

PENGARUH PENAMBAHAN NANOKATALIS $MnFe_2O_4$ TERHADAP PROSES PIROLISIS SAMPAH PLASTIK HDPE

Rita Fajar Wati¹, I.N.G. Wardana¹, Winarto¹, Sukarni², Poppy Puspitasari²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang

Telp: (0341) 551611

E-mail: ritafadjar15@gmail.com

Abstract

The effects of $MnFe_2O_4$ nanocatalyst addition toward HDPE plastic waste pyrolysis have been investigated by performing experiments on METTLER TOLEDO TGA DSC1 Simultaneous Thermal Analyzer at heating rates of $10^\circ C/min$ by nitrogen and temperatures range from room temperature to $1000^\circ C$. The results of pyrolysis showed that the main polymer components of HDPE plastic waste, both, with and without $MnFe_2O_4$ nanocatalyst addition degraded in one stage. The $MnFe_2O_4$ nanocatalyst addition increases the maximum mass loss rate of HDPE plastic waste pyrolysis, however, it increase the degradation of the initial temperature.

Keywords: $MnFe_2O_4$ nanocatalyst, HDPE, pyrolysis, heating rate

PENDAHULUAN

Saat ini, permasalahan global yang dialami oleh banyak negara termasuk Indonesia yaitu sampah. Indonesia merupakan negara urutan ke 2 dunia sebagai penghasil sampah plastik ke laut yaitu sebesar 187,2 juta ton setelah Cina yang mencapai 262,9 juta ton [5]. Sampah plastik ada banyak macam, termasuk salah satunya sampah plastik HDPE. Sharuddin et al. (2016) menyatakan bahwa HDPE merupakan salah satu jenis plastik polyethylene yang memiliki rantai polimer panjang dengan sedikit cabang, sehingga memiliki sifat yang kuat [7]. Lebih dari itu, berbagai variasi aplikasi HDPE berkontribusi sebesar 17,6% pada kategori sampah plastik dan merupakan jenis sampah plastik paling banyak urutan ke 3 dalam sampah padat perkotaan [7]. Sehingga sampah plastik HDPE memerlukan metode khusus dalam pengolahannya.

Disisi lain, penipisan cadangan bahan bakar fosil dunia juga menjadi isu global saat ini. Dimana, data dari British Petroleum (2017) menyatakan bahwa cadangan minyak mentah dunia hanya tinggal 1707 milyar barel, gas alam hanya tinggal 187 triliun m^3 dan batubara hanya tinggal 1139 milyar ton [3]. Hal ini tentu sangat mengkhawatirkan, mengingat bahan bakar fosil merupakan sumber energi utama yang digunakan manusia di seluruh dunia saat ini. Oleh sebab itu, sangat diperlukan solusi

yang tepat untuk menyelesaikan ke dua permasalahan tersebut.

Solusi yang tepat untuk menyelesaikan kedua masalah tersebut yaitu dengan mengubah sampah plastik HDPE menjadi sumber energi. Dan cara yang paling tepat untuk mengubah sampah plastik HDPE untuk menjadi sumber energi yaitu dengan pirolisis. Pirolisis adalah proses termokimia yang terjadi pada kondisi tanpa oksigen yang menghasilkan produk berupa char, minyak dan gas [6].

Proses pirolisis membutuhkan energi yang besar selama prosesnya. Salah satu cara untuk menghemat energi pada proses pirolisis adalah katalis, karena katalis bisa mempercepat reaksi kimia [4]. Sehingga, semakin cepat reaksi terjadi dalam suatu proses, maka semakin sedikit energi yang dibutuhkan dalam proses tersebut. Salah satu katalis yang memiliki banyak kelebihan yaitu nanokatalis $MnFe_2O_4$. $MnFe_2O_4$ adalah material komposit spinel dengan struktur lattice kubus dan face centered. Katalis $MnFe_2O_4$ berfungsi efektif untuk menyerap merkuri dalam kontrol emisi di pembangkit listrik tenaga batu bara [9] dan juga memiliki performa katalitik yang baik untuk dekomposisi termal Ammonium Perchlorate, dimana kinerja katalitik ini lebih baik daripada nanometal Ni, nano alloy NiB dan nano metal oxide Fe_2O_3 [1]. Sehingga, dengan penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ diharapkan dapat

mempercepat laju reaksi pada proses pirolisis sampah plastik HDPE.

METODOLOGI PENELITIAN

Material

Material yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini adalah serbuk sampah plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) yaitu bekas jirigen oli dengan ukuran sampel 60 mesh. Sedangkan katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah nanokatalis $MnFe_2O_4$ dengan ukuran 60,093 nm. Pemilihan $MnFe_2O_4$ sebagai nanokatalis karena $MnFe_2O_4$ memiliki anisotropik magnetik yang rendah pada suhu kamar, dimana pada suhu kamar, energi thermalnya akan menghalangi kembalinya energi anisotropik untuk berada pada statenya yang terendah.

Metode penelitian

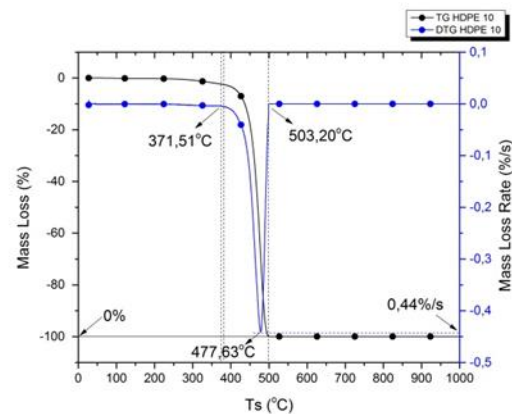
Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan sampel sampah plastik HDPE (jirigen oli), kemudian sampel tersebut dicuci, dikeringkan dan dihancurkan hingga berbentuk serbuk kemudian disaring dan diambil ukuran 60mesh. Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap sampel yaitu uji Termogravimetri (TG) menggunakan alat METTLER TOLEDE TGA DSC1 *Simultaneous Thermal Analyzer* untuk mendapatkan data pola dekomposisi pirolisis sampah plastik HDPE tanpa dan dengan penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ sehingga bisa diketahui pengaruh penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ terhadap proses pirolisis sampah plastik HDPE. Pirolisis pada masing-masing sampel dilakukan pada *heating rate* $10^\circ\text{C}/\text{min}$ dengan range temperatur dari temperatur ruangan sampai 1000°C dan menggunakan nitrogen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola dekomposisi pirolisis sampah plastik HDPE dengan *heating rate* $10^\circ\text{C}/\text{min}$

Pola dekomposisi pirolisis sampah plastik HDPE dengan *heating rate* $10^\circ\text{C}/\text{min}$ telah didapatkan dari hasil uji TG dan ditampilkan pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 diketahui bahwa degradasi termal utama sampah plastik HDPE dengan *heating rate* $10^\circ\text{C}/\text{menit}$ terjadi pada rentang temperatur $371,51^\circ\text{C}$ – $508,20^\circ\text{C}$ ditandai dengan adanya penyusutan masa yang sangat signifikan pada grafik TG. Hal ini berkaitan dengan degradasi

komponen utama polimer yaitu rantai hidrokarbon yang terlepas dan menjadi volatil. Hal ini serupa dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sorum et al. (2001) yang menyatakan bahwa degradasi termal HDPE terjadi pada 350 – 500°C yang berkaitan dengan degradasi hidrokarbon [8].



Gambar 1. Pola dekomposisi pirolisis sampah plastik HDPE dengan *heating rate* $10^\circ\text{C}/\text{min}$

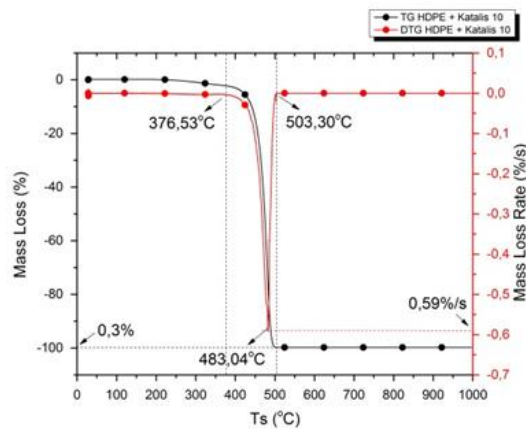
Di bawah temperatur $371,51^\circ\text{C}$ adalah terjadinya penguapan air dan pemutusan awal ikatan antar molekul polimer HDPE yang menghasilkan radikal. Kemudian mulai pada temperatur $371,51^\circ\text{C}$ terjadi pemutusan ikatan antar molekul polimer HDPE dalam jumlah yang sangat besar akibat peningkatan temperatur dan juga dibantu oleh radikal yang dihasilkan dari pemutusan ikatan antar molekul HDPE itu sendiri hingga berakhir pada temperatur $508,20^\circ\text{C}$ yang ditandai dengan kembalinya garis massa konstan. Laju penyusutan massa maksimum terjadi pada temperatur $477,63^\circ\text{C}$ yaitu sebesar $0,44\%/s$.

Dari data hasil uji TG pirolisis sampah plastik HDPE pada *heating rate* $10^\circ\text{C}/\text{menit}$ diketahui bahwa massa yang tersisa setelah akhir proses dekomposisi adalah sebesar 0 mg yang artinya tidak ada residu pada proses pirolisis sampah plastik HDPE pada *heating rate* $10^\circ\text{C}/\text{menit}$.

Pola dekomposisi pirolisis sampah plastik HDPE dengan tambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ pada *heating rate* $10^\circ\text{C}/\text{min}$

Pola dekomposisi pirolisis sampah plastik HDPE dengan tambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$

pada heating rate 10°C/min telah didapatkan dari hasil uji TG dan ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola dekomposisi pirolisis sampah plastik HDPE dengan tambahan nanokatalis MnFe₂O₄ pada heating rate 10°C/min

Berdasarkan Gambar 2 diketahui bahwa degradasi termal utama pirolisis sampah plastik HDPE dengan tambahan nanokatalis MnFe₂O₄ pada heating rate 10°C/menit terjadi pada rentang temperatur 376,53-503,30°C ditandai dengan adanya penyusutan massa yang sangat signifikan pada grafik TG. Hal ini berkaitan dengan degradasi komponen utama polimer yaitu rantai hidrokarbon yang terlepas dan menjadi volatil. Hal ini serupa dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sorum et al. (2001) yang menyatakan bahwa degradasi termal HDPE terjadi pada 350-500°C yang berkaitan dengan degradasi hidrokarbon [8].

Dibawah temperatur 376,53°C adalah terjadinya penguapan air dan pemutusan awal ikatan antar molekul polimer HDPE yang menghasilkan radikal. Kemudian mulai pada temperatur 376,53°C terjadi pemutusan ikatan antar molekul polimer HDPE dalam jumlah yang sangat besar. Hal ini terjadi selain akibat dari peningkatan temperatur dan juga dibantu oleh radikal yang dihasilkan dari pemutusan ikatan antar molekul HDPE itu sendiri, juga dibantu oleh nanokatalis MnFe₂O₄ yang membantu melemahkan dan memutuskan ikatan antar molekul HDPE sehingga menghasilkan radikal yang lebih banyak dalam

waktu yang lebih cepat hingga berakhir pada temperatur 503,30°C yang ditandai dengan kembalinya garis massa konstan. Laju penyusutan massa maksimum terjadi pada temperatur 483,04°C yaitu sebesar 0,59%/s.

Dari data hasil uji TG pirolisis sampah plastik HDPE dengan tambahan nanokatalis MnFe₂O₄ Pada heating rate 10°C/menit diketahui bahwa massa yang tersisa setelah akhir proses dekomposisi sangat sedikit yaitu hanya sebesar 0,02mg artinya residunya sekitar 0,03% dari massa sampel awal yaitu 6,40mg. Residu ini kemungkinan berasal katalis MnFe₂O₄ yang terbentuk kembali di akhir proses.

Perbandingan pola dekomposisi pirolisis sampah plastik HDPE tanpa dan dengan penambahan nanokatalis MnFe₂O₄ pada heating rate 10°C/min

Dari Gambar 1 dan Gambar 2 diketahui bahwa terjadi perbedaan pola dekomposisi antara pirolisis sampah plastik HDPE tanpa dan dengan penambahan nanokatalis MnFe₂O₄. Perbedaan ini meliputi temperatur awal dan akhir tahap dekomposisi, laju penyusutan massa maksimum, temperatur puncak tahap dekomposisi dan residu yang tersisa di akhir proses.

Perbandingan temperatur awal dan akhir tahap dekomposisi pirolisis sampah plastik HDPE tanpa dan dengan penambahan nanokatalis MnFe₂O₄

Data perbandingan temperatur awal dan akhir tahap dekomposisi pirolisis sampah plastik HDPE tanpa dan dengan penambahan nanokatalis MnFe₂O₄ pada heating rate 10°C/min disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan temperatur awal dan akhir tahap dekomposisi pirolisis sampah plastik HDPE tanpa dan dengan penambahan nanokatalis MnFe₂O₄ pada heating rate 10°C/min

HR	HDPE		HDPE + Nanokatalis	
	T Awal (°C)	T Akhir (°C)	T Awal (°C)	T Akhir (°C)
10	371,51	503,20	376,53	503,30

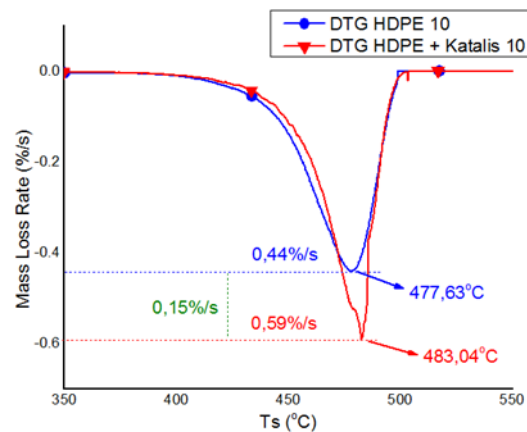
Dari Tabel 1 diketahui bahwa penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ menyebabkan pergeseran temperatur awal dan akhir tahap dekomposisi pirolisis sampah plastik HDPE, dimana awal dan akhir tahap dekomposisi sampah plastik HDPE dengan tambahan nanokatalis justru terjadi pada temperatur yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena panas yang seharusnya diserap langsung untuk memutuskan ikatan antar molekul sampel diserap dulu oleh $MnFe_2O_4$ untuk merubah struktur kristal $MnFe_2O_4$ yaitu perubahan distribusi kation Mn pada sisi tetrahedral dan oktahedral dan proses ini terjadi pada kisaran temperatur $300^\circ C$ [1] dan pada kondisi tersebut lattice $MnFe_2O_4$ berada pada kondisi metastabil [3]. Selanjutnya, saat kondisi katalis sudah stabil dan panas yang diserap sudah cukup untuk mengaktifkan katalis maka panas akan langsung diserap oleh sampel untuk memutuskan ikatan polimer sampel.

Lebih dari itu, dibantu dengan peran katalis tersebut menyebabkan pemutusan ikatan antar molekul sampel menjadi lebih cepat ditunjukkan dengan laju penyusutan massa maksimal yang lebih tinggi daripada sampah plastik HDPE tanpa tambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Perbandingan laju penyusutan massa maksimum dan temperatur puncak tahap dekomposisi pada proses pirolisis sampah plastik HDPE tanpa dan dengan penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ pada heating rate $10^\circ C/min$

Perbandingan laju penyusutan massa maksimum dan temperatur puncak tahap dekomposisi pirolisis sampah plastik HDPE tanpa dan dengan tambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ pada heating rate $10^\circ C/min$ ditunjukkan pada Gambar 3. Dari Gambar 3 diketahui bahwa penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ menyebabkan peningkatan laju penyusutan massa maksimum pada proses pirolisis sampah plastik HDPE. Hal ini terjadi karena pada proses pirolisis sampah plastik HDPE dengan penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ proses pemutusan ikatan antar molekul polimer HDPE tidak hanya disebabkan oleh panas yang diberikan kepada sampel, tetapi juga dibantu oleh nanokatalis $MnFe_2O_4$

yang membantu melemahkan dan memutuskan ikatan antar molekul sampel, sehingga menghasilkan radikal baru dengan lebih cepat dalam jumlah yang lebih besar, kemudian radikal-radikal tersebut juga mengganggu kestabilan ikatan polimer HDPE yang belum terputus sehingga bisa terputus lebih cepat. Saat pemutusan ikatan antar molekul polimer HDPE terjadi lebih cepat, maka tentu saja menyebabkan laju penyusutan massanya juga terjadi lebih cepat.



Gambar 3. Perbandingan laju penyusutan massa maksimum proses pirolisis sampah plastik HDPE tanpa dan dengan penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ pada heating rate $10^\circ C/min$

Disisi lain, penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ menyebabkan pergeseran temperatur puncak tahap dekomposisi sampah plastik HDPE ke temperatur yang lebih tinggi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ menyebabkan pergeseran temperatur awal dekomposisi ke temperatur yang lebih tinggi, sehingga temperatur puncak dekomposisinya juga lebih tinggi.

Perbandingan residu pada proses pirolisis sampah plastik HDPE tanpa dan dengan penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$

Data perbandingan residu dari proses pirolisis sampah plastik HDPE tanpa dan dengan penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ ditampilkan pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 diketahui bahwa proses pirolisis sampah plastik HDPE dengan tambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ menyisakan

sedikit residu. Hal ini karena nanokatalis $MnFe_2O_4$ akan terbentuk kembali di akhir proses sehingga tersisa menjadi residu.

Tabel 2. Perbandingan residu dari proses pirolisis sampah plastik HDPE tanpa dan dengan penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$.

HR	HDPE		HDPE + Nanokatalis	
	M Awal (mg)	M Residu (mg)	M Awal (mg)	M Residu (mg)
10	10,20	0	6,40	0,02

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini, antara lain:

1. Penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ meningkatkan laju penyusutan massa maksimum dari proses pirolisis sampah plastik HDPE dengan cara melemahkan ikatan antar molekul HDPE. Selain itu, penambahan nanokatalis $MnFe_2O_4$ menyebabkan temperatur awal proses dekomposisi pirolisis bergeser ke temperatur yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena panas yang seharusnya diserap langsung untuk memutuskan ikatan antar molekul sampel diserap dulu oleh $MnFe_2O_4$ untuk merubah struktur kristal $MnFe_2O_4$.
2. Proses pirolisis sampah plastik HDPE menyisakan sedikit residu karena nanokatalis $MnFe_2O_4$ terbentuk kembali di akhir proses sehingga tersisa menjadi residu tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aijun, H., Juanjuan, L., Mingquan, Y., Yan, L., Xinhua, P. (2011). Preparation of Nano- $MnFe_2O_4$ and Its Catalytic Performance of Thermal Decomposition of Ammonium Perchlorate. *Journal Product Engineering and Chemical Technology, Chinese Journal of Chemical Engineering*, 19(6):1047-1051.
- [2] Bonsdorf, G., Denecke, M. A., Schafer, K., Christen, S., Langbein, C., Gunber, W. 1997. X-ray Absorption Spectroscopic and Mossbauer Studies of Redox And Cation Ordering Processes in Manganese Ferrite. *Journal Solid State Ionics* 101-103 (1997):351-357.
- [3] British Petroleum. 2017. World Reserves of Fossil Fuels. <https://knoema.com/infographics/smsfgud/bp-world-reserves-of-fossil-fuels>. (diakses 11 Februari 2018).
- [4] Chorkendorff, I. & Niemantsverdriet, J. W. (2007). *Concepts of Modern Catalysis and Kinetics, Second Edition*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim.
- [5] Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Theodore, R. S., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K. L. 2015. *Plastics Waste Inputs From Land into The Ocean*. *Scienmag.org* (2015) Vol 347 Issue 6223.
- [6] Liu, G., Liao, Y., Guo. S., Ma, X., Zeng, C., Wu, J. 2016. Thermal Behaviour and Kinetics of Municipal Solid Waste During Pyrolysis and Combustion Process. *Journal Applied Thermal Engineering* 98 (2016):400-408.
- [7] Sharuddin, S. D. A., Daud, W. M. A. W., Aroua, M. K. (2016). A Review On Pyrolysis of Plastic Wastes. *Journal Energy Conversion and Management* 115 (2016):308-326.
- [8] Sorum, L., Gronli, M. G., Hustad, J. E. 2011. Pyrolysis Characteristics and Kineticsof Municipal Solid Waste. *Journal Fuel* 80 (2001):1217-1227.
- [9] Yang, Y., Liu, J., Zhang, B., Liu, F., (2016). Mechanistic Studies of Mercury Adsorbtion and Oxidation by Oxigen Over Spinel-Type $MnFe_2O_4$. *Journal of Hazardous Materials* 321 (2017):154-161.