

PENGARUH KADAR CAMPURAN BIOMASSA PADA CO-FIRING BATUBARA TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN DAN ENERGI AKTIVASI

Mohamad Rizki¹, Ena Marlina², Artono Raharjo³

¹Universitas Islam Malang

Email : 22001052063@unisma.ac.id

²Universitas Islam Malang

Email : ena.marlina@unisma.ac.id

³Universitas Islam Malang

Email : artonor@unisma.ac.id

Abstrak

Studi ini mengkaji dampak proporsi campuran batok kelapa sebagai campuran dalam co-firing batu bara terhadap sifat pembakaran dan energi aktivasi. *Co-firing* merupakan pembakaran campuran antara batubara dan biomassa, proses ini diterapkan untuk mengurangi dampak negatif dari pembakaran batubara murni. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rasio campuran kadar cofiring dilihat dari proses degradasi massanya. Penelitian ini menggunakan 3 campuran batok kelapa sebesar 0%, 20%, 40%. Analisis degradasi massa menggunakan metode *Thermogravimetri Analysis (TGA)* dengan waktu 60 menit dan suhu hingga 1000°C dan juga kenaikan suhu sebesar 10°C/menit. Hasil pengujian TGA mendapatkan data hasil berupa peluruhan massa total dengan bentuk persentase. menunjukkan proses pembakaran campuran batok kelapa 0% memiliki degradasi massa yang paling kecil sebesar 95,42% lebih sedikit daripada campuran 20% sebesar 96,53% dan semakin turun pada campuran batok kelapa 40%.

Kata kunci : *Co-firing*, batubara, batok kelapa, *Thermogravimetri Analysis*, biomassa

Abstract

This research investigates how the ratio of coconut shell mixture used in coal co-firing affects combustion characteristics and activation energy. Co-firing involves burning a blend of coal and biomass, and this method is utilized to mitigate the harmful effects of burning coal alone. This research seeks to identify the mixture ratio of cofiring levels observed through the process of mass degradation. This research employed three blends of coconut shells at 0%, 20%, and 40%. The mass degradation analysis employs the Thermogravimetric Analysis (TGA) technique with a duration of 60 minutes, reaching temperatures up to 1000 °C, in addition to a rate of temperature increase of 10 °C per minute. The TGA test results provide data as total mass loss represented in percentages. The combustion process indicates that the 0% coconut shell mixture experiences the least mass degradation at 95.42%, which is lower than the 20% mixture at 96.53%, and also declines in the 40% coconut shell mixture.

Keyword : *Co-firing*, coal, coconut shell, *Thermogravimetri Analysis*, biomass

Pendahuluan

Kenaikan kebutuhan energi di seluruh dunia mendorong berbagai negara, termasuk Indonesia, untuk mencari sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu alternatif yang sedang dikembangkan adalah penggunaan energi biomassa sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui. Biomassa seperti cangkang kelapa memiliki potensi besar karena melimpah di negara tropis dan dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif, terutama dalam sistem pembakaran campuran atau co-firing dengan batubara. [1]

Penggunaan batubara dan biomassa secara bersamaan merupakan langkah strategis untuk menurunkan emisi karbon serta mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil tanpa perlu melakukan perubahan besar pada infrastruktur pembangkit. Selain itu, pemanfaatan limbah pertanian seperti kulit kelapa dapat membantu mengurangi limbah organik serta memberikan nilai tambah baik secara ekonomi maupun lingkungan. [2]

Pemanfaatan TGA dalam penelitian co-firing batok kelapa dan batubara juga dapat berkontribusi dalam menetapkan parameter kinetika seperti energi aktivasi dan laju reaksi. Pengetahuan ini krusial dalam merancang sistem pembakaran yang efektif dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat degradasi termal dari kombinasi batubara dan batok kelapa dengan variasi komposisi melalui metode TGA, sehingga dapat memberikan informasi ilmiah yang bermanfaat dalam pengembangan teknologi co-firing di masa depan. [3]

Metode Dan Material

Penelitian ini menggunakan batok kelapa dan batubara sebagai bahan yang akan diuji. Batok kelapa dikeringkan dengan oven untuk mengurangi kadar airnya. batubara dan batok kelapa dikeringkan terlebih dahulu di dalam oven pada suhu 100 °C selama 8 jam untuk mengurangi kadar air yang dapat memengaruhi hasil pengujian termogravimetri. Setelah kering, kedua bahan tersebut dihaluskan dengan blender hingga lembut, lalu disaring memakai ayakan berukuran 200 mesh untuk mendapatkan fraksi partikel yang seragam dan lolos dari ayakan. Selanjutnya, campuran antara batubara dan batok kelapa disusun berdasarkan variasi komposisi massa yang telah ditentukan, yaitu 100% batubara (tanpa biomassa), 80% batubara : 20% batok kelapa, serta 60% batubara : 40% batok kelapa. Setiap komposisi ditimbang sebanyak 0,5 gram untuk selanjutnya digunakan dalam pengujian Analisis Termogravimetri (TGA). Sampel yang sudah ditimbang langsung diuji tanpa perlakuan tambahan, untuk menganalisis sifat degradasi termal dari setiap komposisi campuran.

Analisis Termogravimetric (TGA) dilakukan untuk meneliti sifat degradasi termal dari campuran batubara dan serabut kelapa dalam keadaan pemanasan yang teratur. Sebanyak 0,5 gram contoh dimasukkan ke dalam wadah keramik, lalu ditempatkan di ruang analisis alat TGA. Pemanasan dilakukan dari suhu ruangan sampai mencapai suhu maksimal 1000 °C dengan laju pemanasan konstan sebesar 10 °C per menit. Pengujian dilaksanakan selama total waktu 1 jam, dengan atmosfer gas inert berupa oksigen. Selama proses berlangsung, sistem timbangan sensitif yang terintegrasi dengan alat TGA memantau perubahan massa

sampel secara *real-time* dan mencatatnya setiap detik.

Untuk mengetahui nilai energi aktivasi digunakan persamaan coats redfern sebagai berikut

$$\ln\left(\frac{g(\alpha)}{T^2}\right) = \ln\left(\frac{\beta E}{AR}\right) - \frac{E_a}{RT} \quad [4]$$

Untuk $g(\alpha)$ merupakan sebuah persamaan yang menunjukkan reaksi pembakaran

Analisis ini menggunakan pendekatan model kinetik non-isothermal dengan persamaan $g(\alpha)$ yang mepresentasikan mekanisme reaksi termal. Nilai energi aktivasi dihitung dari grafik plot data TGA menggunakan persamaan $g(\alpha)/T^2$ vs $1/T$. Untuk menentukan nilai energi aktivasi dibutuhkan 2 persamaan linier yaitu. a adalah slope dan b adalah intercept. Asumsikan $\ln\left(\frac{g(\alpha)}{T^2}\right)$ sebagai y, $\ln\left(\frac{\beta E}{AR}\right)$ sebagai b, $-\frac{E}{R}$ Sebagai a, $\frac{1}{T}$ sebagai x..

C	$g(\alpha) = k(t' - t_0) = kt$
R2	$1 - (1-\alpha)^{1/2}$
R3	$1 - (1-\alpha)^{1/3}$
D1	α^2
D2	$(1-\alpha)\ln(1-\alpha) + \alpha$
D3	$[1 - (1-\alpha)^{1/3}]^2$
D4	$1 - (2\alpha/3) - (1-\alpha)^{2/3}$
F1	$-\ln(1-\alpha)$
F2	$[1/(1-\alpha)] - 1$
F3	$[1/(1-\alpha)^2] - 1$

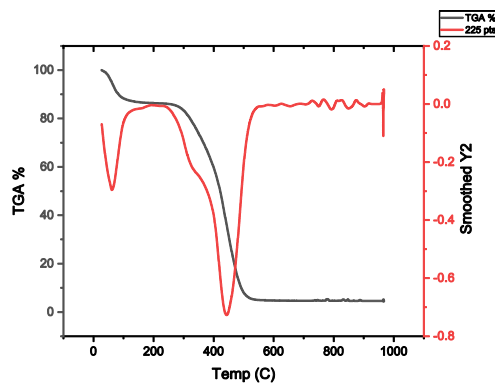
tabel model kinetic [5]

analisis TGA dilakukan pada bahan baku batok kelapa dan batubaradengan variasi campuran batok kelapa sebesar variasi 0%, 20% dan 40%, dengan analisis TGA dilakukan pada suhu maksimum 1000°C dengan laju pemanasan 10°C/menit. Analisis mencakup pengukuran karakteristik produk cofiring yang dihasilkan, termasuk nilai laju kehilangan massa selama waktu 1 jam dan data tercatat setiap detik, Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan metode Coats-Redfern dan model kinetika orde pertama untuk mengevaluasi pengaruh suhu terhadap karakteristik thermal dan stabilitas produk cofiring. Data yang disajikan merupakan hasil penurunan massa. Dalam profil degadasi massa merupakan hasil dari data pengujian yang diolah dengan *software Origin* yang menyajikan grafik TGA dan DTG. DTG menunjukkan penurunan massa yang signifikan ditunjukkan dengan penurunan signifikan atau biasa disebut Stage pada grafik DTG yang berwarna merah. Stage 1 menunjukkan reaksi awal pembakaran, dstage 2 menunjukkan reaksi puncak pembakaran dan stage 3 menunjukkan sisa pembakaran Grafik DTG batubara umumnya memiliki 2 stage, dan pada biomassa memiliki 3 stage. Jumlah stage dipengaruhi oleh kandungan selulosa dan hemi selulosa yang mudah terbakar.

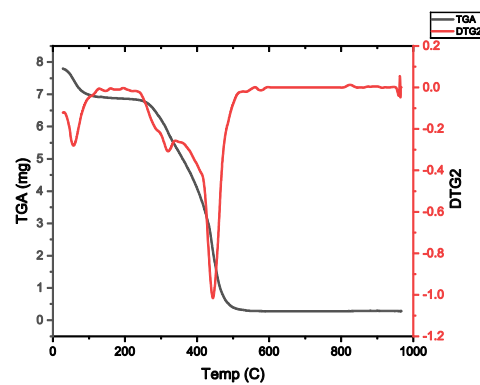
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil penelitian

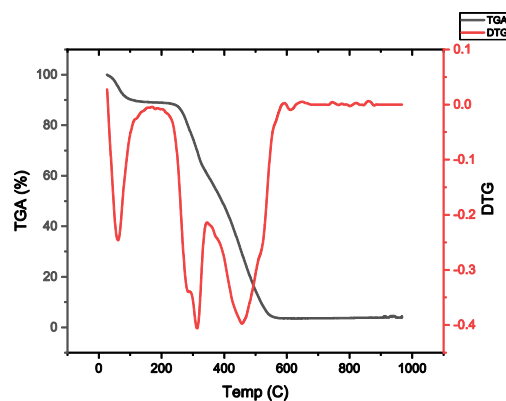
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan selama pengambilan data, informasi dapat disajikan dalam bentuk yang sesuai dengan hasil produksi yang dicapai. Selanjutnya,



Grafik TGA dan DTG campuran 100% : 0%



Grafik TGA dan DTG campuran 80% : 20%



Grafik TGA dan DTG campuran 60% : 0%

Energi Aktivasi

Energi aktivasi adalah jumlah minimum energi yang diperlukan untuk memulai suatu reaksi kimia. Energi aktivasi dapat dipahami sebagai "penghalang" yang harus dilalui oleh molekul-molekul reaktan agar dapat berinteraksi dan membentuk produk. Tanpa energi yang cukup, molekul-molekul tersebut tidak akan dapat bertumbukan dengan cara yang efektif untuk memutuskan ikatan lama dan membentuk ikatan baru. Energi ini sering kali divisualisasikan dalam grafik energi potensial, di mana perbedaan energi antara reaktan dan produk serta batas energi yang harus dilampaui ditunjukkan.

Pada batubara tanpa campuran menunjukkan bahwa penambahan batok

kelapa menurunkan energi aktivasi pembakaran. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan biomassa ini mempermudah reaksi pembakaran. Efek ini terkait dengan perubahan rasio hidrogen terhadap karbon. Rasio hidrogen yang lebih tinggi mempercepat inisiasi pembakaran, karena hidrogen mempercepat pembakaran, sementara karbon menstabilkannya.

Energi aktivasi yang lebih tinggi pada tahap 2 mengindikasikan stabilitas pembakaran yang lebih baik. Penambahan batok kelapa hingga 20% meningkatkan energi aktivasi, menunjukkan peningkatan stabilitas pembakaran. Akan tetapi, penambahan batok kelapa yang lebih besar 40% dapat mengurangi stabilitas termal. Stabilitas termal juga dipengaruhi oleh rasio

hidrogen terhadap karbon (H/C). Peningkatan rasio H/C hingga 20% dapat meningkatkan stabilitas termal, namun rasio yang terlalu tinggi dapat berdampak negatif

menghasilkan sisa pembakaran yang tidak dimiliki campuran lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa pembakaran batok kelapa dengan kadar yang tinggi dapat menghambat selesainya pembakaran.

Analisis pada Stage 3 menunjukkan bahwa campuran batok kelapa

MATERIAL	STAGE 1				STAGE 2				STAGE 3			
BB:BK	G	EA	A	R ²	G	EA	A	R ²		EA	A	R ²
100%:0%	D2	77,04367	8.46E+07	0.795	D2	75,987471	1,8×10 ⁶	0.9912	-	-	-	-
80%:20%	D3	76,77858	69463118	0.7701	D3	92,87256	1,93E+05	0.9736	-	-	-	-
60%:40%	D3	74,2457	31445315	0.8263	D1	46,088091	180.4647	0.9263	D1	44,074578	14.426.474	0.978

Kesimpulan

Campuran Batok kelapa berpengaruh menurunkan nilai Energi Aktivasi stage 1. Penambahan biomassa dalam kadar lebih sedikit akan meningkatkan energi aktivasi, namun penambahan batubara dengan jumlah berlebihan akan mengurangi nilai energi aktivasinya, hal ini disebabkan oleh kandungan volatile pada material yang memiliki campuran batok kelapa yang lebih sedikit lebih tinggi dari pada campuran batubara yang lebih rendah yang menyebabkan

campuran batok kelapa lebih sedikit lebih cepat terbakar. Pada stage 2 selaku pembakaran utama campuran batok kelapa yang lebih sedikit memiliki energi aktivasi yang tinggi. Bisa disimpulkan bahwa penambahan kadar batok kelapa yang lebih tinggi dapat mempercepat awal pembakaran. Namun penambahan batok kelapa dengan kadar lebih sedikit dapat meningkatkan energi aktivasi

Daftar Pustaka

- [1] Suganal, Suganal, and Gandhi Kurnia Hudaya. "Bahan bakar co-firing dari batubara dan biomassa tertorefaksi dalam bentuk briket (Skala laboratorium)." *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* 15.1 (2019): 31-48.
- [2] Werther, J., Saenger, M., Hartge, E. U., Ogada, T., & Siagi, Z. (2000). Combustion of agricultural residues. *Progress in energy and combustion science*, 26(1), 1-27.
- [3] Monir, Minhaj Uddin, et al. "Comprehensive characterization and kinetic analysis of coconut shell thermal degradation: Energy potential evaluated via the Coats-Redfern method." *Case Studies in Thermal Engineering* 55 (2024): 104186.
- [4] Liao, X., et al. (2021). A thermogravimetric assessment of the tri-combustion process for coal, biomass and polyethylene. *Fuel*, 287, 119355.
- [5] Carter, Ro E. "Kinetic model for solid-state reactions." *The Journal of Chemical Physics* 34.6 (1961): 2010-2015.
- [6] Chaeruni, W., et al. (2024). Karakteristik pembakaran campuran batubara dan TKKS menggunakan analisis TG-DTA. *G-Tech Jurnal Teknologi Terapan*, 8(3), 1629-1638.
- [7] Ganrika, T. M., et al. (2019). Pengaruh penambahan arang tempurung kelapa terhadap pembakaran briket biobatubara.