

Studi Eksperimental Gasifikasi Sampah Organik dan Serbuk Kayu Pada Downdraft Gasifier

Ekon Seprianto¹, Yolli Fernanda², Arwizet Karudin³, Mulianti⁴

¹²³⁴Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Padang
e-mail: ekonseprianto109@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan energi di Indonesia terus bertambah seiring pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri, tetapi ketergantungan pada bahan bakar fosil menimbulkan masalah kelangkaan energi. Biomassa sebagai energi terbarukan menawarkan solusi yang prospektif. Penelitian ini mengevaluasi kinerja gasifikasi dari tiga jenis bahan bakar berbasis biomassa yaitu pellet kayu 100%, campuran serbuk kayu dan pellet kayu dengan perbandingan volume 1:1, serta campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu dengan perbandingan volume 1:1 menggunakan downdraft gasifier. Metode penelitian ini berupa uji eksperimental untuk mengukur suhu gasifikasi dan durasi nyala api efektif syngas yang dihasilkan yang dilakukan dengan flare test. Hasilnya menunjukkan bahwa pellet kayu menghasilkan performa terbaik dalam stabilitas pembakaran, rendemen syngas, dan nilai kalor, dengan waktu nyala api efektif selama 85 menit. Campuran serbuk kayu dan pellet kayu 1:1 mempercepat reaksi tetapi memiliki waktu nyala api yang lebih pendek, yakni 15 menit. Campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu menghasilkan syngas dengan waktu nyala api efektif 25 menit, meskipun nilai kalornya lebih rendah. Secara keseluruhan, pellet kayu murni merupakan bahan bakar gasifikasi paling efisien, sementara campuran lainnya menawarkan potensi pemanfaatan yang relevan untuk keberlanjutan lingkungan.

Kata kunci: *Gasifikasi, Biomassa, Pellet Kayu, Serbuk Kayu, Sampah Pasar, Downdraft Gasifier, Energi Terbarukan, Syngas, Efisiensi Pembakaran, Kelangkaan Energi*

Abstract

Energy demand in Indonesia continues to increase along with population growth and industrial development, yet dependence on fossil fuels creates energy scarcity issues. Biomass as a renewable energy source offers a promising solution. This study analyzes the gasification performance of three types of biomass-based fuels: 100% wood pellets, a 1:1 volume ratio mixture of sawdust and wood pellets, and a 1:1 volume ratio mixture of market waste pellets and wood pellets using a downdraft gasifier. The research method includes experimental testing to measure gasification temperature and effective flame duration of the resulting syngas through a flare test.

The results show that wood pellets performed best in terms of combustion stability, syngas yield, and calorific value, with an effective flame duration of 85 minutes. The 1:1 mixture of sawdust and wood pellets accelerates the reaction but produces a shorter flame duration of 15 minutes. The mixture of market waste pellets and wood pellets generates syngas with an effective flame duration of 25 minutes, although with a lower calorific value. Overall, pure wood pellets are the most efficient gasification fuel, while the other mixtures still offer potential for environmental sustainability.

Keywords : *Gasification, Biomass, Wood Pellets, Sawdust, Market Waste, Downdraft Gasifier, Renewable Energy, Syngas, Combustion Efficiency, Energy Scarcity*

PENDAHULUAN

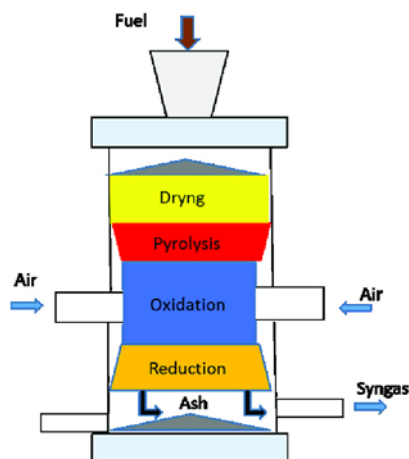
Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan penduduk dan kemajuan industri. Namun, penambahan penduduk dan kemajuan industri ini menciptakan suatu masalah yaitu masalah kelangkaan energi (Damanik, 2021). Sumber energi selama ini sangat bergantung kepada bahan bakar fosil, padahal bahan bakar fosil sudah mulai langka (Fautngiljanan, 2023). Kelangkaan ini mendorong munculnya penemuan sumber energi alternatif dari bahan bakar fosil tersebut. Salah satu energi alternatif prospektif yang banyak tersedia dan terus dikembangkan yaitu energi dari biomassa (Asri et al., 2022).

Biomassa merupakan bahan organik yang berasal dari makhluk hidup (tumbuhan dan hewan) yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan (Marganingrum et al., 2020). Biomassa terdiri dari berbagai senyawa organik, terutama karbohidrat, lemak, dan protein. Senyawa utama pembentuk biomassa adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang membentuk dinding sel pada tumbuhan. Biomassa memiliki beragam manfaat antara lain sebagai pangan, pakan ternak, pembuatan minyak nabati, pembuatan bahan bangunan, dan sebagai bahan bakar atau energi. Biomassa dapat diperoleh dari pertanian, perkebunan, limbah industri dan kotoran hewan.

Biomassa dapat dikelompokkan sebagai low grade fuel (bahan bakar kelas rendah) yang banyak dipakai dalam proses pembakaran (Marganingrum et al., 2020). Untuk meningkatkan pemanfaatan energi biomassa melalui proses pengubahan bahan padat menjadi gas melalui proses degradasi termal bahan organik dengan suhu tinggi pada pembakaran tidak sempurna dapat dilakukan dengan teknologi gasifikasi. Dalam kata lain, proses gasifikasi adalah proses pembakaran persial bahan baku padat seperti biomassa, yang melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat (Rinovianto, 2012). Sistem gasifikasi merupakan proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar yang menghasilkan (CO , CH_4 , dan H_2) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20% - 40% udara stoikiometri) (Rizal et al., 2020). Dalam proses gasifikasi ini, salah satu teknologi yang dapat digunakan yaitu downdraft gasifier.

Downdraft gasifier adalah salah satu teknologi yang dapat digunakan dalam konversi biomassa menjadi gas mampu bakar (syngas/synthetic gas). Downdraft

gasifier merupakan pilihan yang paling sesuai untuk pembangkit listrik dan panas terdesentralisasi, karena *syngas* yang dihasilkan memiliki kadar tar dan partikulat yang sangat rendah dibandingkan dengan jenis gasifier lainnya (Basu, 2010). Pada downdraft gasifier ini aliran udara searah dengan aliran bahan bakar. Dimulai dari masuknya bahan bakar di bagian atas gasifier, maka akan terjadi proses pengeringan dan pirolisis bahan bakar akibat panas yang dihasilkan dari reaksi oksidasi. Pada tahap pirolisis, uap dan tar dihasilkan. Selanjutnya, uap dan tar yang dihasilkan akan melewati lapisan arang panas dan mengalami perengkahan menjadi gas sederhana. Pada reaksi reduksi yang terjadi gas produser yang dihasilkan akan tertarik keluar menuju bagian bawah gasifier (Rinovianto, 2012). Berikut zona-zona pada gasifier terdapat pada gambar dibawah ini:



Penelitian lebih lanjut tentang gasifikasi serbuk kayu, pellet kayu dan pellet sampah pasar menggunakan downdraft gasifier perlu dikaji. Gasifikasi memiliki kelebihan seperti proses yang terkontrol dan produk berupa gas yang lebih mudah terbakar dan dapat disimpan serta fleksibel untuk berbagai jenis keperluan (Wibowo & Windarta, 2022).

METODE

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian eksperimental karena melibatkan pengujian langsung terhadap variabel-variabel yang terkontrol untuk mengevaluasi hasil gasifikasi yang dilakukan. Gasifikasi dilakukan terhadap pellet kayu 100%, campuran serbuk kayu dan pellet kayu dengan perbandingan volume 1:1, serta campuran pellet sampah organik dan pelet kayu dengan perbandingan volume 1:1 untuk melihat kemampuan biomassa ini untuk digasifikasi.

Data penelitian ini dikumpulkan melalui observasi eksperimen langsung proses gasifikasi menggunakan downdraft gasifier untuk mengetahui temperatur gasifikasi dan syngas yang dihasilkan. Alat yang digunakan pada proses gasifikasi ini yaitu downdraft gasifier, timbangan untuk mengetahui banyak biomassa yang digasifikasi, dan termokopel untuk mengetahui temperatur gasifikasi, sedangkan bahan bakar yang digunakan yaitu serbuk kayu, pellet kayu dan pellet sampah pasar. Untuk melihat

kemampuan biomassa tersebut dalam gasifikasi maka akan dilakukan uji flare/ flare test.

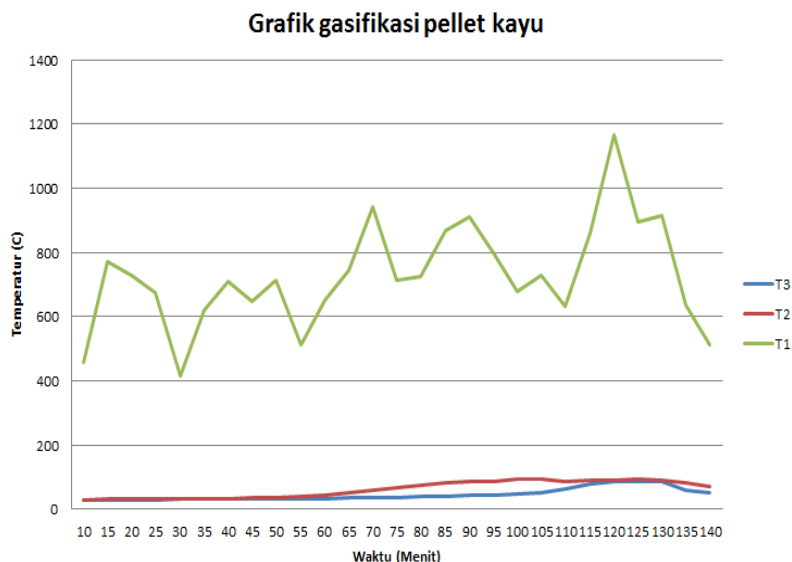
Uji flare adalah cara untuk mengevaluasi proses pembakaran gas agar gas yang dihasilkan memiliki kualitas dan keamanan yang cukup. Dalam pengujian ini, gas dibakar, kemudian dilihat kestabilan pembakarannya. Pembakaran yang stabil menunjukkan bahwa gas memiliki komposisi dan nilai kalor yang cukup untuk digunakan sebagai sumber energi. Sebaliknya, pembakaran yang kurang sempurna bisa menunjukkan adanya kontaminan atau ketidakseimbangan komposisi gas (Alhameedi et al., 2022). Tes ini adalah hal yang sangat penting untuk memastikan bahwa gas yang dihasilkan adalah aman dan siap untuk digunakan dalam aplikasi berikutnya.

Prosedur penelitian mencakup beberapa tahapan, dimulai dari persiapan alat dan bahan, pengujian, pengambilan data, dan analisis data untuk menarik kesimpulan. Hasil penelitian berupa temperatur gasifikasi, waktu gasifikasi dan visualisasi pembakaran syngas yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan gasifikasi terhadap bahan bakar pellet kayu 100%, campuran serbuk kayu dan pellet kayu dengan perbandingan volume 1:1, serta campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu dengan perbandingan volume 1:1. Setiap proses gasifikasi diukur suhu dan dicatat lama waktu gasifikasi serta dilakukan flare test.

Hasil Gasifikasi Pellet Kayu



Grafik diatas menunjukkan temperatur 1 (oksidation zone), 2 (pyrolysis zone dan 3 (drying zone) pada gasifier dan lama proses gasifikasi yang terjadi pada gasifikasi

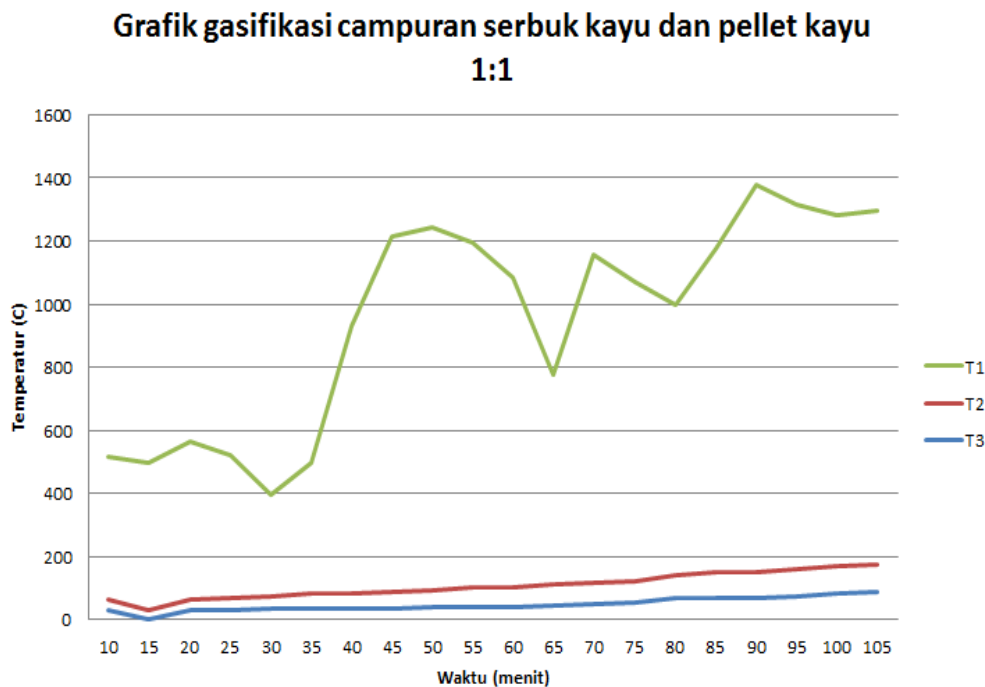
pellet kayu sebanyak 3890 gram. Pada awal ignition dibutuhkan waktu selama 5 menit untuk menaikkan suhu dalam gasifier.



Gambar flare test dari gasifikasi pellet kayu

Gambar diatas menunjukkan hasil pembakaran syngas hasil dari gasifikasi pellet kayu 100% dan tercatat waktu nyala api efektif selama 85 menit.

Hasil Gasifikasi Campuran Serbuk Kayu dan Pellet kayu dengan perbandingan volume 1:1



Grafik diatas menunjukkan temperatur 1 (oksidation zone), 2 (pyrolysis zone dan 3 (drying zone) pada gasifier dan lama proses gasifikasi yang terjadi pada gasifikasi

campuran serbuk kayu dan pellet kayu dengan perbandingan volume 1:1 dengan total sebanyak 9 liter. Pada awal ignition dibutuhkan waktu selam 5 menit untuk menaikkan suhu dalam gasifier.

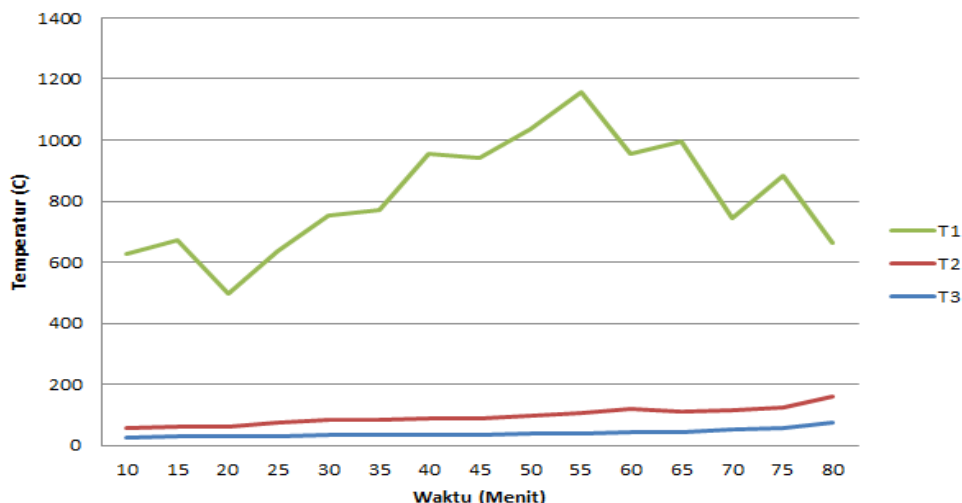


Gambar Flare test dari gasifikasi campuran serbuk kayu dan pellet kayu

Gambar di atas menunjukkan pembakaran syngas hasil dari gasifikasi campuran serbuk kayu dan pellet kayu dengan perbandingan volume 1:1 dan tercatat waktu nyala api efektif selama 15 menit.

Hasil Gasifikasi Campuran Peller Sampah Pasar dan Pellet kayu dengan perbandingan volume 1:1

Grafik gasifikasi campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu 1:1



Grafik diatas menunjukkan temperatur 1 (oksidation zone), 2 (pyrolysis zone dan 3 (drying zone) pada gasifier dan lama proses gasifikasi yang terjadi pada gasifikasi campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu dengan perbandingan volume 1:1

dengan total sebanyak 8 liter. Pada awal ignition dibutuhkan waktu selam 5 menit untuk menaikkan suhu dalam gasifier.



Gambar Flare test dari gasifikasi campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu 1:1

Gambar di atas menunjukkan pembakaran syngas hasil dari gasifikasi campuran serbuk kayu dan pellet kayu 1:1 dan tercatat waktu nyala api efektif selama 25 menit.

Pembahasan

Pelet kayu merupakan bahan bakar padat yang berasal dari sisa-sisa kayu yang dipadatkan menjadi bentuk yang seragam. Dengan kadar air yang rendah dan kepadatan yang tinggi, pelet kayu memiliki nilai kalor yang cukup baik, stabilitas pembakaran yang baik, serta efisiensi yang tinggi dalam proses gasifikasi dengan mengetahui nyala api efektif selama 85 menit. Sementara serbuk kayu memiliki ukuran partikel yang kecil dan bentuk yang lebih longgar dibandingkan dengan pelet. Jika dicampur dengan pelet kayu dengan perbandingan 1:1, campuran ini memiliki keseimbangan antara kepadatan dan kemudahan pembakaran. Kombinasi ini memungkinkan serbuk kayu yang mudah terbakar dapat meningkatkan laju reaksi, sedangkan pelet kayu memberikan stabilitas termal dan menjaga kepadatan reaktor gasifikasi serta diketahui memiliki waktu nyala api efektif selama 15 menit. Begitupun pellet sampah pasar yang biasanya terdiri dari sisa-sisa organik seperti sayuran, buah-buahan, daun, dan material organik lainnya yang dikeringkan dan dipadatkan. Saat dicampur dengan pellet kayu, campuran ini memberikan peluang pemanfaatan limbah organik menjadi energi. Berdasarkan proses gasifikasi yang telah dilakukan, diketahui nyala api efektif dari campuran sampah pasar dan pellet kayu yaitu selama 25 menit.

SIMPULAN

Pada penelitian gasifikasi tiga jenis bahan bakar pellet kayu, campuran serbuk kayu dan pellet kayu, serta campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu ditemukan beberapa perbedaan signifikan dalam performa masing-masing bahan. Pellet kayu menunjukkan performa terbaik dalam hal stabilitas pembakaran, rendemen syngas,

dan nilai kalor yang tinggi, menjadikannya pilihan ideal untuk proses gasifikasi yang efisien. Campuran serbuk kayu dan pellet kayu dalam rasio 1:1 memberikan keseimbangan yang baik antara efisiensi energi dan stabilitas; serbuk kayu berperan mempercepat laju reaksi, sementara pellet kayu menstabilkan proses, meskipun menghasilkan waktu nyala api efektif yang paling pendek dibanding bahan bakar yang lain. Sementara itu, campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu membuka peluang pemanfaatan limbah organik, meskipun menghasilkan syngas dengan nilai kalor yang rendah. Untuk penggunaan campuran ini, diperlukan penanganan lebih lanjut guna meningkatkan kualitas syngas. Secara keseluruhan, pellet kayu murni tetap menjadi bahan bakar gasifikasi yang paling efisien, namun pemanfaatan campuran lain tetap penting untuk mempertimbangkan efisiensi biaya dan keberlanjutan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhameedi, H. A., Smith, J. D., Ani, P., & Powley, T. (2022). Toward a Better Air-Assisted Flare Design for Safe and Efficient Operation during Purge Flow Conditions: Designing and Performance Testing. *ACS Omega*, 7(47), 42793–42800. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04618>
- Asri, M., Kurniawan, E., Sylvia, N., Bahri, S., & Jalaluddin, J. (2022). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Sebagai Bahan Alternatif Dalam Pembuatan Biopellet. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 2(2), 57. <https://doi.org/10.29103/cejs.v2i2.7232>
- Basu, P. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis: Practical design and theory*. Academic Press.
- Damanik, J. R. (2021). *Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area*.
- Fautngiljanan, J. (2023). *Energi Nuklir Dalam Net Zero Emission Indonesia: Tinjauan Terhadap Peraturan Perundang-Undangan Ketenaganukliran Di Indonesia*. 2.
- Marganingrum, D., Estiaty, L., Irawan, C., & Hidawati, H. (2020). The Biomass Coal Fermented (BCF) Briquette as an Alternative Fuel. *Proceedings of the Proceedings of the 7th Mathematics, Science, and Computer Science Education International Seminar, MSCEIS 2019, 12 October 2019, Bandung, West Java, Indonesia*. Proceedings of the 7th Mathematics, Science, and Computer Science Education International Seminar, MSCEIS 2019, 12 October 2019, Bandung, West Java, Indonesia, Bandung, Indonesia. <https://doi.org/10.4108/eai.12-10-2019.2296375>
- Rinovianto, G. (2012). *Karakteristik Gasifikasi Pada Updraft Double Gas Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet*.
- Rizal, S., Faisal, M., & Yuliwati, E. (2020). *Tungku Gasifikasi Untuk Produksi Gas Metan Dari Ampas Tebu*.
- Wibowo, Y. E., & Windarta, J. (2022). Kondisi Gas Bumi Indonesia dan Energi Alternatif Pengganti Gas Bumi. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 3(1), 1–14. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.10042>