consumed. The results show that two air holes provide the highest efficiency, with the shortest boiling time of 333 seconds for teak leaf bio-pellets and 309 seconds for soursop leaf bio-pellets. One air hole results in a slower combustion process due to limited oxygen supply, whereas three air holes cause excessive airflow, leading to inefficient heat retention. Teak leaf bio-pellets exhibit more stable combustion characteristics due to their higher lignin content, whereas soursop leaf bio-pellets burn faster but with less stability. This study concludes that optimizing furnace design through proper air hole configuration significantly enhances bio-pellet combustion efficiency, supporting the development of renewable energy technologies.

Keywords: Biomass fuel; Bio-pellets; Modified furnace; Combustion efficiency; Renewable energy.

ABSTRAK. Menipisnya cadangan bahan bakar fosil serta meningkatnya kebutuhan energi alternatif yang ramah lingkungan mendorong pengembangan bahan bakar berbasis biomassa seperti biopellet. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja tungku modifikasi dengan variasi lubang angin dalam mempercepat pembakaran biopellet berbahan dasar daun Sirsak (*Annona muricata*) dan daun Jati (*Tectona grandis*). Metode penelitian melibatkan pengujian tiga variasi lubang angin (satu, dua, dan tiga lubang) untuk menentukan konfigurasi paling efisien dalam mendidihkan 200 ml air. Efisiensi pembakaran dievaluasi berdasarkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 100°C serta jumlah biopellet yang dikonsumsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi dua lubang angin memberikan efisiensi tertinggi, dengan waktu mendidihkan air tercepat yaitu 333 detik untuk biopellet daun Jati dan 309 detik untuk biopellet daun Sirsak. Satu lubang angin menghasilkan pembakaran yang lebih lambat akibat suplai oksigen yang terbatas, sedangkan tiga lubang angin menyebabkan aliran udara berlebih yang mengurangi retensi panas secara efisien. Biopellet daun Jati menunjukkan karakteristik pembakaran yang lebih stabil karena kandungan ligninnya yang lebih tinggi, sementara biopellet daun Sirsak lebih cepat terbakar tetapi kurang stabil. Penelitian ini menyimpulkan bahwa optimasi desain tungku melalui konfigurasi lubang angin yang tepat dapat meningkatkan efisiensi pembakaran biopellet, sehingga mendukung pengembangan teknologi energi terbarukan.

Kata kunci: Bahan bakar biomassa; Biopellet; Tungku modifikasi; Efisiensi pembakaran; Energi terbarukan

Penulis untuk korespondensi, surel: faisalmahdie@ulm.ac.id

PENDAHULUAN

Energi merupakan elemen penting yang dibutuhkan dalam berbagai aspek kehidupan,

terutama untuk aktivitas memasak. Ketergantungan masyarakat terhadap sumber energi berbasis fosil, seperti gas dan minyak bumi, masih sangat dominan. Namun, penurunan cadangan bahan bakar fosil yang

semakin signifikan, disertai dampak lingkungan berupa peningkatan emisi gas rumah kaca, telah mendorong perlunya pengembangan sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Syarifuddin et al., 2020).

Biopellet menjadi salah satu bahan bakar alternatif yang menjanjikan, karena berasal dari biomassa seperti serbuk kayu, jerami, serta limbah organik lainnya. Bahan bakar ini memiliki beberapa keunggulan, termasuk kandungan energi yang tinggi, emisi karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil, dan kemampuannya dalam memanfaatkan limbah organik secara efektif (Yuliana et al., 2018). Keberhasilan pemanfaatan biopellet sebagai bahan bakar bergantung pada desain tungku yang mampu mendukung proses pembakaran dengan efisien. Oleh karena itu, pengembangan rancangan tungku yang sesuai menjadi faktor utama untuk meningkatkan efisiensi pembakaran biopellet (Rahmawati & Suropto, 2021).

Dalam penelitian ini, biopellet yang digunakan berasal dari daun Sirsak (*Annona muricata*) dan daun Jati (*Tectona grandis*), dua jenis biomassa yang memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan. Tungku yang digunakan dimodifikasi dengan tiga variasi jumlah lubang angin, yang bertujuan untuk memaksimalkan efisiensi pembakaran. Modifikasi ini dilakukan untuk mengukur efisiensi pembakaran dan waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan air dengan masing-masing desain tungku, sehingga dapat diperoleh konfigurasi yang paling optimal.

Pengembangan teknologi biopellet yang disertai desain tungku yang efisien tidak hanya mampu memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap pelestarian lingkungan melalui pengurangan emisi karbon. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan lebih efisien.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan, mulai dari Juni hingga September 2024, yang mencakup proses pengumpulan bahan baku, pembuatan biopellet, perancangan tungku modifikasi, pengujian kinerja tungku,

analisis data, dan penyusunan laporan hasil penelitian. Seluruh kegiatan dilakukan di area terbuka dengan akses udara alami untuk memastikan kondisi pembakaran biopellet optimal.

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tungku modifikasi berbahan plat besi dengan dimensi tinggi 20,5 cm, diameter 10,3 cm, dan tiga lubang angin yang dapat diatur menggunakan mekanisme buka-tutup. Tungku ini dirancang untuk mengontrol aliran udara selama proses pembakaran. Selain itu, penelitian menggunakan blender untuk menghaluskan daun kering, ayakan 40 dan 60 mesh untuk menyaring serbuk daun, cetakan biopellet untuk membentuk adonan, timbangan digital untuk mengukur massa biopellet, termometer untuk mencatat suhu air selama pembakaran, dan stopwatch untuk mengukur waktu hingga air mendidih. Alat tambahan lainnya adalah ceret berkapasitas 200 ml untuk mendidihkan air, serta torch gas dan gas portable untuk menyalakan biopellet. Bahan yang digunakan adalah daun Sirsak (*Annona muricata*) dan daun Jati (*Tectona grandis*) sebagai bahan utama biopellet, tepung sagu sebagai perekat, dan air bersih untuk mencampur bahan.

Prosedur Penelitian

Pembuatan biopellet dimulai dengan menghaluskan daun Sirsak dan daun Jati yang telah dikeringkan menggunakan blender. Serbuk daun yang dihasilkan kemudian disaring dengan ayakan 40 dan 60 mesh untuk mendapatkan partikel berukuran seragam. Setelah itu, tepung sagu ditambahkan secara bertahap ke dalam serbuk daun, diikuti dengan penambahan air sedikit demi sedikit hingga adonan menyerupai adonan kue. Adonan tersebut dicetak menjadi biopellet menggunakan alat pencetak, kemudian dikeringkan di atas kain atau kertas koran selama beberapa hari hingga benar-benar kering.

Pengujian kinerja biopellet dilakukan dengan memasukkan biopellet ke dalam tungku modifikasi dan mendidihkan 200 ml air. Variasi jumlah lubang angin yang digunakan adalah satu, dua, dan tiga lubang terbuka. Proses pembakaran dimulai dengan menyalakan biopellet menggunakan torch gas, dan waktu mendidihkan air dicatat

menggunakan stopwatch. Suhu awal dan akhir air diukur dengan termometer, sementara biopellet yang tersisa ditimbang untuk analisis konsumsi bahan bakar.

Setiap variasi jumlah lubang angin dan jenis biopellet diuji sebanyak tiga kali untuk memastikan konsistensi hasil. Analisis data dilakukan dengan menghitung rata-rata waktu pembakaran, konsumsi bahan bakar, dan efisiensi masing-masing konfigurasi tungku. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan desain tungku dan jenis biopellet yang paling efisien dalam mendukung pembakaran dan pemanfaatan energi secara optimal (Loo & Koppejan, 2008).

Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi pembakaran biopellet daun Sirsak (*Annona muricata*) dan daun Jati (*Tectona grandis*) pada tungku modifikasi dengan variasi jumlah lubang angin. Data yang dianalisis meliputi waktu mendidihkan air, konsumsi biopellet, dan efisiensi pembakaran.

Waktu mendidihkan air diukur sejak biopellet dinyalakan hingga air mencapai suhu 100°C. Setiap konfigurasi jumlah lubang angin (satu, dua, dan tiga lubang terbuka) diuji sebanyak tiga kali untuk kedua jenis biopellet, sehingga diperoleh rata-rata waktu pembakaran untuk masing-masing perlakuan. Analisis ini bertujuan untuk menentukan konfigurasi jumlah lubang angin yang paling optimal dalam mempercepat proses pemanasan air.

Konsumsi biopellet dianalisis dengan menimbang sisa biopellet setelah proses pembakaran selesai. Data ini digunakan untuk menghitung jumlah biopellet yang terbakar selama pengujian. Perbedaan massa biopellet sebelum dan setelah pembakaran mencerminkan efisiensi penggunaan bahan bakar dalam menghasilkan energi.

Efisiensi pembakaran dihitung berdasarkan rasio energi panas yang dihasilkan dengan energi potensial yang terkandung dalam biopellet. Efisiensi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jumlah lubang angin, karakteristik fisik biopellet (ukuran, densitas, dan kandungan energi), serta stabilitas pembakaran. Dalam analisis ini, konfigurasi dengan waktu pembakaran tercepat dan konsumsi bahan bakar yang rendah dianggap paling efisien.

Data hasil pengukuran dianalisis menggunakan statistik deskriptif untuk menggambarkan tren dan pola efisiensi pembakaran berdasarkan variasi jumlah lubang angin. Selain itu, hasil pengukuran dibandingkan antarjenis biopellet untuk mengevaluasi pengaruh karakteristik bahan terhadap efisiensi pembakaran. Variasi jumlah lubang angin dianalisis lebih lanjut untuk menentukan apakah aliran udara yang masuk memengaruhi laju pembakaran dan pemanfaatan energi biopellet.

Hasil analisis ini memberikan informasi penting mengenai konfigurasi tungku yang paling optimal untuk masing-masing jenis biopellet. Penelitian ini juga memberikan rekomendasi praktis terkait desain tungku dan jenis bahan bakar yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan mendukung penggunaan energi terbarukan secara berkelanjutan (Loo & Koppejan, 2008; Bryden et al., 2003).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tungku Modifikasi

Tungku modifikasi yang digunakan dalam penelitian ini dirancang dengan mempertimbangkan efisiensi pembakaran biopellet serta kestabilan aliran udara. Tungku ini dibuat dari bahan plat besi dengan tinggi 20,5 cm dan diameter 10,3 cm. Rancangan ini bertujuan untuk menciptakan ruang bakar yang cukup luas sehingga panas dapat tersebar secara merata selama proses pembakaran berlangsung. Bobot tungku yang mencapai 946 gram memberikan kestabilan yang baik, terutama saat digunakan dalam kondisi pembakaran jangka panjang.

Desain tungku mencakup tiga lubang angin yang dapat diatur sesuai kebutuhan, dengan masing-masing lubang memiliki diameter 2 cm dan jarak antar lubang 2,5 cm. Lubang angin ini berfungsi sebagai jalur utama masuknya oksigen yang diperlukan dalam proses pembakaran. Mekanisme buka-tutup yang diterapkan pada dua lubang angin samping memungkinkan pengguna untuk mengontrol aliran udara guna menyesuaikan intensitas api yang dihasilkan. Menurut Bryden et al. (2003), sistem ventilasi pada tungku berperan penting dalam meningkatkan efisiensi pembakaran karena dapat mempengaruhi rasio udara-bahan bakar dan laju reaksi termokimia di dalam ruang bakar.

Jarak antara bibir tungku dengan penahan biopellet ditetapkan sebesar 6 cm, yang bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara suhu pembakaran dan suplai udara. Jika jarak ini terlalu kecil, panas yang dihasilkan akan lebih cepat terperangkap dan menyebabkan pembakaran yang tidak efisien. Sebaliknya, jika jarak terlalu besar, distribusi panas menjadi kurang optimal, yang dapat memperpanjang waktu pembakaran (Loo & Koppejan, 2008). Dalam penelitian ini, desain tungku telah disesuaikan agar mampu menyeimbangkan kedua faktor tersebut, sehingga panas yang dihasilkan dapat terserap secara optimal oleh biopellet.

Modifikasi pada jumlah lubang angin dilakukan untuk mengamati pengaruh variasi jumlah bukaan terhadap efisiensi pembakaran. Penggunaan satu lubang angin cenderung menghasilkan suplai oksigen yang terbatas, sehingga proses pembakaran menjadi lebih lambat dan tidak sempurna. Sebaliknya, ketika tiga lubang angin dibuka, terjadi peningkatan suplai udara yang terlalu besar, yang justru menyebabkan pembakaran menjadi lebih cepat namun kurang efisien karena panas yang dihasilkan lebih banyak terbuang melalui konveksi udara (Makoto et al., 2011). Dari hasil pengujian, konfigurasi dua lubang angin terbuka terbukti menghasilkan pembakaran yang paling efisien, dengan waktu mendidihkan air yang lebih cepat dibandingkan konfigurasi lainnya.

Efisiensi tungku tidak hanya bergantung pada jumlah lubang angin, tetapi juga pada distribusi panas yang dihasilkan. Menurut Venkataraman et al. (2010), desain ventilasi yang optimal dapat meningkatkan efisiensi termal hingga 30% dengan memastikan bahwa udara yang masuk ke ruang bakar tersebar secara merata. Dalam penelitian ini, variasi jumlah lubang angin menunjukkan bahwa pembakaran yang paling stabil terjadi pada dua lubang angin terbuka, karena keseimbangan antara suplai oksigen dan retensi panas dapat terjaga dengan baik.

Dengan mempertimbangkan seluruh aspek desain, dapat disimpulkan bahwa tungku modifikasi dalam penelitian ini telah dirancang untuk meningkatkan efisiensi pembakaran biopellet secara optimal. Modifikasi jumlah lubang angin menjadi faktor utama yang mempengaruhi performa tungku, di mana konfigurasi dua lubang angin memberikan hasil terbaik dalam hal waktu pembakaran dan konsumsi bahan bakar. Desain ini

menunjukkan bahwa perancangan tungku yang tepat memiliki peran krusial dalam mendukung pemanfaatan energi biomassa yang lebih efisien dan berkelanjutan (Santoso & Subagyo, 2021).



Gambar 1. Tungku Modifikasi 3 Lubang

Karakteristik Biopellet Daun Sirsak (*Annona muricata*)

Biopellet yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dari bahan dasar daun Sirsak (*Annona muricata*), yang telah melalui proses pengeringan, penghalusan, dan pemadatan dengan menggunakan perekat tepung sagu. Biopellet ini memiliki dimensi rata-rata tinggi 5,2 cm, diameter 2 cm, dan berat 7,5 gram. Bentuk silindris dan ukuran yang relatif kecil memungkinkan distribusi massa yang lebih merata, sehingga mempermudah aliran udara di sekitar biopellet selama proses pembakaran. Menurut Obernberger dan Thek (2010), desain dan ukuran biopellet memainkan peran penting dalam menentukan efisiensi pembakaran, di mana pellet dengan kepadatan seragam dan ukuran kecil lebih mudah terbakar serta menghasilkan panas yang lebih stabil.

Biopellet daun Sirsak memiliki kandungan senyawa volatil yang tinggi, yang berkontribusi terhadap laju pembakaran yang lebih cepat dibandingkan dengan biopellet dari bahan biomassa lain, seperti daun Jati (*Tectona grandis*). Senyawa volatil ini mencakup flavonoid, tanin, dan acetogenin, yang diketahui memiliki sifat mudah terbakar dan dapat meningkatkan reaktivitas bahan bakar

terhadap oksigen (Moghadamtousi et al., 2015). Karakteristik ini menyebabkan biopelet daun Sirsak lebih cepat menyala dan menghasilkan nyala api yang lebih besar dalam waktu singkat. Namun, tingginya kandungan volatil juga dapat mengakibatkan pembakaran yang kurang stabil, terutama ketika suplai udara berlebihan.

Densitas biopelet daun Sirsak yang relatif lebih rendah dibandingkan biopelet daun Jati juga mempengaruhi efisiensinya dalam menghasilkan energi panas. Menurut penelitian Santoso dan Subagyo (2021), biopelet dengan kepadatan rendah cenderung memiliki durasi pembakaran yang lebih singkat, karena bahan bakar lebih cepat terurai dalam proses pembakaran. Dalam penelitian ini, biopelet daun Sirsak menunjukkan karakteristik pembakaran yang lebih responsif terhadap perubahan jumlah lubang angin pada tungku. Ketika hanya satu lubang angin terbuka, pembakaran berlangsung lebih lama karena terbatasnya suplai oksigen. Sebaliknya, pada konfigurasi tiga lubang angin terbuka, pembakaran menjadi lebih cepat tetapi kurang efisien, karena panas lebih banyak terbuang melalui aliran udara yang berlebihan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi terbaik untuk pembakaran biopelet daun Sirsak adalah dengan dua lubang angin terbuka, yang menghasilkan waktu pembakaran rata-rata 309 detik untuk mendidihkan 200 ml air. Konfigurasi ini memberikan keseimbangan optimal antara suplai oksigen dan retensi panas, sehingga memungkinkan pembakaran berlangsung secara lebih efisien (Loo & Koppejan, 2008). Sebaliknya, penggunaan satu lubang angin memperpanjang durasi pembakaran hingga 409 detik, sementara tiga lubang angin menyebabkan waktu pembakaran meningkat menjadi 376 detik karena turbulensi udara yang tidak terkendali.

Keunggulan biopelet daun Sirsak terletak pada kemampuannya untuk menyala dengan cepat dan menghasilkan panas dalam waktu singkat, sehingga cocok digunakan untuk keperluan pemanasan cepat, seperti memasak atau mendidihkan air dalam skala kecil. Namun, untuk penggunaan jangka panjang, efisiensinya masih lebih rendah dibandingkan biopelet daun Jati, yang memiliki stabilitas pembakaran yang lebih baik. Oleh karena itu, pemanfaatan biopelet daun Sirsak sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan energi yang

memerlukan pembakaran cepat dan efisien dalam durasi singkat (Prasetyo & Wibowo, 2023).

Berdasarkan hasil analisis, karakteristik biopelet daun Sirsak menunjukkan bahwa faktor utama yang mempengaruhi performanya adalah kandungan senyawa volatil dan densitasnya yang lebih rendah dibandingkan biopelet dari bahan lain. Dengan desain tungku yang tepat dan pengaturan jumlah lubang angin yang optimal, biopelet ini dapat digunakan secara lebih efisien sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.



Gambar 2. Biopelet daun Sirsak (*Annona muricata*)

Karakteristik Biopelet Daun Jati (*Tectona grandis*)

Biopelet yang dibuat dari daun Jati (*Tectona grandis*) memiliki karakteristik fisik yang berbeda dibandingkan dengan biopelet dari daun Sirsak (*Annona muricata*). Dalam penelitian ini, biopelet daun Jati memiliki rata-rata tinggi 5,7 cm, diameter 1,8 cm, dan berat sekitar 8 gram. Ukurannya yang sedikit lebih kecil dalam hal diameter, tetapi lebih besar dalam hal tinggi dan berat, menunjukkan bahwa biopelet ini memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan biopelet daun Sirsak. Kepadatan yang lebih tinggi ini berkontribusi terhadap proses pembakaran yang lebih stabil dan durasi pembakaran yang lebih panjang. Menurut Obernberger dan Thek (2010), biopelet dengan densitas lebih tinggi cenderung memiliki efisiensi energi yang lebih

baik, karena energi panas yang dihasilkan lebih konsisten dan bahan bakar tidak cepat habis terbakar.

Biopellet daun Jati memiliki kandungan lignin yang lebih tinggi dibandingkan dengan biopellet daun Sirsak, yang berperan dalam meningkatkan daya tahan terhadap proses pembakaran. Lignin adalah salah satu komponen utama dalam biomassa yang bertanggung jawab atas struktur kaku tanaman dan memiliki nilai kalor yang cukup tinggi ketika terbakar (Loo & Koppejan, 2008). Kandungan lignin yang tinggi pada daun Jati menyebabkan biopellet ini memiliki karakteristik pembakaran yang lebih lambat dan lebih terkontrol. Hal ini sejalan dengan temuan Choudhury dan Sahu (2018), yang menyatakan bahwa bahan biomassa dengan kandungan lignin tinggi lebih efisien dalam proses pembakaran karena dapat mempertahankan suhu tinggi dalam durasi yang lebih lama.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa biopellet daun Jati memiliki waktu pembakaran yang lebih stabil dibandingkan dengan biopellet daun Sirsak, terlepas dari jumlah lubang angin yang digunakan pada tungku. Pada konfigurasi satu lubang angin, rata-rata waktu pembakaran adalah 351 detik, sementara pada konfigurasi dua lubang angin, waktu pembakaran mencapai 333 detik. Dengan tiga lubang angin terbuka, waktu pembakaran sedikit meningkat menjadi 374 detik. Data ini menunjukkan bahwa pembakaran biopellet daun Jati tetap konsisten, meskipun terjadi variasi suplai udara dalam ruang bakar. Menurut Makoto et al. (2011), kestabilan pembakaran ini disebabkan oleh kombinasi antara kepadatan biopellet dan kandungan senyawa volatil yang lebih rendah, sehingga tidak terlalu terpengaruh oleh peningkatan suplai oksigen yang berlebihan.

Keunggulan lain dari biopellet daun Jati adalah rendahnya tingkat residu pembakaran atau abu yang dihasilkan. Penelitian ini menunjukkan bahwa setelah proses pembakaran selesai, sisa abu yang dihasilkan dari biopellet daun Jati lebih sedikit dibandingkan dengan biopellet daun Sirsak. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pembakaran berlangsung secara lebih sempurna, dengan efisiensi panas yang lebih tinggi. Menurut Prasetyo dan Wibowo (2023), biopellet dengan kandungan abu yang lebih rendah cenderung lebih efisien dalam konversi energi karena lebih sedikit bahan yang tersisa setelah pembakaran.

Dari segi aplikasi, biopellet daun Jati lebih cocok digunakan untuk kebutuhan energi yang membutuhkan stabilitas panas dalam durasi yang lebih panjang, seperti pemanasan air atau memasak dalam skala besar. Efisiensinya yang tinggi serta waktu pembakaran yang lebih stabil menjadikannya pilihan yang lebih baik dibandingkan biopellet dari daun Sirsak, yang lebih cocok untuk kebutuhan energi cepat dengan durasi pembakaran yang lebih singkat.

Berdasarkan hasil penelitian ini, biopellet daun Jati memiliki karakteristik yang unggul dalam hal kestabilan pembakaran, kepadatan yang lebih tinggi, serta efisiensi konversi energi yang lebih baik. Dengan penggunaan desain tungku yang tepat, terutama pada konfigurasi dua lubang angin, biopellet ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif yang efisien dan ramah lingkungan. Hasil penelitian ini mendukung pengembangan teknologi energi biomassa yang lebih berkelanjutan dan dapat menjadi dasar untuk inovasi lebih lanjut dalam pemanfaatan biopellet sebagai sumber energi terbarukan (Santoso & Subagyo, 2021).



Gambar 3. Biopellet Daun Jati (*Tectona grandis*)

Pengujian Waktu Mendidihkan Air

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja pembakaran biopellet yang terbuat dari daun Jati (*Tectona grandis*) dan daun Sirsak (*Annona muricata*) dengan berbagai variasi jumlah lubang terbuka dan ulangan pada tungku modifikasi. Tabel berikut menunjukkan

suhu awal, waktu pembakaran, serta suhu akhir yang tercatat selama pengujian, yang dapat memberikan gambaran tentang efisiensi

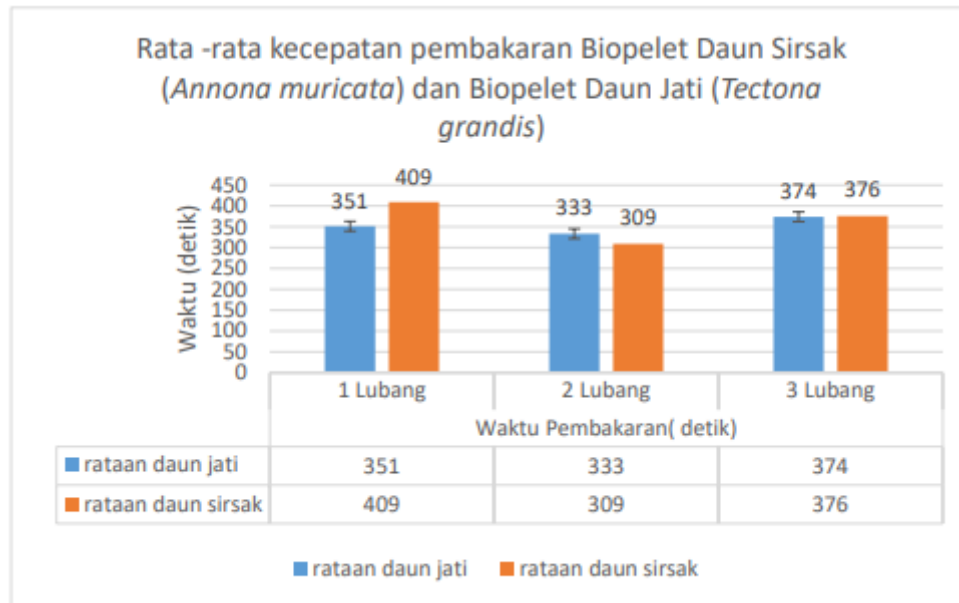
pembakaran masing-masing jenis biopelet pada kondisi yang berbeda.

Tabel 1. Hasil Pengujian Pembakaran Biopelet dengan Tungku Modifikasi

Biopelet	Suhu Awal (°C)	Jumlah Lubang Terbuka	Ulangan	Waktu Pembakaran		Suhu Akhir (°C)
				menit	detik	
Daun Jati	30	1	1	5	48	100
			2	5	53	100
			3	5	53	100
		2	1	5	39	100
			2	5	7	100
			3	5	54	100
		3	1	6	27	100
			2	6	2	100
			3	6	13	100
Daun Sirsak	30	1	1	6	55	100
			2	7	6	100
			3	6	27	100
		2	1	5	18	100
			2	5	23	100
			3	4	47	100
		3	1	5	15	100
			2	6	35	100
			3	6	58	100

Tabel 2. Rekapitulasi data rata rata hasil pengukuran waktu pembakaran Biopelet Daun Jati (*Tectona grandis*) dan daun Sirsak (*Annona muricata*) hingga mencapai suhu 100°C

Biopelet	Suhu Awal (°C)	Ulangan	Waktu Pembakaran(detik)			Suhu Akhir (°C)
			1 Lubang	2 Lubang	3 Lubang	
Daun Jati	30	1	348	339	387	100
		2	353	307	362	
		3	353	354	373	
Jumlah		1054	1000	1122		
rataan		3	351	333	374	
Daun Sirsak		1	415	318	315	
		2	426	323	395	
		3	387	287	418	
Jumlah		3	1228	928	1128	
rataan		3	409	309	376	



Gambar 4. Grafik Waktu Pembakaran Rata-rata

Hasil pengujian pembakaran biopellet menunjukkan bahwa variasi jumlah lubang angin pada tungku modifikasi berpengaruh terhadap efisiensi pembakaran, yang diukur melalui waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan air dari suhu awal 30°C hingga mencapai 100°C. Biopellet daun Jati (*Tectona grandis*) memiliki karakteristik pembakaran yang lebih stabil dibandingkan dengan biopellet daun Sirsak (*Annona muricata*), yang ditandai dengan perbedaan waktu pembakaran berdasarkan konfigurasi lubang angin. Pada pengujian dengan satu lubang angin terbuka, biopellet daun Jati membutuhkan waktu rata-rata 348 detik untuk mendidihkan air, sedangkan dengan dua lubang angin waktu tersebut berkurang menjadi 333 detik, namun pada tiga lubang angin waktu pembakaran kembali meningkat menjadi 374 detik. Pola serupa terjadi pada biopellet daun Sirsak, di mana satu lubang angin menghasilkan waktu pembakaran rata-rata 409 detik, dua lubang angin menghasilkan waktu tercepat sebesar 309 detik, dan tiga lubang angin mengalami peningkatan waktu pembakaran menjadi 376 detik.

Perbedaan ini dapat dijelaskan berdasarkan teori efisiensi pembakaran yang dikemukakan oleh Bryden et al. (2003), yang menyatakan bahwa peningkatan suplai udara dapat mempercepat laju pembakaran hingga titik optimal sebelum akhirnya mengalami penurunan efisiensi akibat peningkatan turbulensi udara yang menyebabkan hilangnya panas secara berlebihan. Senada dengan

penelitian Loo & Koppejan (2008), hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dua lubang angin merupakan konfigurasi terbaik untuk memaksimalkan efisiensi pembakaran biopellet, di mana suplai oksigen yang cukup memungkinkan proses oksidasi berjalan optimal tanpa menyebabkan pemborosan energi panas.

Keunggulan biopellet daun Jati dibandingkan daun Sirsak dalam mempertahankan suhu pembakaran dapat dikaitkan dengan kandungan ligninnya yang lebih tinggi, sebagaimana dinyatakan oleh Verma & Tomar (2014), bahwa lignin berperan dalam meningkatkan nilai kalor bahan bakar dan mempertahankan kestabilan nyala api. Sebaliknya, biopellet daun Sirsak memiliki kandungan volatil yang lebih tinggi, yang menyebabkan pembakaran berlangsung lebih cepat tetapi kurang efisien dalam mempertahankan panas dalam durasi yang lebih lama (Moghadamtousi *et al.*, 2015).

Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa pengaturan jumlah lubang angin sangat menentukan efisiensi pembakaran biopellet. Konfigurasi dua lubang angin terbukti memberikan efisiensi terbaik dalam mempercepat waktu pendidihan air, baik untuk biopellet daun Jati maupun daun Sirsak. Pemilihan jenis biopellet yang sesuai dengan kebutuhan energi sangat penting dalam meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar alternatif berbasis biomassa. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat

difokuskan pada pengujian emisi gas buang untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari penggunaan biopellet dengan berbagai konfigurasi pembakaran.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini mengungkapkan bahwa pengaturan jumlah lubang ventilasi pada tungku modifikasi memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi proses pembakaran biopellet. Dalam hal ini, pengaturan dengan dua lubang ventilasi terbuka terbukti memberikan keseimbangan optimal antara pasokan udara dan waktu pembakaran, menghasilkan kinerja yang unggul dalam mendidihkan air. Meskipun jenis biopellet memberikan variasi dalam waktu pembakaran, kontribusinya terhadap efisiensi keseluruhan lebih kecil dibandingkan dengan pengaruh jumlah lubang ventilasi. Biopellet yang terbuat dari daun jati menunjukkan stabilitas pembakaran yang lebih baik dibandingkan dengan biopellet dari daun sirih, meskipun keduanya memiliki kinerja yang relatif sebanding dalam konteks efisiensi pembakaran. Hasil ini menunjukkan bahwa pilihan bahan baku biopellet, meskipun penting, harus dikombinasikan dengan desain tungku yang sesuai untuk mencapai hasil optimal. Oleh karena itu, konfigurasi tungku dengan dua lubang ventilasi dianjurkan sebagai solusi terbaik untuk mendukung pengembangan biopellet sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan efisien.

Saran

Penulis menyarankan agar desain tungku disempurnakan dengan menerapkan prinsip-prinsip fisika secara menyeluruh, sehingga dapat tercapai aliran udara yang optimal dan mendukung pembakaran yang lebih efisien. Selain itu, penelitian di masa mendatang dapat difokuskan pada analisis lebih mendalam mengenai aspek lain, seperti pengukuran emisi gas yang dihasilkan selama pembakaran atau karakteristik residu yang tertinggal, untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai keunggulan dan kelemahan masing-masing jenis biopellet. Uji lanjutan yang mencakup karakterisasi fisik, kimia, dan termal biopellet secara detail juga direkomendasikan untuk memperkuat potensi

aplikasinya sebagai bahan bakar alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bryden, M., Still, D., Scott, P., Hoffa, G., Ogle, D., & Bailis, R. (2003). *Design principles for wood burning cook stoves*. *Biomass and Bioenergy*, 12(3), 189-201.
- Choudhury, A. R., & Sahu, J. K. (2018). *Natural Dye Extracted from Tectona grandis Leaves for Textile Application*. *Journal of Natural Products and Resources*, 7(1), 34-39.
- Loo, S. V., & Koppejan, J. (2008). *The Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*. *Earthscan*.
- Makoto, T., Tetsuo, M., & Kenichi, O. (2011). *Influence of air supply control on combustion efficiency in small-scale biomass stoves*. *Renewable Energy Journal*, 31(3), 351-356.
- Moghadamtousi, S. Z., et al. (2015). *Annona muricata (Soursop): A Review of Its Traditional Uses, Isolated Acetogenins, and Biological Activities*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015, Article ID 121342.
- Obernberger, I., & Thek, G. (2010). *The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilization of Biomass Pellets*. *Earthscan*.
- Prasetyo, A., & Wibowo, H. (2023). Pengaruh Karakteristik Bahan Bakar terhadap Efisiensi Pembakaran di Tungku Modifikasi. *Jurnal Teknologi Pembakaran*, 10(2), 120-128.
- Rahmawati, F., & Suropto, A. (2021). Pengaruh Desain Tungku Terhadap Efisiensi Pembakaran Biopellet. *Jurnal Energi Terbarukan*, 12(1), 22-30.
- Santoso, B., & Subagyo, A. (2021). Studi Pembakaran Biopellet dengan Desain Lubang Angin Variatif. *Jurnal Teknik dan Energi*, 11(4), 67-75.
- Syarifuddin, M., Nurdin, N., & Hakim, H. (2020). Analisis Kinerja Energi Terbarukan dalam Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 8(2), 44-56.
- Verma, S. K., & Tomar, A. (2014). *Phytochemical Analysis of Tectona grandis*

Leaves. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 5(5), 198-205.

Venkataraman, C., Habib, G., & Kadamba, D. (2010). *Airflow patterns and emissions in stoves using solid biofuels: Implications for design improvements. Journal of Renewable Energy Research*, 5(1), 45-52.

Wahyudi, H. (2019). Pengaruh Jumlah Lubang Angin pada Tungku Pembakaran Biopellet. *Jurnal Teknik Mesin*, 15(2), 75-84.

Yuliana, M., Dewi, A., & Suryanto, R. (2018). Karakteristik Pembakaran Biopellet dari Limbah Kayu. *Jurnal Biomassa Indonesia*, 7(3), 95-104.