

EFEK KATALITIK *ZINC-OXIDE (ZNO)* TERHADAP KINETIKA REAKSI  
PEMBAKARAN MATERIAL SAMPAH PADAT  
(THE CATALYTIC EFFECT OF *ZINC-OXIDE (ZNO)* ON THE KINETICS OF  
COMBUSTION REACTIONS OF SOLID WASTE MATERIALS)

Citrakara Upendra Sneha Bandhana Kusuma Himawan<sup>(1)</sup>, Alfian Hudan Laksana<sup>(2)</sup>,  
Hadi Rahmad<sup>(3)</sup>

<sup>(1,2)</sup> Teknik Mesin, Universitas Pawyatan Daha

<sup>(3)</sup> Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

Email: Upendra@updkediri.ac.id

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek katalitik *ZnO* terhadap kinetika reaksi dekomposisi pembakaran sampah padat. Katalis *ZnO* dipilih karena memiliki mobilitas dan reaktivitas yang tinggi. sampel di persiapkan dan dipilih secara acak yang terdiri dari 12 jenis sampah anorganik dan 10 jenis sampah organik. Instrumen penelitian menggunakan (DTA) *Differential Thermal Analysis* pengujian proximate. Dari pengujian tersebut data berupa grafik penurunan massa akan dianalisis deskriptif. Deskripsi data ditampilkan melalui kurva TG-DTG dan perhitungan energi aktivasi (*Ea*) menggunakan model *fitting*. kurva DTG mengidentifikasi adanya tiga puncak yang menunjukkan tahap dekomposisi dari tiga komponen memiliki perbedaan karakteristik. Komponen terdekomposisi tersebut adalah 1. lignoselulosa organik dan komponen organik stabilitas rendah, 2. Zat mudah menguap dari komponen plastik, 3. residu hidrokarbon dan pembentukan kembali abu. Temperatur *pembakaran* meningkat pada sampel dengan konsentrasi katalis tinggi, Namun temperature burnout menurun pada sampel dengan konsentrasi katalis tinggi. Kurva DTA menunjukkan peningkatan reaktivitas dari sampel dengan konsentrasi katalis tinggi. Reaksi oksidatif yang bersifat eksotermik/ pemanasan luar meningkat pada sampel dengan konsentrasi katalis tinggi. Efek katalitik pada penambahan konsentrasi katalis *zinc-oxide (ZnO)* terhadap komponen menunjukkan adanya penurunan komponen hidrokarbon dan peningkatan komponen hidrokarbon rantai pendek. Peningkatan konsentrasi katalis *zinc-oxide (ZnO)* pada sampel meningkatkan energi aktivasi. Namun secara keseluruhan penambahan konsentrasi katalis pada pembakaran sampel sampah padat organik-anorganik mampu menurunkan energi aktivasi di akhir reaksi pembakaran

Kata Kunci: Dekomposisi pembakaran, sampah padat *combustible*, variasi massa katalis, energi aktivasi

### ABSTRACT

*This study aims to determine the catalytic effect of ZnO on the kinetics of the decomposition reaction of burning solid waste. ZnO catalyst was chosen because it has high mobility and reactivity. samples were prepared and randomly selected consisting of 12 types of inorganic waste and 10 types of organic waste. The research instrument uses (DTA) Differential Thermal Analysis proximate testing. From this test the data in the form of a mass decrease graph will be analyzed descriptively. The description of the data is displayed through the TG-DTG curve and the calculation of the activation*

*energy ( $E_a$ ) using the fitting model. the DTG curve identifies three peaks indicating the decomposition stages of the three components have different characteristics. The decomposed components are 1. lignocellulosic organic and low stability organic components, 2. Volatile substances from plastic components, 3. hydrocarbon residues and ash reformation. The combustion temperature increases in samples with high catalyst concentrations, but the burnout temperature decreases in samples with high catalyst concentrations. The DTA curve shows the increased reactivity of samples with high catalyst concentrations. Oxidative reactions which are exothermic/external heating increase in samples with high catalyst concentrations. The catalytic effect on the addition of zinc-oxide (ZnO) catalyst concentration to the components showed a decrease in the hydrocarbon component and an increase in the short chain hydrocarbon component. Increasing the concentration of zinc-oxide (ZnO) catalyst in the sample increases the activation energy. However, overall the addition of catalyst concentration in the combustion of organic-inorganic solid waste samples was able to reduce the activation energy at the end of the combustion reaction*

*Keywords: Combustion decomposition, combustible solid waste, catalyst mass variation, activation energy.*

## PENDAHULUAN

Indonesia dengan produktivitas sampah sebesar 175.000 ton setiap harinya atau rata-rata setiap orang menghasilkan 700 g sampah setiap harinya [1]. meningkatnya produktivitas jumlah sampah dapat memicu berbagai permasalahan serius terhadap lingkungan dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi, sehingga memerlukan penanganan yang sesuai untuk pengurangan volume sampah. Model pengelolaan sampah berbasis ( $WtE$ ) atau energi dari limbah menjadi salah satu solusi pengendalian volume sampah dengan memanfaatkan potensi yang terkandung didalam sampah yang berupa energi.

Pelepasan energi yang tersedia dalam sampah padat dapat dilakukan menggunakan 2 cara, melalui *biological treatment* atau *thermal treatment* [2]. *thermal treatment* atau perlakuan panas dianggap lebih efisien karena dalam

pengelolaannya tidak hanya terbatas pada komponen *biodegradable* namun juga pada komponen sampah *non-biodegradable* dimana memiliki sifat mampu bakar, sehingga lebih efektif dalam mengurangi volume sampah karena lebih banyak jenis sampah yang pasti dapat dikelola [3].

Perlakuan panas/pembakaran terhadap sampah padat dapat ditingkatkan dengan reaksi katalitik. Penambahan penggunaan katalis dalam reaksi pembakaran diharapkan dapat mempercepat proses laju reaksi pembakaran dan menurunkan ( $E_a$ ) energi aktivasi saat proses pembakaran, sehingga laju reaksi dapat terjadi pada temperatur yang lebih rendah [4]. Efektivitas katalis pada reaksi pembakaran katalitik dipengaruhi oleh jenis katalis dan jumlah katalis [5]. Mekanisme pembakaran yang ditunjukkan oleh suatu katalis berbeda pada suatu reaksi [6]. Oleh karena itu, pemilihan jenis katalis yang tepat memiliki peran

penting dalam menentukan mekanisme dan hasil produk katalitik dari suatu reaksi. *ZnO* (*Zinc-Oxide*) dipilih dalam penelitian ini sebagai katalis pada reaksi pembakaran sampah padat karena memiliki kestabilan termal yang baik [7]. Variasi rasio massa pada sampel sampah padat saat pembakaran ditentukan sebagai variabel bebas untuk mengetahui aktivitas dan efektivitas katalis *ZnO* pada proses pembakaran sampah padat. Parameter aktivitas katalitik *ZnO* pada reaksi pembakaran sampah padat diamati melalui perubahan karakteristik kinetika dekomposisi pembakaran sampel menggunakan Pengujian dan analisa termogravimetri

MATERIAL DAN METODOLOGI

Material

Sample yang digunakan adalah sampah padat organik-anorganik yang diambil secara random di Tempat Penampungan Sampah (TPA). **Sampah organik:** Daun, Tempurung Kelapa, Serabut Kelapa, Sekam Kayu, Jerami, Kulit Pisang. **Sampah anorganik:** Karet Sintetis, Sterofoam, Bungkus rokok, Botol Plastik, Plastik Kemasan, Gabus Pelindung TV, Karton Kemasan Minuman, Spons Sintetis, Karung Beras.

Untuk mengurangi kandungan air dan menyamakan ukuran partikel, material sampah padat di buat menjadi (RdF) *refuse derive fuel*. Dimana material sampah padat dihancurkan, kemudian di panaskan sampai kering untuk mengurangi kandungan air dalam material dan difiltrasi/disaring hingga sesuai ukuran

diameter partikel kurang dari 2 mm. Proses berikutnya setelah reduksi ukuran sampel dan pengeringan adalah pencampuran material sampel dengan rasio masing-masing sampel 1:1. Material sampel yang telah berpadu kemudian di tambahkan dengan berbagai rasio massa katalis untuk kemudian dianalisis termogravimetri menggunakan (DTA) *differential thermal analysis*.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah kurva *Themogravimetric* (TG) dan *Derivative Themogravimetric* (DTG) yang diperoleh melalui analisa termogravimetri menggunakan *differential thermal Analysis* dengan kondisi sampel uji sebagai berikut,

Tabel 1. Kondisi pengujian

Kondisi TGA	1	2	3	4	5
	(3%)	(6%)	(9%)	(12%)	(15%)
Massa MSW	10 mg				
Massa ZnO	0.3 mg	0.6 mg	0.9 mg	1.2 mg	1.5 mg
Total Massa Spesimen	10.3 mg	10.6 mg	10.9 mg	11.2 mg	11.5 mg
Kecepatan Alir	100 mL/min				
Laju Pemanasan	10°C/min				
Rentang Temperatur	Temperatur Ruang-1000°C				

Analisis Termogravimetri (DTA)

Analisis karakteristik dekomposisi campuran sampah padat menggunakan (DTA) *Differential Thermal Analysis* pada berbagai variasi rasio masa katalis (3, 6, 12, 15 %wt). Sampel dipanaskan secara berkelanjutan dari temperatur ruangan

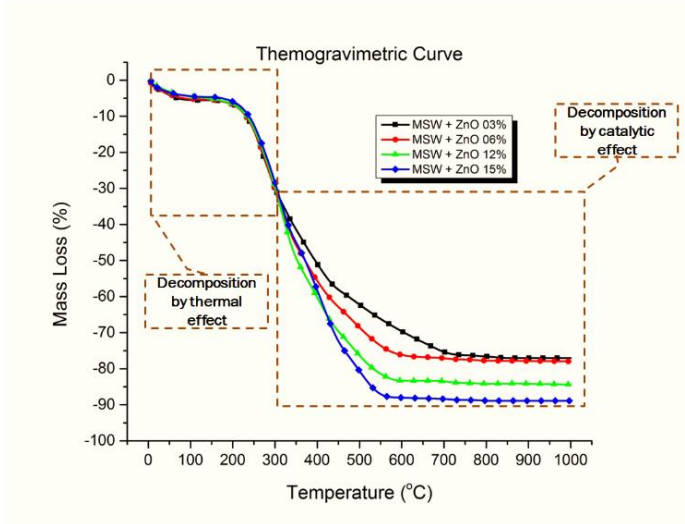
sampai temperatur 1000 °C pada *Heating rate*/laju pemanasan konstan 10 °C/menit dalam udara atmosfer.

Kurva *thermogravimetric* (TG) menunjukkan plot penurunan massa (*mass loss*) sampel terhadap temperatur dan waktu. Kurva *derivative thermogravimetric* (DTG) menunjukkan turunan pertama dari kurva *thermogravimetric* (TG) berupa plot laju penurunan massa (*mass loss rate*) sampel terhadap temperatur dan waktu. Kurva *Differential thermal Analysis* (DTA) menunjukkan plot yang menjelaskan perbedaan temperatur antara material sampel dengan material pembanding/referensi [8].

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisa Termogravimetri Sampah Padat pada Berbagai Konsentrasi Katalis Zinc-Oxide**

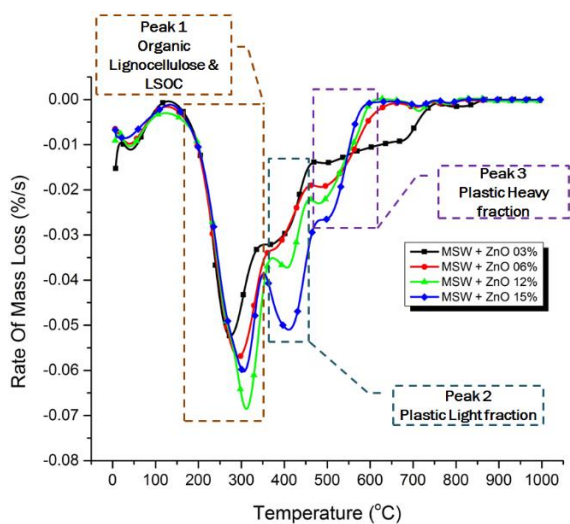
Karakteristik kinetika dekomposisi pembakaran memiliki peran penting untuk memahami proses pembakaran material hingga dapat digunakan sebagai bahan bakar di reaktor pembakaran. Penambahan katalis ZnO dalam proses pembakaran sampah padat memberikan pengaruh katalitik yang mengakibatkan karakteristik dekomposisi dari material ketika dilakukan perlakuan panas secara berkelanjutan dengan *heating rate* konstan 10 °C/min.



**Gambar 1.** Kurva *thermogravimetric* (TG *curve*) pembakaran sampel pada berbagai variasi rasio massa katalis *zinc-oxide*.

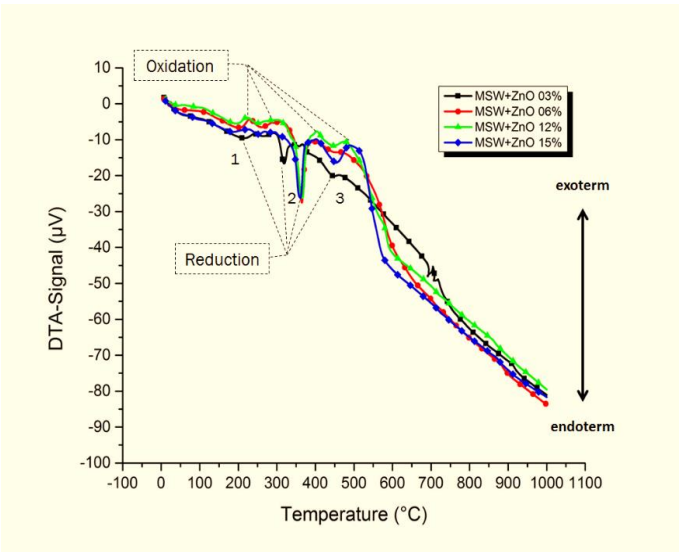
Kurva TG menunjukkan penurunan massa sampel berdasarkan fungsi temperatur dalam atmosfer [9]. Kurva TG pada Gambar 1. menunjukkan aktivitas katalitik ZnO (*zinc-oxide*) pada proses pembakaran sampel sampah padat mulai efektif pada rentang temperatur 300 °C [10]. Pada saat konsentrasi katalis ZnO yang lebih tinggi terjadi peningkatan kehilangan massa (*Mass Loss*) akibat pemanasan/degradasi termal. Hal ini menunjukkan lebih banyak reaktan pada sampel yang diubah menjadi produk melalui reaksi pembakaran katalitik, sehingga menyisakan lebih sedikit komponen yang tidak terbakar abu (*ash*). Hal tersebut menjelaskan bahwa penambahan katalis dalam reaksi pembakaran sampah padat akan meningkatkan reaktivitas dan kemudahan sampel sampah padat untuk terbakar habis dalam proses pembakaran. Fenomena ini menunjukkan adanya aktivitas katalis untuk mengintensifkan oksigen ke permukaan partikel komponen sampel sampah padat sehingga menyebabkan

terjadinya lebih banyak reaksi kombinasi antara reaktan dan oksidator [6].



**Gambar 2.** Kurva DTG sampel sampah padat organik-anorganik pada berbagai variasi rasio massa katalis *ZnO*

Kurva DTG menunjukkan zona reaksi dimana berbagai tahapan reaksi terjadi pada seluruh rentang temperature [9]. Kurva DTG pada gambar 2 menjelaskan bahwa degradasi termal dari 4 sampel sampah padat terjadi dalam 3 tahap, *dehydration* (Kehilangan kadar air), *devolatilization*, dan Dekomposisi termal sisa pembakaran berupa abu (ash). Pada kurva DTG, *peak* (puncak) pertama adalah dekomposisi sejumlah besar komponen *organic lignocellulose* dan *low stability organic component (LSOC)*, *peak* (Puncak) kedua adalah dekomposisi sejumlah besar komponen *volatile* (Zat yang mudah menguap) dari plastik dan *peak* (puncak) ketiga merupakan dekomposisi residu karbon dari plastik dan pembentukan residu berupa abu (ash).



**Gambar 3.** Kurva DTA pembakaran sampel sampah padat

Hasil pengujian DTA diperoleh dengan mengukur perbedaan temperatur antara sampel dan material referensi sebagai fungsi temperatur sedangkan sampel dan material referensi mendapat temperatur terkontrol yang sama. Pada material sampel dengan konsentrasi katalis 3 %wt keseluruhan reaksi kehilangan massa berlangsung sangat lambat dan reaksi berlangsung endotermik. Namun pada sampel dengan konsentrasi katalis 6 dan 12 % wt, menunjukkan sifat energik yang ditimbulkan dari reaksi dekomposisi, hal ini menjelaskan terbentuknya gas mudah terbakar dan aliran oksigen yang relatif baik ke permukaan partikel sebagai pengaruh penambahan katalis. Pada temperatur diantara 160-300 °C diperkirakan sejumlah besar produk gas pembakaran volatile (zat mudah menguap) dilepaskan sebagai akibat proses reaksi oksidasi. Energi yang dilepaskan oleh reaksi tersebut memicu dekomposisi lebih lanjut yang ditunjukkan oleh kenaikan laju kehilangan massa (*mass loss rate*) [11].

Sedangkan pada temperatur 250-550 °C efek luar sebagai akibat pemecahan ikatan hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek sehingga hidrokarbon dengan massa molekul lebih rendah dan lebih mudah mengalami reaksi kombinasi dengan ketersediaan oksigen yang cukup sebagai oksidator [5]. Namun, pada sampel dengan konsentrasi katalis 15 %wt, proses dekomposisi awal dibawah 200 °C menunjukkan sifat energik endotermik yang menunjukkan ketiadaan aktivitas katalitik pada reaksi tersebut. Efek katalitik pada sampel dengan konsentrasi katalis 15 %wt mulai ditunjukan pada rentang temperatur diatas 200 °C.

## KESIMPULAN

Kurva TG yang menjelaskan bagaimana peningkatan kehilangan massa (mass loss) pada konsentrasi katalis ZnO (*zinc-oxide*) yang relatif lebih tinggi. Sehingga komponen tidak terbakar. Residu abu (*ash*) berkurang secara signifikan pada peningkatan rasio massa katalis berurutan 22.95, 22.09, 15.83, 11.13 % dengan konsentrasi 03, 06, 12, 15%wt dan aktivitas katalitik ZnO (*Zinc-Oxide*) tampak efektif pada temperatur diatas 300°C. Analisa kurva DTG mengidentifikasi terjadinya 3 puncak (*peak*) DTG yang menunjukkan dekomposisi dari 3 komponen yang berbeda karakteristik yaitu organik lignoselulosa dan *low stability organic component (LSOC)*, volatile (zat mudah menguap) dari komponen plastik, dan residu karbon.temperatur burnout terjadi

penurunan pada sampel dengan konsentrasi katalis tinggi, sehingga untuk membakar habis komponen mampu bakar yang tersedia pada sampel membutuhkan temperatur yang lebih rendah. Kurva DTA menunjukkan peningkatan reaktivitas dari sampel dengan konsentrasi katalis tinggi. Reaksi oksidatif yang bersifat eksotermik meningkat pada sampel dengan konsentrasi tinggi katalis.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chandrappa, R. & Das, D.B., 2020. Waste Quantities and Characteristics. In pp. 47–63. Available at: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-28681-0\\_2](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-28681-0_2) [Accessed December 6, 2020].
- [2] Tan, S.T. et al., “Energy , economic and environmental ( 3E ) analysis of waste-to-energy ( WTE ) strategies for municipal solid waste ( MSW ) management in Malaysia”, Energy Conversion And Management, 2015
- [3] Suksankraisorn, K., Patumsawad, S. & Vallikul, P., “Co-combustion of municipal solid waste and Thai lignite in a fluidized bed”, 45, pp.947–962, 2014
- [4] Wisniak, J., “The History of Catalysis. From the Beginning to Nobel Prizes”Educ. quim., 21(1), pp.60–69, 2010
- [5] Boxiong, S., “Study on MSW catalytic combustion by TGA”, 47, pp.1429–1437, 2006
- [6] Zhaosheng, Y., Xiaoqian, M. & Ao, L, “Thermogravimetric analysis of rice and wheat straw catalytic combustion in air- and oxygen-

- enriched atmospheres”, *Energy Conversion and Management*, 50(3), pp.561–566, 2009
- [7] Septiani, U. et al., “Pembuatan dan karakterisasikatalis ZnO/Karbon Aktif dengan metode solid state dan uji aktivitas katalitiknya pada degradasi Rhodamin B”, *jurnal riset kimia*, 2014
- [8] Gabbott, P., *Principles and Applications of Thermal Analysis*, Balckwell Publishing Ltd, 2008
- [9] Alias, N.B. et al., “Investigation of oil palm wastes ’ pyrolysis by thermogravimetric analyzer for potential biofuel production”, *Energy Procedia*, 75, pp.78–83, 2015
- [10] Nokkosma, M.I., Kuoppala, E.T. & Leppa, E.A., “Catalytic conversion of biomass pyrolysis vapours with zinc oxide”, 55, pp.119–131, 2000
- [11] .Sukarni et al., “Thermogravimetric kinetic analysis of Nannochloropsis oculata combustion in air atmosphere. “, 9(2), pp.125–126, 2015

