

ANALISIS KARAKTERISTIK PEMBAKARAN BAHAN BAKAR PADAT KOPI ARABIKA DAN TANAH MERAH 10% MELALUI PROSES PIROLISIS

Afdal Hamzah ^[1], Ena Marlina ^[2], Akhmad Faruq Alhikami ^[3]

^[1], ^[2], ^[3] Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Malang

Jl. MT. Haryono 193 Malang 65114, Indonesia

E-mail: afzalhamzah7@gmail.com

ABSTRACT

Arabica coffee is a type of coffee known for its superior quality and flavor compared to other types of coffee. Indonesia is a major producer of Arabica coffee in the world, with production reaching approximately 150,000 tons in 2022–2023. This high production has resulted in an increase in coffee grounds waste, which has not been optimally utilized. Therefore, efforts are needed to utilize coffee grounds waste as a renewable resource, one of which is through conversion into biochar. This research used an experimental method conducted at the Mechanical Engineering Laboratory of the Islamic University of Malang. The material used was Arabica coffee grounds with 10% clay added, then compared with 100% sub-bituminous coal through a pyrolysis process. The results showed that the S-curve value for the mixed sample of Arabica coffee grounds and clay was 0.000011614, indicating a stronger material interaction, both in terms of microstructure and chemical composition, thus affecting the material's response to thermal treatment. In contrast, the sub-bituminous coal sample obtained a value of 0.0000007893, indicating more stable material characteristics and a relatively smaller response to treatment. Based on these results, Arabica coffee grounds waste with 10% clay addition has the potential to be developed as an alternative fuel, reviewed in terms of its mass degradation characteristics and combustion properties.

Keywords: Arabica Coffee, Pyrolysis, Bituminous Coal, Clay

ABSTRAK

Kopi Arabika (*Coffea arabica*) merupakan salah satu jenis kopi yang dikenal memiliki kualitas dan cita rasa lebih unggul dibandingkan jenis kopi lainnya. Indonesia termasuk produsen utama kopi Arabika di dunia dengan jumlah produksi pada tahun 2022–2023 mencapai sekitar 150 ribu ton. Tingginya produksi tersebut berdampak pada meningkatnya limbah ampas kopi yang belum dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu, diperlukan upaya pemanfaatan limbah ampas kopi sebagai sumber daya terbarukan, salah satunya melalui konversi menjadi biochar. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Malang. Bahan yang digunakan berupa ampas kopi Arabika dengan penambahan tanah liat sebesar 10%, kemudian dibandingkan dengan batu bara sub-bituminus 100% melalui proses pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kurva S pada sampel campuran ampas kopi Arabika dan tanah liat sebesar 0,000011614, yang mengindikasikan adanya interaksi material yang lebih kuat, baik dari struktur mikro maupun komposisi kimia, sehingga memengaruhi respons material terhadap perlakuan termal. Sebaliknya, sampel batu bara sub-bituminus memperoleh nilai 0,0000007893 yang menunjukkan karakteristik material yang lebih stabil dan respons yang relatif lebih kecil terhadap perlakuan. Berdasarkan hasil tersebut, limbah ampas kopi Arabika dengan penambahan tanah liat 10% berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif, ditinjau dari karakteristik degradasi massa dan sifat pembakarannya.

Kata Kunci: Kopi Arabika, Pirolisis, batu bara Bituminus, tana liat

PENDAHULUAN

Kopi adalah salah satu komoditas perkebunan unggulan di Indonesia dimana nilai jualnya yang cukup tinggi, baik didalam negeri maupun ekspor keluar negeri. Kopi Arabika (*Coffea arabica*) merupakan salah satu jenis kopi yang dikenal memiliki kualitas dan cita rasa yang lebih unggul dibandingkan jenis kopi lainnya. Indonesia merupakan salah satu produsen utama kopi arabika di dunia dengan jumlah produksi pada tahun 2022-2023 sebesar 150 ribu ton, dengan daerah penghasil tersebar di Aceh, Sumatera Utara, Jawa, Bali, dan Sulawesi (Tri Wahyu Rahmawati, 2024). Namun, di balik produksinya yang melimpah, pengolahan kopi Arabika menghasilkan limbah padat organik dalam jumlah besar, seperti kulit buah kopi, kulit tanduk, dan ampas kopi. Limbah-limbah ini sering kali tidak dimanfaatkan dengan optimal dan berpotensi mencemari lingkungan (Pahrul Fauzi, 2024).

Limbah kopi sebenarnya memiliki potensi besar untuk dijadikan sumber energi alternatif karena masih mengandung senyawa karbon yang dapat menghasilkan panas saat dibakar, ini biasa mengurangi ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil yang terus menurun digunakan (Nadia Sri Aulia Noprianti, 2024). Proses pemanfaatan limbah kopi juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah kopi itu sendiri maupun proses pengeboran atau pembuatan kilang minyak baru. Sehingga limbah kopi yang begitu melimpah harus di manfaatkan agar limbah kopi tidak mencemari lingkungan dan bisa dijadikan sumber energi tarbaru.

Bentuk pemanfaatannya ialah dengan cara mengubah limbah tersebut menjadi bahan bakar padat seperti briket. Briket adalah sebuah blok bahan yang dapat dibakar yang digunakan sebagai bahan bakar untuk memulai dan mempertahankan nyala api, dengan proses pembuatan briket menggunakan metode pirolisis (Irfan Marwanza, 2021). Pirolisis merupakan proses pemanasan bahan organik pada suhu tinggi dengan sedikit atau tanpa oksigen untuk menghasilkan arang (char), gas, dan cairan pirolitik (Sri Aulia Novita, 2021). Produk arang hasil pirolisis dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat yang ramah lingkungan dan bernilai kalor tinggi.

Cara meningkatkan kualitas bahan bakar padat yang dihasilkan, diperlukan penambahan bahan aditif atau campuran. Salah satu bahan yang berpotensi digunakan adalah tanah merah, yang mengandung mineral seperti besi dan silikat (Reffanda Kurniawan Rustam, 2017). Penambahan tanah merah sebesar 10% dapat membantu memperbaiki sifat fisik briket, meningkatkan daya rekat, serta menurunkan kadar abu yang berlebihan selama proses pembakaran. Maka dari itu, campuran ini diharapkan menghasilkan bahan bakar padat dengan karakteristik pembakaran yang lebih baik, efisiensi tinggi, dan emisi yang lebih rendah.

Melalui penelitian “Analisis Karakteristik Pembakar Bahan Bakar Padat Kopi Arabika Dicampur Tanah Merah 10% Melalui Proses Pirolisis”, diharapkan dapat diketahui sifat-sifat pembakaran dari bahan

bakar padat hasil campuran tersebut, seperti nilai kalor, kadar air, kadar abu, dan laju pembakaran. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif solusi energi terbarukan, sekaligus mendukung pengelolaan limbah pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang di gunakan adalah experimental. Dilakukan pengamatan pada benda yang di uji secara aktual terhadap kopi arabika dengan campuran tanah merah. Data hasil penelitian berupa produk pirolisis, di analisis dengan teknik Karakteristik pembakaran kemudian menyimpulkan dan menentukan hasil penelitian yang telah dilakukan.

rasio udara terhadap bahan bakar. Analisis keseimbangan energi pada sistem boiler dilakukan untuk menentukan efisiensi termal. Nilai efisiensi boiler didapatkan dari perbandingan antara energi panas yang diserap oleh sistem dan energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar. Perbandingan

Efisiensi pada setiap variasi bahan bakar digunakan untuk mengevaluasi pengaruh co-firing biomassa sekam tebu serta penerapan air heater terhadap kinerja boiler.

Teknik Pengumpulan Data

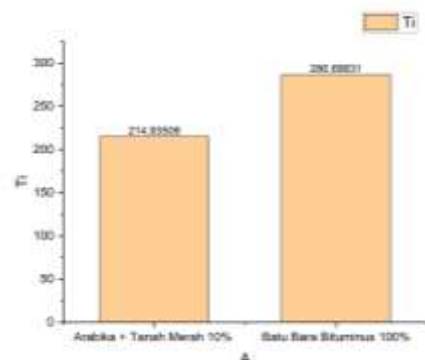
Laju kehilangan massa DTG Untuk menghitung turunan pertama DTG, data yang keluar dari hasil pengujian dipindahkan ke *Excel* untuk dihitung turunan pertama DTG dengan rumus $DTG = \frac{dm}{dt}$, setelah data selesai dihitung data tersebut kemudian dipindahkan ke

aplikasi *Origin*. Untuk proses smoothing pada data DTG, pilih menu *Analysis* di bagian atas aplikasi, lalu lanjutkan ke *Signal Processing*, dan pilih opsi *Smooth FFT Filter* dengan ketebalan garis 7. Setelah itu, pilih filter DTG, TGA%, serta temperature untuk dikonversi ke grafik sehingga data dapat ditampilkan dalam bentuk kurva.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ti (*Ignition Temperature*)

Berdasarkan hasil pengukuran ignition temperatur (Ti) terlihat adanya perbedaan yang cukup jelas antara sampel *Arabika + Tanah Merah 10%* dan *Batu Bara Sub-bituminus 100%*. Sampel Arabika yang dicampur dengan tanah merah sebesar 10% menunjukkan nilai Ti sebesar 214,94 mg/kg, tanah merah yang memang mengandung oksida logam seperti Fe dan Ti dalam jumlah moderat. Biomassa Arabika secara alami memiliki kandungan mineral yang lebih rendah, sehingga campuran dengan tanah merah hanya memberikan peningkatan unsur Ti dalam batas yang tidak terlalu signifikan. Sebaliknya, sampel Batu Bara Bituminus 100% menunjukkan nilai Ti yang jauh lebih tinggi, yaitu 286,69 mg/kg, menandakan bahwa batu bara sebagai material geologis memiliki kandungan anorganik dan mineral logam transisi yang lebih besar.

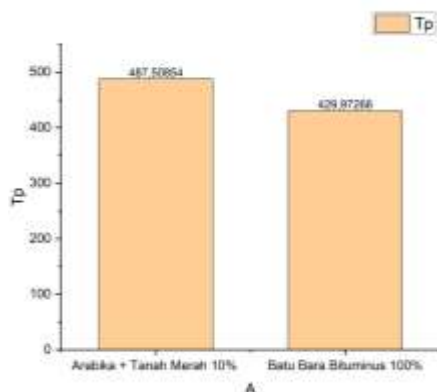


Gambar 1 Ti (*Ignition Temperature*)

Tp (*Temperatur Peak*)

Berdasarkan grafik, sampel Arabika yang dicampur dengan tanah merah sebesar 10% memiliki nilai Tp sebesar 487,51, yang merupakan nilai tertinggi di antara kedua sampel. Tingginya nilai Tp pada sampel ini mengindikasikan bahwa campuran biomassa Arabika dengan tanah merah memberikan stabilitas termal atau karakteristik parameter Tp yang lebih besar dibandingkan batu bara. Hal ini dapat disebabkan oleh pengaruh komponen organik Arabika yang memiliki sifat volatil serta kontribusi mineral tanah merah yang mampu meningkatkan titik parameter tertentu, sehingga total nilai Tp menjadi lebih tinggi.

Sebaliknya, sampel Batu Bara Sub-bituminus 100% menunjukkan nilai Tp sebesar 429,97, lebih rendah dibandingkan Arabika–Tanah Merah. Batu bara sub-bituminus memiliki struktur karbon yang lebih stabil, namun nilai Tp yang lebih rendah mengisyaratkan bahwa parameter ini lebih dipengaruhi oleh komposisi anorganik dan sifat termal batu bara yang berbeda dari biomassa.

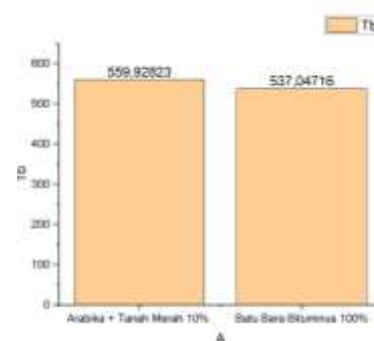


Gambar 2 Tp (Temperatur Peak)

Tb (*Temperatur Burnout*)

Berdasarkan grafik, sampel Arabika yang dicampur dengan tanah merah sebesar 10% memiliki nilai Tb sebesar 559,93, yang merupakan nilai tertinggi dibandingkan batu bara. Tingginya nilai Tb ini menandakan bahwa campuran biomassa Arabika dengan tanah merah memiliki karakteristik termal yang lebih kuat, terutama dalam hal stabilitas dan respons terhadap suhu pada parameter Tb.

Sementara itu, sampel Batu Bara Sub-bituminus 100% menunjukkan nilai Tb sebesar 537,05, sedikit lebih rendah dibandingkan Arabika–Tanah Merah. Meskipun batu bara memiliki struktur karbon yang lebih matang dan stabil, nilai Tb yang lebih rendah dapat mengindikasikan bahwa parameter ini lebih dipengaruhi oleh komposisi organik-inorganik yang berbeda antara batu bara dan biomassa Arabika.

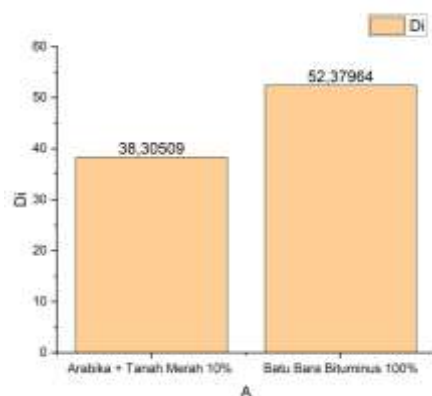


Gambar 3 Tb (*Temperatur Burnout*)

Di (*Ignition Index*)

Berdasarkan grafik perbandingan nilai Di pada dua perlakuan bahan, terlihat adanya

perbedaan yang cukup jelas antara “Arabika + Tanah Merah 10%” dan “Batu Bara Bituminus 100%”. Perlakuan Arabika yang dicampur dengan Tanah Merah menghasilkan nilai Di sebesar 38,30509, sedangkan penggunaan Batu Bara Bituminus murni menunjukkan nilai yang lebih tinggi, yaitu 52,37964. Perbedaan ini menggambarkan bahwa Batu Bara Bituminus memberikan performa yang lebih besar terhadap parameter Di dibandingkan campuran Arabika dan Tanah Merah. Kenaikan nilai Di pada Batu Bara Bituminus mengindikasikan bahwa karakteristik material tersebut lebih mendukung proses atau output yang diukur dalam penelitian ini—baik dalam aspek energi, pembakaran, atau sifat fisik lainnya sesuai konteks variabel Di . Secara keseluruhan, grafik ini menegaskan bahwa variasi bahan baku memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai Di , dengan Batu Bara Bituminus menunjukkan efektivitas yang paling tinggi.

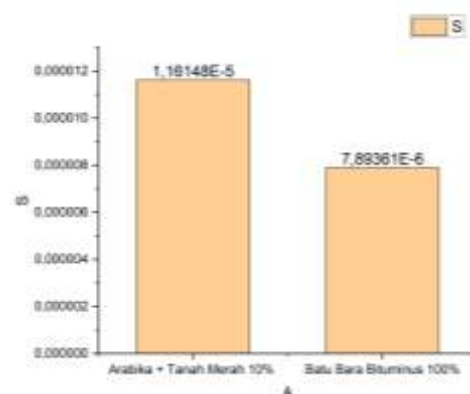


Gambar 4 Di (Ignition Index)
(Combustion Index)

Berdasarkan grafik yang ditampilkan, nilai S pada campuran Arabika + Tanah Merah 10% menunjukkan angka yang lebih tinggi, yaitu $1,16148 \times 10^{-5}$, dibandingkan dengan sampel Batu Bara Bituminus 100% yang berada

pada nilai $7,89361 \times 10^{-6}$. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa penambahan 10% tanah merah pada biomassa Arabika memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan nilai S . Kenaikan nilai S tersebut dapat diinterpretasikan sebagai meningkatnya karakteristik tertentu dari material—misalnya elastisitas, sensitivitas, atau parameter mekanik/fisik lain sesuai konteks penelitian.

Nilai S yang lebih tinggi pada campuran Arabika–Tanah Merah dapat menunjukkan adanya interaksi material yang lebih kuat, baik dari sisi struktur mikro maupun komposisi kimia yang memengaruhi respon material terhadap perlakuan atau beban tertentu. Sebaliknya, nilai S yang lebih rendah pada batu bara bituminus menandakan bahwa material tersebut memiliki karakteristik yang lebih stabil atau lebih kaku, sehingga tidak memberikan respons sebesar campuran biomassa tersebut. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa modifikasi komposisi material dengan penambahan tanah merah terbukti mempengaruhi nilai S secara signifikan dibandingkan material batu bara murni.



Gambar 5 Combustion Index

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai analisis karakteristik pembakaran bio-char kopi arabika tanah merah 10% melalui proses pirolisis, dapat dilihat berapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Degradasi massa material uji dapat dianalisis secara efektif menggunakan metode TGA dan DTG, yang menunjukkan perubahan massa sebagai fungsi suhu dan laju pemanasan. Penurunan massa terjadi secara bertahap sesuai dengan tahapan penguapan air, dekomposisi senyawa volatil, serta pembakaran.
2. Karakteristik pembakaran bahan uji dapat ditentukan melalui temperatur ignition temperatur, peak temperatur, burnout temperatur. Parameter-parameter ini memberikan gambaran kemampuan bahan untuk menyala, intensitas pembakaran, serta tingkat kesempurnaan pembakaran.
3. Nilai ignition index dan combustion index yang diperoleh dari data DTG menunjukkan bahwa bahan uji memiliki reaktivitas pembakaran yang dipengaruhi oleh laju kehilangan massa maksimum serta suhu pembakaran. Semakin tinggi nilai index tersebut, semakin baik karakteristik pembakaran bahan.
4. DTG rata-rata (DTGavg) mencerminkan stabilitas proses pembakaran selama rentang suhu pembakaran. Nilai DTGavg yang relatif stabil menunjukkan bahwa bahan uji memiliki karakter pembakaran yang cukup merata.
5. limbah kopi arabika yang dipadukan dengan tanah merah berpotensi dikembangkan sebagai bahan bakar padat

alternatif, ditinjau dari perilaku degradasi massa dan karakteristik pembakaran.

DAFTAR PUSTAKA

1. Fauzi, Pahrul, and Dina Istiqomah. "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 (2024): 27-35.
2. Gelmini, Riccardo. "The Federalist Culture as a Fundamental Basis of the European Identity."
3. Hatina, Surya, et al. "Pengaruh Komposisi Bottom Ash, Sabut Kelapa, Dan Batubara Sub-Bituminus Serta Pengaruh Waktu Pengeringan Dalam Kualitas Briket." *Jurnal Redoks* 7.2 (2022): 8-17.
4. Marangwanda, Garikai T., and Daniel M. Madyira. "Evaluating Combustion Ignition, Burnout, Stability, and Intensity of Coal–Biomass Blends Within a Drop Tube Furnace Through Modelling." *Energies* 18.6 (2025): 1322.
5. Marwanza, Irfan, et al. "Pemanfaatan briket arang tempurung kelapa sebagai bahan bakar alternatif di Desa Banjar Wangi, Pandeglang, Provinsi Banten." *Jurnal AKAL: Abdimas dan Kearifan Lokal* 2.1 (2021).
6. Noprianti, Nadia Sri Aulia, Hamdi Hamdi, and Nofi Yendri Sudiar. "Analisis Pemanfaatan Biobriket Dari Limbah Kulit Kopi Sebagai Basis Pengembangan Energi Terbarukan: Artikel Review." *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy* 4.2 (2024): 1-9.

7. Novita, Sri Aulia, et al. "Artikel Review: Parameter Operasional Pirolisis Biomassa." *Agroteknika* 4.1 (2021): 53-67.
8. Nurfadhilah, Lulu, and Yuwan Fijar Anugrah. "Meningkatkan Kecerdasan Logis-Matematics Anak Usia 5-6 Tahun Melalui Alat Permainan Edukatif Kotak Pintar Di Tk Negeri Purwadadi." *Jurnal Tahsinia* 6.7 (2025): 971-987.
9. Olivier, Bogning Mejiozem Brice, et al. "Mortality of children in the intensive care unit of the Pediatric University Hospital of Bangui." *Open Journal of Pediatrics* 13.3 (2023): 408-423.
10. Rahmawati, Tri Wahyu, Siswanto Imam Santoso, and Suryani Nurfadillah. "Analisis Trend Luas Lahan dan Produksi Kopi di Indonesia." *AGROMEDIA: Berkala Ilmiah Ilmu-ilmu Pertanian* 42.2 (2024): 145-153.
11. Rustam, Reffanda Kurniawan, and Amiwarti Amiwarti. "KARAKTERISITIK KUAT GESER TANAH MERAH." *Simposium II UNIID 2017* 2.1 (2017): 394-399.
12. SIANTURI, PISON NAYOGI. "Pengaruh Pupuk Urea Dan Genotipe Terhadap Pertumbuhan Bibit Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)." (2022).
13. Sirappa, Marthen P., Religius Heryanto, and Yesika R. Silitonga. "Standardisasi pengolahan biji kopi berkualitas." *Warta BSIP Perkebunan* 2.1 (2024): 18-25.