

KARAKTERISTIK PEMBAKARAN BIOCHAR KOPI ARABIKA HASIL MICROWAVE-ASSISTED PYROLYSIS

Muhammad Rizki Iqbal Maulana¹, Ena Marlina², Akhmad Faruq Alhikami³

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang
Jalan MT Haryono 193 Malang, 6514, Indonesia
LPPM Universitas Islam Malang, Jalan MT. Haryono 193 Malang, 65144, Indonesia
Email: 22001052073@unisma.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber energi terbarukan menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Ampas kopi Arabika memiliki kandungan karbon yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat melalui proses Microwave-Assisted Pyrolysis (MAP). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik pembakaran biochar kopi Arabika 100% hasil MAP dan membandingkannya dengan batu bara sub-bituminus 100% berdasarkan data Thermogravimetric Analysis (TGA) dan Differential Thermogravimetry (DTG). Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan laju pemanasan 10 °C/menit, suhu maksimum 1000 °C, dan aliran nitrogen 60 mL/menit. Parameter yang dianalisis meliputi Ignition Temperature (Ti), Peak Temperature (Tp), Burnout Temperature (Tb), Ignition Index (Di), dan Combustion Index (S). Hasil menunjukkan Ti biochar Arabika sebesar 215,99 °C, lebih rendah daripada batu bara sebesar 286,69 °C, sehingga biochar lebih mudah menyala. Tp biochar sebesar 485,07 °C lebih tinggi daripada batu bara sebesar 429,97 °C, sedangkan Tb biochar sebesar 527,50 °C lebih rendah daripada batu bara sebesar 537,04 °C. Nilai Di biochar sebesar $50,01 \times 10^{-6}$, mendekati batu bara sebesar $51,91 \times 10^{-6}$. Combustion Index (S) biochar sebesar $1,58 \times 10^{-7}$ masih lebih rendah dibandingkan batu bara sebesar $22,18 \times 10^{-7}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa biochar kopi Arabika memiliki karakteristik penyalan yang baik, meskipun performa pembakaran keseluruhan berdasarkan indeks S masih lebih rendah daripada batu bara sub-bituminus.

Kata Kunci: biochar kopi Arabika, Microwave-Assisted Pyrolysis, TGA/DTG, karakteristik pembakaran, bahan bakar padat.

ABSTRACT

The utilization of biomass waste as a renewable energy source is an alternative approach to reducing dependence on fossil fuels. Arabica coffee waste contains carbon that has the potential to be utilized as a solid fuel through Microwave-Assisted Pyrolysis (MAP). This study aimed to analyze the combustion characteristics of 100% Arabica coffee biochar produced by MAP and compare them with 100% sub-bituminous coal based on Thermogravimetric Analysis (TGA) and Differential Thermogravimetry (DTG). An experimental method was applied with a heating rate of 10 °C/min, a maximum temperature of 1000 °C, and a nitrogen flow rate of 60 mL/min. The analyzed parameters included Ignition Temperature (Ti), Peak Temperature (Tp), Burnout Temperature (Tb), Ignition Index (Di), and Combustion Index (S). The results showed that the Ti of Arabica biochar was 215.99 °C, lower than coal at 286.69 °C, indicating easier ignition. The Tp of biochar was 485.07 °C, higher than coal at 429.97 °C, while the Tb of biochar was 527.50 °C, lower than coal at 537.04 °C. The Di of biochar was 50.01×10^{-6} , close to coal at 51.91×10^{-6} . The Combustion Index (S) of biochar was 1.58×10^{-7} , lower than coal at 22.18×10^{-7} .

10⁻⁷. These results indicate that Arabica coffee biochar has favorable ignition characteristics, although its overall combustion performance based on the S index remains lower than that of sub-bituminous coal.

Keywords: Arabica coffee biochar, Microwave-Assisted Pyrolysis, TGA/DTG, combustion characteristics, solid fuel.

PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki peran penting dalam perekonomian Indonesia. Salah satu jenis kopi yang banyak diminati adalah kopi Arabika (*Coffea arabica*), yang dikenal memiliki mutu dan cita rasa yang baik. Tingginya produksi kopi Arabika juga diikuti oleh meningkatnya jumlah limbah padat organik hasil pengolahan kopi, termasuk ampas kopi. Pemanfaatan limbah tersebut masih belum optimal sehingga berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik.

Limbah kopi memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif karena masih mengandung senyawa karbon yang dapat menghasilkan energi panas melalui proses pembakaran. Pemanfaatan limbah tersebut dapat memberikan nilai tambah sekaligus menjadi salah satu upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Noprianti et al. (2024) membahas potensi biobriket dari limbah kulit kopi sebagai basis pengembangan energi terbarukan, sedangkan Novita et al. (2021) menjelaskan bahwa pirolisis dapat digunakan untuk mengolah biomassa menjadi produk padat, cair, dan gas.

Pengolahan biomassa melalui pirolisis dapat dilakukan menggunakan teknologi Microwave-Assisted Pyrolysis (MAP). MAP memanfaatkan gelombang mikro untuk menghasilkan pemanasan yang lebih cepat dibandingkan pirolisis konvensional. Proses tersebut dapat menghasilkan biochar yang selanjutnya berpotensi digunakan

sebagai bahan bakar padat. Karakteristik pembakaran biochar perlu dikaji untuk mengetahui kemudahan penyalaan, temperatur puncak, temperatur burnout, serta performa pembakaran berdasarkan data TGA/DTG.

Analisis termogravimetri dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan massa material terhadap kenaikan suhu. Kurva TGA memberikan informasi mengenai degradasi massa, sedangkan kurva DTG menunjukkan laju perubahan massa. Parameter Ignition Temperature (Ti), Peak Temperature (Tp), Burnout Temperature (Tb), Ignition Index (Di), dan Combustion Index (S) dapat digunakan untuk mengevaluasi karakteristik pembakaran bahan bakar padat. Perbandingan dengan batu bara sub-bituminus diperlukan untuk memberikan gambaran performa biochar terhadap bahan bakar fosil.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik pembakaran biochar kopi Arabika 100% hasil Microwave-Assisted Pyrolysis dan membandingkannya dengan batu bara sub-bituminus 100%. Parameter yang dianalisis meliputi Ti, Tp, Tb, Di, dan S berdasarkan hasil pengujian TGA/DTG. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai potensi limbah kopi Arabika sebagai bahan bakar padat alternatif yang lebih ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk menganalisis karakteristik pembakaran biochar kopi

Arabika 100% hasil proses Microwave-Assisted Pyrolysis (MAP) dan membandingkannya dengan batu bara sub-bituminus 100%. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Malang pada Maret–Mei 2026.

Bahan yang digunakan terdiri atas ampas kopi Arabika 100% yang telah diproses melalui MAP dan batu bara sub-bituminus 100% sebagai sampel pembanding. Pengujian dilakukan menggunakan Thermogravimetric Analyzer (TGA), sedangkan pengolahan dan visualisasi data dilakukan menggunakan Microsoft Excel dan OriginPro.

Pengujian TGA/DTG dilakukan dengan laju pemanasan 10 °C/menit sampai suhu maksimum 1000 °C menggunakan nitrogen sebagai gas inert dengan laju alir 60 mL/menit. Data perubahan massa terhadap temperatur kemudian diolah untuk menentukan tahapan degradasi termal dan parameter karakteristik pembakaran.

Tabel 1. Kondisi Pengujian TGA/DTG

Parameter	Kondisi
Sampel	Biochar kopi Arabika 100% dan batu bara sub-bituminus 100%
Laju pemanasan	10 °C/menit
Suhu maksimum	1000 °C
Gas inert	Nitrogen (N ₂)
Laju alir nitrogen	60 mL/menit
Pengolahan data	Microsoft Excel dan OriginPro

Parameter pembakaran ditentukan dari kurva TGA dan DTG. Ignition Temperature (Ti) ditetapkan pada awal terjadinya penurunan massa yang signifikan. Peak Temperature (Tp) ditentukan dari temperatur pada puncak laju kehilangan massa maksimum pada kurva DTG. Burnout Temperature (Tb) ditentukan

ketika kehilangan massa telah mendekati akhir dan kurva TGA menjadi relatif stabil. Ignition Index (Di) dan Combustion Index (S) digunakan sebagai parameter kuantitatif untuk membandingkan karakteristik penyalan dan performa pembakaran kedua bahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2. Karakteristik Dekomposisi Termal dan Pembakaran

Material	Ti (°C)	Tp (°C)	Tb (°C)	DTG max (Wt %/°C)	Di (×10 ⁻⁶)	S (×10 ⁻⁷)
Arabika 100 %	215,9	485,0	527,50	5,25	50,01	1,58
Coal 100 %	286,6	429,9	537,04	6,49	51,91	22,18

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua material mengalami tahapan degradasi massa yang berbeda. Pada biochar Arabika 100%, tahap awal berlangsung pada kisaran 22,96–108,60 °C dan berkaitan dengan pelepasan moisture. Tahap berikutnya berlangsung pada kisaran 288,76–527,50 °C dan menunjukkan degradasi termal utama. Pada batu bara sub-bituminus 100%, tahap awal berada pada 27,62–129,04 °C, sedangkan tahap degradasi utama berlangsung pada 286,68–537,04 °C.

Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa biochar Arabika dan batu bara mempunyai respons termal yang berbeda. Biochar mengalami perubahan massa pada rentang temperatur yang relatif luas, sedangkan batu bara menunjukkan karakteristik degradasi yang berkaitan dengan struktur karbon dan komponen volatilnya. Profil TGA/DTG menjadi dasar

untuk menentukan parameter pembakaran pada kedua material.

Ignition Temperature (Ti)

Nilai Ignition Temperature (Ti) biochar Arabika 100% sebesar 215,99 °C, sedangkan batu bara sub-bituminus 100% sebesar 286,69 °C. Nilai Ti yang lebih rendah pada biochar menunjukkan bahwa biochar mencapai kondisi penyalaan pada temperatur yang lebih rendah dibandingkan batu bara. Dengan demikian, dari aspek kemudahan penyalaan, biochar Arabika menunjukkan karakteristik yang lebih baik.

Peak Temperature (Tp)

Biochar Arabika 100% memiliki Peak Temperature (Tp) sebesar 485,07 °C, sedangkan batu bara sebesar 429,97 °C. Nilai Tp yang lebih tinggi pada biochar menunjukkan bahwa laju kehilangan massa maksimum terjadi pada temperatur yang lebih tinggi. Perbedaan ini berkaitan dengan karakteristik material biomassa hasil MAP dan komponen yang mengalami dekomposisi selama pemanasan.

Burnout Temperature (Tb)

Burnout Temperature (Tb) biochar Arabika sebesar 527,50 °C, sedangkan batu bara sebesar 537,04 °C. Nilai Tb biochar yang sedikit lebih rendah menunjukkan bahwa proses kehilangan massa utama dapat mencapai tahap akhir pada temperatur yang lebih rendah dibandingkan batu bara. Perbedaan sebesar sekitar 9,54 °C menunjukkan adanya perbedaan karakteristik degradasi termal antara kedua material.

Ignition Index (Di)

Nilai Ignition Index (Di) biochar Arabika sebesar $50,01 \times 10^{-6}$, sedangkan batu bara sebesar $51,91 \times 10^{-6}$. Nilai keduanya relatif berdekatan, tetapi batu bara menunjukkan nilai sedikit lebih tinggi. Berdasarkan data penelitian, perbedaan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik penyalaan yang direpresentasikan oleh Di pada batu bara sedikit lebih tinggi

dibandingkan biochar. Namun, selisih yang relatif kecil menunjukkan bahwa biochar Arabika memiliki karakteristik penyalaan yang cukup kompetitif terhadap batu bara pada parameter ini.

Combustion Index (S)

Nilai Combustion Index (S) biochar Arabika sebesar $1,58 \times 10^{-7}$, sedangkan batu bara mencapai $22,18 \times 10^{-7}$. Berdasarkan parameter S, batu bara memiliki performa pembakaran keseluruhan yang lebih tinggi. Perbedaan nilai S yang cukup besar menunjukkan bahwa meskipun biochar memiliki temperatur penyalaan yang lebih rendah, karakteristik pembakarannya secara keseluruhan belum menyamai batu bara sub-bituminus.

Jika seluruh parameter dibandingkan, biochar Arabika menunjukkan keunggulan terutama pada kemudahan penyalaan karena memiliki Ti lebih rendah. Di sisi lain, nilai S biochar yang lebih rendah menunjukkan perlunya optimasi proses MAP atau perlakuan lanjutan untuk meningkatkan performa pembakaran. Hasil ini mendukung potensi biochar kopi Arabika sebagai bahan bakar padat alternatif, tetapi pengembangan lebih lanjut masih diperlukan agar performanya lebih kompetitif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai karakteristik pembakaran biochar kopi Arabika 100% hasil Microwave-Assisted Pyrolysis dibandingkan dengan batu bara sub-bituminus 100%, dapat disimpulkan bahwa:

1. Biochar Arabika 100% memiliki Ignition Temperature (Ti) sebesar 215,99 °C, lebih rendah dibandingkan batu bara sebesar 286,69 °C, sehingga lebih mudah mencapai kondisi penyalaan.
2. Peak Temperature (Tp) biochar sebesar 485,07 °C lebih tinggi dibandingkan batu bara sebesar 429,97 °C, sedangkan Burnout Temperature (Tb) biochar

sebesar 527,50 °C sedikit lebih rendah daripada batu bara sebesar 537,04 °C.

3. Ignition Index (Di) biochar sebesar $50,01 \times 10^{-6}$ relatif mendekati batu bara sebesar $51,91 \times 10^{-6}$, menunjukkan karakteristik penyalan yang cukup kompetitif.
4. Combustion Index (S) biochar sebesar $1,58 \times 10^{-7}$ masih lebih rendah dibandingkan batu bara sebesar $22,18 \times 10^{-7}$, sehingga performa pembakaran keseluruhan biochar berdasarkan parameter S masih berada di bawah batu bara.
5. Limbah kopi Arabika hasil MAP berpotensi dikembangkan sebagai bahan bakar padat alternatif, terutama karena memiliki karakteristik penyalan yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Fauzi, P., & Istiqomah, D. (2024). Upaya Pengurangan Dampak Lingkungan Melalui Pengolahan Limbah Kulit Nanas Menjadi Eco-Enzim di Desa Beluk, Kecamatan Belik, Kabupaten Pemalang. *Dimasejati: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(2), 27–35.
- Marangwanda, G. T., & Madyira, D. M. (2025). Evaluating Combustion Ignition, Burnout, Stability, and Intensity of Coal–Biomass Blends Within a Drop Tube Furnace Through Modelling. *Energies*, 18(6), 1322.
- Marwanza, I., et al. (2021). Pemanfaatan briket arang tempurung kelapa sebagai bahan bakar alternatif di Desa Banjar Wangi, Pandeglang, Provinsi Banten. *Jurnal AKAL: Abdimas dan Kearifan Lokal*, 2(1).
- Noprianti, N. S. A., Hamdi, H., & Sudiar, N. Y. (2024). Analisis Pemanfaatan Biobriket Dari Limbah Kulit Kopi Sebagai Basis Pengembangan Energi Terbarukan: Artikel Review. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, 4(2), 1–9.
- Novita, S. A., et al. (2021). Artikel Review: Parameter Operasional Pirolisis Biomassa. *Agroteknika*, 4(1), 53–67.
- Rahmawati, T. W., Santoso, S. I., & Nurfadillah, S. (2024). Analisis Trend Luas Lahan dan Produksi Kopi di Indonesia. *AGROMEDIA: Berkala Ilmiah Ilmu-ilmu Pertanian*, 42(2), 145–153.
- Rustam, R. K., & Amiwarti, A. (2017). Karakteristik Kuat Geser Tanah Merah. *Simposium II UNIID 2017*, 2(1), 394–399.
- Sirappa, M. P., Heryanto, R., & Silitonga, Y. R. (2024). Standardisasi pengolahan biji kopi berkualitas. *Warta BSIP Perkebunan*, 2(1), 18–25.
- Hatina, S., et al. (2022). Pengaruh Komposisi Bottom Ash, Sabut Kelapa, Dan Batubara Sub-Bituminus Serta Pengaruh Waktu Pengeringan Dalam Kualitas Briket. *Jurnal Redoks*, 7(2), 8–17.