

## UJI EFEKTIVITAS GASIFIKASI BIOMASSA BATOK KELAPA DENGAN MENGGUNAKAN JENIS *GASIFIER DOWNDRAFT* TERBUKA

Ridho Abdullah Bahro<sup>1</sup>, Muchammad<sup>2</sup>, Tony Suryo Utomo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [ridho.bahro18@gmail.com](mailto:ridho.bahro18@gmail.com)

### Abstrak

Biomassa menjadi menarik untuk diteliti karena mudah didapatkan dan ramah lingkungan, serta dapat menggantikan bahan bakar fosil yang akan segera habis. Salah satu cara pemanfaatan biomassa untuk dikonversi menjadi energi listrik adalah melalui gasifikasi menjadi syngas. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kadar tar, suhu reaktor, dan efisiensi kinerja gasifikasi biomassa batok kelapa dengan gasifier downdraft terbuka menggunakan variasi batok kelapa kering, kuyup, dan campuran. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental menggunakan reaktor gasifikasi biomassa jenis downdraft tanpa tutup yang dioperasikan dengan tekanan hisap 8-12 cmH<sub>2</sub>O. Alat ini dilengkapi termokopel sebagai sensor suhu dan pengukur aliran yang terhubung ke data logger. Variasi yang digunakan adalah batok kelapa dalam kondisi kering, kuyup, dan campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar tar paling sedikit ketika menggunakan batok kelapa kering dengan nilai 100,277 mg/m<sup>3</sup>, suhu reaktor paling stabil ketika menggunakan batok kelapa kuyup dan campuran, dan efisiensi terbaik ketika menggunakan batok kelapa kuyup dengan nilai 3,85%. Eksperimen pada biomassa batok kelapa kuyup dan campuran menghasilkan suhu reaktor yang stabil dengan zona gasifikasi luas, tetapi hanya bertahan 4 jam pada kondisi kuyup karena suhu turun di bawah 700 °C. Kadar tar pada ketiga kondisi melebihi ambang batas ideal, dengan kondisi kering menghasilkan tar paling sedikit dan efisiensi termal tertinggi dicapai oleh batok kelapa kuyup.

**Kata kunci:** batok kelapa; biomassa; gasifikasi; syngas

### Abstract

*Biomass has become an interesting subject of research because it is easy to obtain, environmentally friendly, and can replace fossil fuels that are running out. One way to convert biomass into electrical energy is through gasification into syngas. The aim of this research is to determine the tar content, reaktor temperature, and efficiency of coconut shell biomass gasification using an open downdraft gasifier with variations of dry, wet, and mixed coconut shells. This research was conducted experimentally using a downdraft biomass gasification reaktor without a lid, operated at a suction pressure of 8-12 cmH<sub>2</sub>O. The device is equipped with thermocouples as temperature sensors and flow meters connected to a data logger. The variations used were coconut shells in dry, wet, and mixed conditions. The results showed that the lowest tar content was obtained using dry coconut shells with a value of 100.277 mg/m<sup>3</sup>, the most stable reaktor temperature was achieved with wet and mixed coconut shells, and the best efficiency was achieved with wet coconut shells at 3.85%. The experiment on wet and mixed coconut shell biomass resulted in a stable reaktor temperature with a wide gasification zone, but it only lasted 4 hours in the wet condition because the temperature dropped below 700 °C. The tar content in all three conditions exceeded the ideal threshold, with the dry condition producing the least tar and the highest thermal efficiency achieved by the wet coconut shells.*

**Keywords:** biomass; coconut shell; gasification; syngas

### 1. Pendahuluan

Perubahan iklim kini dianggap sebagai ancaman terbesar bagi masa depan umat manusia oleh para ilmuwan. Secara global, 10 tahun terpanas yang tercatat semuanya terjadi setelah 2004, dengan lima tahun terpanas berada di periode 2015-2020. Meskipun 2020 adalah tahun terpanas kedua di dunia, untuk Eropa, tahun ini bahkan lebih panas daripada 2018. Sejak 1980, kejadian iklim ekstrem seperti suhu tinggi, kekeringan, dan kebakaran hutan telah meningkat empat kali lipat, sementara badai besar terjadi dua kali lebih sering. Di Amerika Serikat, jumlah bencana alam yang menelan biaya miliaran dolar meningkat dua kali lipat pada dekade 2010-2019 dibandingkan dengan dekade sebelumnya. Pada tahun 2020, AS mengalami 22 bencana cuaca dan iklim yang masing-masing menimbulkan kerugian lebih dari satu miliar dolar, memecahkan rekor sebelumnya yang mencapai 16 bencana pada 2011 dan 2017 [1].

Dalam beberapa tahun terakhir, konsumsi energi global telah meningkat pesat, didorong oleh pertumbuhan industri, populasi, dan kebutuhan transportasi yang meningkat. Urbanisasi yang terus berkembang dan proyeksi populasi global yang akan melebihi 9 miliar pada tahun 2050 menyoroti permintaan yang semakin besar terhadap sumber daya. Pertumbuhan ini diperkirakan membutuhkan 50% lebih banyak bahan bakar, 70% lebih banyak pangan, dan 50% lebih banyak air tawar, sambil tetap menuntut pengurangan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 80% untuk menjaga stabilitas politik, sosial, energi, dan lingkungan [2].

Salah satu cara biomassa dikonversi menjadi energi listrik adalah biomassa diproses melalui gasifikasi menjadi *syngas*. Konversi biomassa ke gasifikasi ini dapat dibuat dalam skala kecil untuk mengatasi kendala sumber biomassa yang tersebar. Dalam beberapa tahun terakhir, gasifikasi biomassa untuk produksi energi listrik memiliki gairah baru karena dampak lingkungannya yang lebih rendah daripada energi fosil [3] [4].

Teknologi gasifikasi adalah salah satu jalur yang paling signifikan dan diteliti dengan baik untuk menghasilkan energi dari biomassa di antara berbagai pilihan yang tersedia. Ini adalah konversi melalui proses termokimia yang terjadi di dalam gasifier, dengan faktor-faktor yang saling berhubungan yang berdampak pada seberapa baik gasifier bekerja [5]. Teknologi gasifikasi yang mudah, aman dan sederhana terus dikembangkan agar teknologi gasifikasi biomassa menjadi populis. Pengembangan teknologi gasifikasi biomassa memiliki kendala adalah rumit dan mahal dalam hal peralatan dan pengoperasiannya.

Limbah biomassa dapat dimanfaatkan menjadi energi melalui proses gasifikasi. Studi ini merangkum faktor-faktor yang memengaruhi proses gasifikasi, termasuk teknologi proses, parameter, bahan baku, dan aplikasi katalis. [6]. Biomassa mempunyai nilai potensi energi sangat besar dan manfaat ekonomi yang baik. Indonesia memiliki potensi energi biomassa limbah pertanian sebesar 31.694 MW dan termanfaatkan 75,9 MW atau 4,9%. Biomassa menjadi lebih menarik untuk diteliti karena kemudahannya untuk didapatkan, dan menjadi solusi pengganti bahan bakar fosil yang di klaim akan segera habis. Biomassa dapat dirubah menjadi gas mudah terbakar untuk substitusi bahan bakar motor bakar dengan cara diproses melalui gasifikasi [4]. Proses gasifikasi adalah konversi biomassa menjadi gas dapat terbakar atau *syngas* melalui proses termokimia pada temperatur 800 - 1200°C [7].

Penelitian dan eksperimen gasifikasi vakum biomassa untuk menguji nilai kalor produksi gasifikasi *syngas*. Penelitian investigasi nilai kalor *syngas* pada gasifikasi vakum biomassa kuyup menggunakan tekanan hisap 8-12 cmH<sub>2</sub>O. belum ada tercatat dan suatu yang baru, kajian eksperimen investigasi nilai kalor dilakukan selama 6 jam. Hasil ini penelitian ini akan memberikan dan tambahan pengetahuan ilmu baru dalam energi teknologi gasifikasi biomassa menjadi listrik yang lebih aman, dan mudah krisis energi.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Pengambilan Data

Pengumpulan data dilakukan setelah parameter acuan untuk penelitian terpenuhi. Proses ini dilakukan tiga kali dengan kondisi biomassa kering, basah, dan campuran. Langkah-langkahnya dimulai dengan memasukkan arang ke dalam reaktor, menyalakan blower pada tekanan 11 cmH<sub>2</sub>O, menyalakan arang menggunakan torch, dan menunggu suhu pada sensor T1 - T3 mencapai 900-1000°C. Setelah suhu tercapai, biomassa batok kelapa dimasukkan ke dalam reaktor dan panci berisi air mendidih diletakkan di atas ketel. Selama pengujian 6 jam, biomassa terus ditambahkan ke dalam reaktor, dan air mendidih ditambahkan ke panci jika hampir habis. Data yang diambil meliputi profil suhu gasifikasi, tekanan vakum, penguapan ketel, suhu penukar kalor, laju *syngas*, dan aliran air pendingin.

### 2.2 Langkah Pengujian

Langkah awal penelitian ini mencakup studi literatur yang mendalam mengenai biomassa sebagai sumber energi terbarukan dan proses gasifikasi menggunakan sistem gasifier downdraft terbuka. Setelah menyelesaikan tahap kajian literatur, penelitian dilanjutkan dengan penerapan metodologi yang bertujuan untuk memperoleh informasi terbaru terkait kinerja biomassa pada tiga kondisi perlakuan: kering, kuyup, dan campuran.

Pada tahap ini, fokus utama adalah menguji kinerja gasifikasi biomassa batok kelapa dalam sistem gasifier downdraft terbuka dengan tiga variasi perlakuan: kering, kuyup, dan campuran. Pengujian dilakukan tiga kali, dimulai dengan batok kelapa kering, kemudian batok kelapa kuyup yang dicelupkan dalam air, ditiriskan, dan langsung dimasukkan ke dalam reaktor, dan terakhir pengujian campuran, di mana batok kelapa kering dan kuyup dimasukkan secara bergantian selama proses berlangsung, dengan pemantauan suhu reaktor.

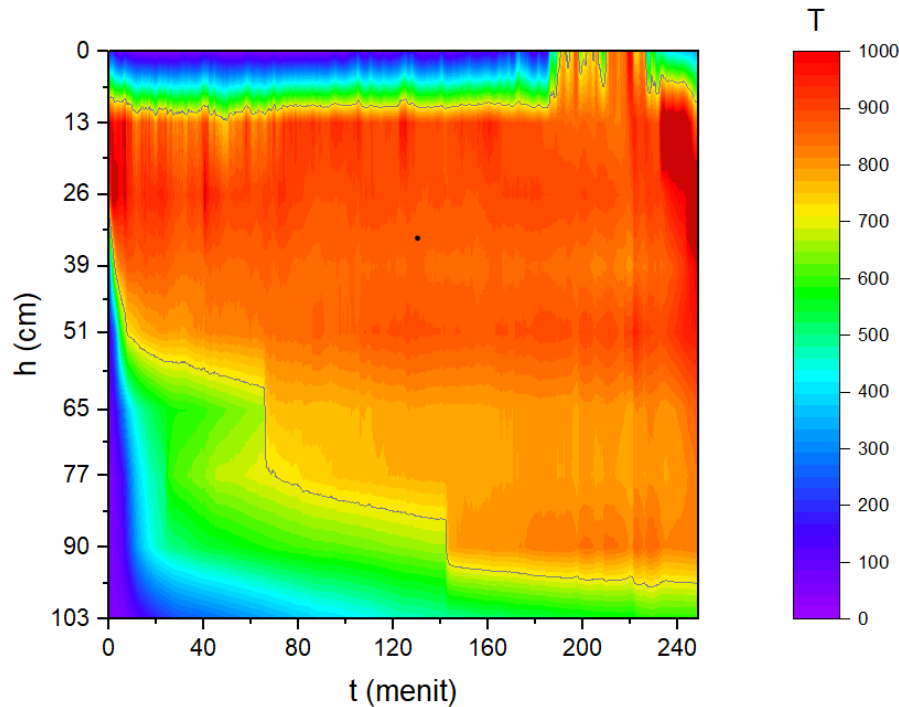
Berikut adalah langkah-langkah rinci untuk setiap pengujian :

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan selama pengujian.
2. Memasukkan arang ke dalam reaktor hingga penuh.
3. Menyalakan *data logger* untuk merekam data pengujian.
4. Memulai pengujian dengan menyalakan blower pada tekanan 11 cmH<sub>2</sub>O.
5. Menyalakan arang dalam reaktor menggunakan *torch*.
6. Menunggu hingga suhu pada sensor T1-T3 mencapai 900-1000°C.
7. Setelah suhu tercapai, masukkan biomassa batok kelapa ke dalam reaktor dan menempatkan panci berisi air mendidih pada ketel.

8. Selama pengujian berlangsung, biomassa akan terus ditambahkan ke dalam reaktor dan air mendidih ditambahkan ke dalam panci jika hampir habis. Pengujian dilakukan selama 6 jam.
9. Dilakukan kembali dari urutan 1-8 untuk pengujian selanjutnya.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berikut merupakan hasil profil suhu gasifikasi dengan kondisi biomassa batok kelapa kering ditunjukkan pada Gambar 1a.



**Gambar 1.** Hasil profil suhu reactor batok kelapa kering

Gambar 1 menunjukkan profil suhu selama proses gasifikasi biomassa batok kelapa kering. Pada awal eksperimen, suhu reaktor tercatat sebesar 1000 °C dengan zona oksidasi berada pada kedalaman 10 cm. Setelah 11 menit, zona oksidasi naik menjadi 13 cm dan tetap stabil di kedalaman tersebut selama 240 menit pengujian. Suhu gasifikasi bervariasi antara 700-1000 °C. Pada menit ke-180, suhu gasifikasi di kedalaman 0 cm meningkat menjadi 790 °C, menyebabkan penumpukan bara batok kelapa di posisi tersebut. Temuan ini menunjukkan adanya masalah karena penumpukan bara batok kelapa di kedalaman 0 cm, yang mengindikasikan bahwa gasifikasi batok kelapa kering mungkin tidak optimal untuk sistem reaktor yang digunakan.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Percobaan menggunakan biomassa batok kelapa yang direndam dan dicampur membutuhkan waktu hingga 6 jam. Pada kedua kondisi ini, suhu reaktor tetap stabil dan menunjukkan hasil yang baik karena adanya zona gasifikasi yang luas, dengan suhu proses berkisar antara 700 hingga 1000 °C. Semakin besar zona gasifikasi dan semakin tinggi suhu, semakin banyak syngas yang dihasilkan. Sementara eksperimen dengan batok kelapa kering hanya berlangsung selama 4 jam. Suhu reaktor terus menurun dalam kondisi ini, menyebabkan proses gasifikasi berhenti ketika suhu turun di bawah 700 °C.

### 5. Daftar Pustaka

- [1] J. L. Holechek, H. M. E. Geli, M. N. Sawalhah, and R. Valdez, "A Global Assessment: Can Renewable Energy Replace Fossil Fuels by 2050?," *Sustain.*, vol. 14, no. 8, pp. 1–22, 2022, doi: 10.3390/su14084792.
- [2] A. Nawaz, H. Haddad, M. A. Shah, S. Uddin, M. M. Hossain, and S. Abdur Razzak, "Fueling sustainability: Co-pyrolysis of microalgae biomass and waste plastics for renewable energy and waste mitigation," *Biomass and Bioenergy*, vol. 187, no. April, p. 107303, 2024, doi: 10.1016/j.biombioe.2024.107303.
- [3] J. M. Bermudez and B. Fidalgo, "15 - Production of bio-syngas and bio-hydrogen via gasification," R. Luque, C. S. K. Lin, K. Wilson, and J. B. T.-H. of B. P. (Second E. Clark, Eds. Woodhead Publishing, 2016, pp. 431–494. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100455-5.00015-1>.

- [4] A. Molino *et al.*, “Chapter 12 - Power Production by Biomass Gasification Technologies,” A. Basile, A. Cassano, and A. B. T.-C. T. and F. D. on (Bio-) M. Figoli, Eds. Elsevier, 2019, pp. 293–318. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813545-7.00012-X>.
- [5] K. W. Kuttin *et al.*, “Experimental and numerical modeling of carbonized biomass gasification: A critical review,” *Green Carbon*, vol. 2, no. 2, pp. 176–196, 2024, doi: 10.1016/j.greenca.2024.04.003.
- [6] Y. Ayub, J. Ren, and T. Shi, “Exploring gasification process and technology for biomass-waste utilization: A comprehensive review on the path to sustainable energy,” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 188, no. June, pp. 1489–1501, 2024, doi: 10.1016/j.psep.2024.06.056.
- [7] N. Tri, E. Yohana, H. Dwi, and M. Kosim, “Investigasi kompatibilitas 10 jenis biomassa pada gasifikasi vakum biomassa kuyup,” 2020.
- [8] Mufid, F. and Anis, S. (2019) ‘Pengaruh Jenis dan Ukuran Biomassa terhadap Proses Gasifikasi Menggunakan Downdraft Gasifier’, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 10(3), pp. 217–226. Available at: <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2019.010.03.2>.
- [9] Najib, L. and Darsopuspito, S. (2012) ‘Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR) dan Ukuran Biomassa’, *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), pp. 12–15.
- [10] Narega, S.O. *et al.* (2022) ‘Produksi Syngas Dari Proses Gasifikasi Biomassa Menggunakan Downdraft Gasifier Sebagai Gas Bakar Pada Motor Bakar Empat Tak Production Syngas from Biomass Gasification Process Using Downdraft Gasifier As Fuel Gas In Four Stock Combustion Motors’, 2(11), pp. 469–474.