

Analisis Termodinamika Pembakaran Pada Pencampuran Sub-bituminus Batu Bara Dengan Tempurung Kelapa

Muhammad Rosiul Amin¹, Akhmad Faruq Alhikami², Margianto³

¹²³ Universitas Islam Malang

email: mohammadroisulamin1@gmail.com
, alhikami@unisma.ac.id; margianto@unisma.ac.id

ABSTRAK

Batu bara sub-bituminus merupakan salah satu bahan bakar tidak terbarukan yang penggunaannya cukup tinggi pada industri energi dan pembangkit listrik. Tingginya penggunaan batu bara sebagai bahan bakar berbanding lurus dengan tingginya dampak negatifnya terhadap lingkungan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak negatif dari penggunaan batu bara dapat dilakukan cofiring. Cofiring merupakan metode pencampuran biomassa dengan batu bara dalam proses pembakaran di PLTU. Biomassa yang dapat digunakan untuk cofiring adalah batok kelapa. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik pembakaran campuran tempurung kelapa dan batu bara, termasuk pengurangan kadar air, peningkatan kandungan karbon tetap, serta pengaruhnya terhadap efisiensi pembakaran. Proses cofiring dilakukan dalam penacmapuran batok kelapa dan batu bara dengan variasi 0, 20 dan 40% kemudian dipanaskan dengan furnace. Analisis degradasi massa dilakukan menggunakan *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dengan pemanasan hingga 1000°C dalam atmosfer oksigen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencampuran batok kelapa ke dalam bahan bakar batubara sub-bituminous memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik pembakaran. Dari aspek degradasi massa, pencampuran ini menunjukkan adanya perubahan perilaku termal yang mencerminkan interaksi antara kedua bahan bakar

Kata kunci: *Cofiring*, Batok Kelapa, Batu Bara, *thermogravimetric analysis*, profil degradasi massa, pelarut organik

ABSTRACT

Sub-bituminous coal is a non-renewable fuel widely used in the energy and power generation sectors. The extensive use of coal as a primary fuel source is directly proportional to the magnitude of its negative environmental impacts. One approach to reducing these adverse effects is the implementation of co-firing. Co-firing is a method of blending biomass with coal during the combustion process in coal-fired power plants. One type of biomass suitable for co-firing is coconut shell. This study aims to evaluate the combustion characteristics of a coconut-shell-coal blend, including reductions in moisture content, increases in fixed carbon content, and its influence on combustion efficiency. The co-firing process was conducted by mixing coconut shell and coal at proportions of 0%, 20%, and 40%, followed by heating using a furnace. Mass-degradation analysis was carried out using Thermogravimetric Analysis (TGA) with heating up to 1000 °C under an oxygen atmosphere. The results indicate that incorporating coconut shell into sub-bituminous coal significantly influences the combustion characteristics. In terms of mass degradation, the blended fuel demonstrates changes in thermal behavior that reflect the interaction between the two fuel types.

Keyword: *Co-firing, Coconut Shell, Coal, Thermogravimetric Analysis (TGA), Mass Degradation Profile, Organic Solvents*

PENDAHULUAN

Batu bara sub-bituminus merupakan salah satu bahan bakar tidak terbarukan yang penggunaannya cukup tinggi pada industri energi dan pembangkit listrik [1]. Sebanyak 41% kontribusi batu bara sebagai bahan bakar pada industri dalam pembangkitan listrik. Tingginya penggunaan batu bara sebagai bahan bakar berbanding lurus dengan tingginya dampak negatifnya terhadap lingkungan [2]. Penggunaan batu bara sebagai bahan bakar menimbulkan permasalahan emisi gas rumah kaca (GRK) yang memengaruhi perubahan iklim [3].

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak negatif dari penggunaan batu bara dapat dilakukan *cofiring*. *Cofiring* merupakan metode pencampuran biomassa dengan batu bara dalam proses pembakaran di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) [4]. Teknologi *co-firing* memiliki potensi untuk mengurangi ketergantungan pada batu bara tanpa memerlukan modifikasi signifikan pada infrastruktur pembangkit listrik yang telah ada, sehingga menjadi solusi praktis dalam peningkatan efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon [5]. Sebagai bagian dari penerapan strategi ini di Indonesia, PT PLN (Persero) (PLN) telah mengimplementasikan teknologi *co-firing* pada beberapa PLTU (pembangkit listrik tenaga uap) dengan tujuan mengurangi ketergantungan pada batu bara dan menekan emisi karbon nasional [6]. Hingga semester 1 tahun 2023, penggunaan biomassa telah mencapai 0,4 juta ton, dengan target 1 juta ton di akhir tahun dan 10 juta ton pada 2025 [7].

Selain cangkang sawit, pallet kayu dan serbuk gergaji biomassa yang dapat dimanfaatkan untuk *cofiring* adalah batok kelapa. Tempurung kelapa merupakan salah satu limbah padat industri pengolahan kelapa dengan nilai kalor yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar seperti arang dan briket untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta dalam upaya memanfaatkan limbah biomassa berkelanjutan [8].

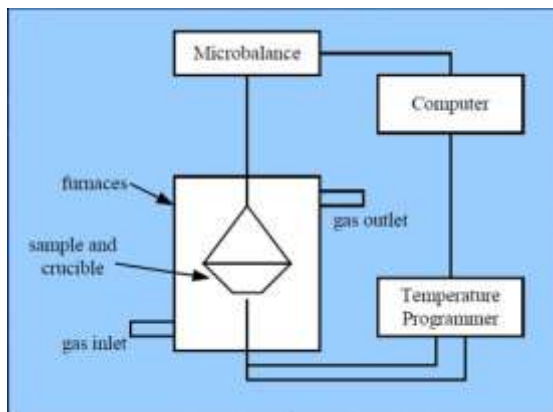
Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti ini akan melakukan penelitian mengenai *co-firing* tempurung kelapa dengan batu bara menggunakan analisis termodinamika melalui metode Thermogravimetric Analysis (TGA). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik pembakaran campuran tempurung kelapa dan batu bara, termasuk pengurangan kadar air, peningkatan kandungan karbon tetap, serta pengaruhnya terhadap efisiensi pembakaran

METODE DAN MATERIAL

Penelitian ini menggunakan biomassa tempurung kelapa dan batu bara. Tempurung kelapa dan batu bara masing-masing dihaluskan hingga mencapai ukuran 200 mesh, kemudian dicampurkan dengan variasi tempurung kelapa 0%; 20% dan 40%. Proses *cofiring* dilakukan dengan suhu maksimal 1000°C dengan *heating rate* 10°C/menit dan oksigen sebagai atmosfer reaktif. Pengujian dilakukan selama 1 jam dengan menganalisis perubahan massa bahan baku setiap detik untuk mengetahui massa yang hilang selama proses pemanasan. Data yang didapatkan

kemudian dianalisis menggunakan metode *Coats-Redfren* dan model kinetika orde pertama guna mengevaluasi pengaruh suhu terhadap kestabilan termal dan karakteristik.

INSTALASI PENELITIAN



Gambar 1. instalasi penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil studi yang dilakukan selama proses pengambilan data, dapat disajikan dalam bentuk penyajian yang sesuai dengan hasil cofiring yang dilakukan.

Profil degradasi massa

Data TGA disajikan dalam grafik yang memberikan gambaran mengenai perubahan massa suatu material akibat proses pemanasan atau pembakaran. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian kehilangan massa (weight loss) dari campuran batu bara (BB) dan batok kelapa (BK) pada berbagai rasio pencampuran. Proses pembakaran ini dilakukan menggunakan analisis Termogravimetri (TGA), yang bertujuan untuk mengamati rentang suhu pada setiap tahap degradasi termal serta membandingkan karakteristik kehilangan massa dari masing-masing material. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada komposisi 100% BB : 0% BK, terjadi

kehilangan massa sebesar 95,427%, yang berarti sebagian besar material mengalami degradasi akibat pemanasan. Sementara itu, pada campuran 80% BB : 20% BK, kehilangan massa meningkat menjadi 96,531%, yang menunjukkan bahwa pencampuran batu bara dalam jumlah kecil

dapat meningkatkan degradasi termal. Selanjutnya, pada rasio pencampuran 60% BB : 40% BK, kehilangan massa tercatat sebesar 96,01%, yang masih lebih tinggi dibandingkan campuran 100% BB : 0% BK tetapi sedikit lebih rendah dibandingkan campuran 80% BB : 20% BK. Dari data ini, dapat disimpulkan bahwa pencampuran batu bara dan batok kelapa mempengaruhi tingkat kehilangan massa selama proses pemanasan [9]. Variasi rasio pencampuran menyebabkan perubahan dalam sifat degradasi termal, yang kemungkinan dipengaruhi oleh karakteristik bahan bakar masing-masing [10].

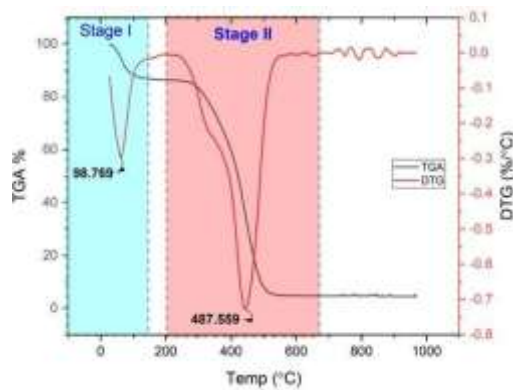
Pada gambar 2 (a) memperlihatkan profil degradasi massa dari 3 jenis material batu bara 100%, batok kelapa 20%, batok kelapa 40%, kurva TGA menunjukkan tiga tahap degradasi. Stage 1 menunjukkan pembakaran volatil. Stage 2 pembakaran inti. Gambar 2 (a) hanya memiliki 2 stage dikarenakan sisa hasil pembakarannya sedikit

Pada gambar 2 (b) memperlihatkan profil degradasi massa dari 3 jenis material batu bara 100%, batok kelapa 20%, batok kelapa 40%, kurva TGA menunjukkan tahap degradasi, Stage 1 menunjukkan pembakaran volatil, Stage 2 pembakaran inti. Gambar 2 (b) mempunyai 2 stage karena batu bara masih dominan dibandingkan dengan biomassa.

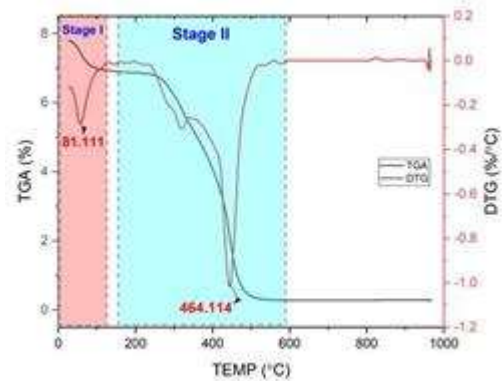
Pada gambar 2 (c) memperlihatkan Profil degradasi massa material batu bara 100%, batok kelapa 20% dan batok kelapa

40%, kurva TGA menunjukkan tahap degradasi, Stage 1 menunjukkan volatil, Stage 2 pembakaran inti. Gambar 2 (c) mempunyai 3 stage karena jumlah stage pada campuran 40% batok kelapa

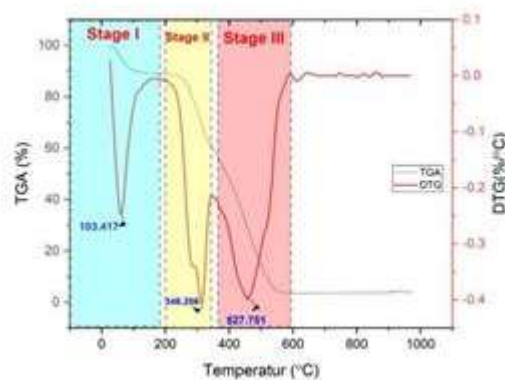
dipengaruhi oleh jumlah campuran batok kelapa yang paling banyak dari campuran yang lain



(a)



(b)



(c)

Gambar 2 profil degradasi BB:BK (a). (100%:0%) (b). (80%:20%) (c). (60%:40%)

Tabel 1 degradasi massa

Material BB:BK	Massa awal (mg)	Massa akhir (mg)	Massa yang hilang %
100%:0%	11,2	0,5	95.427
80%:20%	7,8	0,27	96.538
60%40%	10,68	0,31	96.01
Material BB:BK	Massa awal (mg)	Massa akhir (mg)	Massa yang hilang %
100%:0%	11,2	0,5	95.427
80%:20%	7,8	0,27	96.538

60%40%	10,68	0,31	96.01
---------------	-------	------	-------

Tabel 2 Thermodinamika

STAGE 1								
Material	T _p	E _a	A	K _b	h	ΔG	ΔH	ΔS
Units		kJ/mol	min ⁻¹			kJ/mol	kJ/mol	kJ/mol.k
COAL 100%	443.04	139.70	3437	1.3806	6.626	211	136.02	-0.169
BK 20%	444.29	112.97	1161	1.3806	6.626	104	109.28	-0.021
BK 40%	313.63	108.35	7320	1.3806	6.626	170	105.74	0.205
STAGE 2								
Material	T _p	E _a	A	K _b	h	ΔG	ΔH	ΔS
Units		kJ/mol	min ⁻¹			kJ/mol	kJ/mol	kJ/mol.k
COAL 100%	443.04	75.987	3437	1.3806	6.626	234	72	-0.36
BK 20%	444.29	92.872	1161	1.3806	6.626	234	109.28	-0.21
BK 40%	313.63	46.088	7320	1.3806	6.626	175	105.74	-0.22
STAGE 3								
Material	T _p	E _a	A	K _b	h	ΔG	ΔH	ΔS
Units		kJ/mol	min ⁻¹			kJ/mol	kJ/mol	kJ/mol.k
COAL 100%								
BK 20%								
BK 40%	313.63	44.074	7320	1.3806	6.626	378	415	0.011

Material	Weight loss total %	Stage I		Stage II		Stage II	
		Range T°C	Weight loss %	Range T°C	Weight loss %	Range T°C	Weight loss %
RAW	100	30,48 – 131,92	12,93	178,26 – 519,39	76,99	-	-
HTC 180	97,773	27,69 – 134,53	10,14	220,58 – 344,6	35,89	404,51 – 594,82	26,23
HTC 210	95,289	27,04 – 108,72	3,95	229,08 – 342,96	33,28	346,07 – 536,65	50,15

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis termogravimetri dan perhitungan termodinamika, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa

pencampuran batok kelapa ke dalam bahan bakar batubara sub-bituminous memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik pembakaran. Dari aspek degradasi massa, pencampuran ini menunjukkan adanya perubahan perilaku termal yang mencerminkan interaksi antara kedua bahan bakar

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur, penulis mengucapkan banyak terimakasih yang sebesar besarnya kepada Bapak Akhmad Faruq Alhikami, S.T., M.Sc., Bapak Ir. H. Margianton, M.T., dan ibu Dr. Ena Marlina, S.T., M.T. serta keluarga dan semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Samsudin, N. A. Aziz, A. A. Hairuddin, and S. U. Masuri, "Developing Sub-Bituminous Coal Sintering Ratio for Predicting Coal Ash Slagging Factors," *International Journal of Technology*, vol. 12, no. 4, pp. 791–801, Oct. 2021, doi: 10.14716/ijtech.v12i4.4892.
- [2] S. Marlinda and H. Furqan, "Dampak Pertambangan Batubara Terhadap Lingkungan di Gampong Penaga Cut Ujong, Aceh Barat," *Jurnal Pendidikan Geosfer*, 2024, doi: 10.24815/jpg.v%vi%i.33314.
- [3] A. Savanna and K. Kunci, "Pengaruh Paris Agreement terhadap Industri Batubara di Indonesia Tahun 2017-2022," 2024.
- [4] M. F. Praevia and W. Widayat, "Analisis Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Cofiring pada PLTU Batubara," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 1, pp. 28–37, Mar. 2022, doi: 10.14710/jebt.2022.13367.
- [5] Cahyadi and H. Yurismo, "Impacts of Low rank Coal Utilization in the Coal Fired Power Plant That Was Designed to Use Sub-Bituminous Coal," *Tek. Energi*, vol. 1, no. Februari, pp. 58–65, 2019.
- [6] S. Legowo, I. Bagus Fery Citarsa, and I. Ayu Sri Adnyani, "Analisis Co-Firing Jenis Bahan Bakar Biomassa Terhadap Efisiensi Boiler," 2025, doi: 10.37817/ikraith-teknologi.v10i3.
- [7] A. V. Febriani *et al.*, "Review: Analisis Potensi dan Tantangan Biomassa Sebagai Bahan Bakar pada PLTU dan PLTBm," 2024.
- [8] Y. Arbi, E. Rahmatul Aidha, L. Deflianti, K. Kunci, B. bakar, and T. kelapa, "Analisis Nilai Kalori Briket Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif di Kecamatan Sipora Utara Kabupaten Mentawai," 2018.
- [9] D. F. Umar, G. K. Hudaya, and F. Sulistyohadi, "Study on Combustion Characteristics of Coal-Biomass for Co-firing System as a Feedstock of Coal Gasification Process," 2017.
- [10] L. Fitria *et al.*, "Pemanfaatan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pembuatan Briket dengan perekat Tepung Singkong sebagai Bahan Bakar Alternatif," 2022.