

PENGARUH LAJU ALIR GAS PEMBAKAR (LPG) TERHADAP PEMBUATAN KATALIS HETEROGEN NANOKOMPOSIT ZnO/Fe₂O₃

Arif Jumari*, Desti Dwi Nurrokhimah, Fetie Sari Indriyanti
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami no. 36 A, Surakarta 27126 Telp/fax:0271-632112

*Email: arifjumari@yahoo.com

Abstract: Biodiesel as alternative energy can be produced by trans-esterification reaction of vegetable oils or animal oils with homogeneous or heterogeneous catalysts. Heterogeneous catalysts have several advantages over homogeneous catalysts that it is easier to be separated. ZnO is one of the compounds that it has very high catalytic properties with a yield of 86.1%. Making the catalyst is easier to be separated, Fe₂O₃ is added to the matrix of ZnO. This research was conducted to determine the effect of flow rate of burner gas (LPG) to the size of catalyst particles with a fixed precursor composition (1:1) using a flame spray pyrolysis method. The first procedure performed was nebulizing the precursor solution of Zn(NO₃)₂ and Fe(NO₃)₃, then the droplet was flowed through the tube to the burner. At the same time, turning on the carrier gas and the burner gas (LPG) through inner pipe and annulus. Solids from the combustion in the burner were sipped with exhauster and solid nanoparticles were filtered using a bag filter. Then the solid product were separated from bag filter for further analysis. The results were analyzed by XRD, SEM, and BET. From the results of XRD analysis, it was known that the nanocomposite particles obtained were ZnO/Fe₂O₃. The results of SEM analysis showed that the particles only have some nano-sized particles. They consisted of particles of about 1 nm to 100 nm with percentage 35%; some submicron-sized particles (101 nm to 500 nm with percentage 45%; and some micron-sized particles (more than 500 nm) with percentage 20%. While the results of BET analysis described the specific area of particles, so that the particle diameter could be calculated. It showed that the particles were nano-sized, namely 26.652 – 133.771 nm.

Keywords: nanocomposite, burner gas, flame spray pyrolysis

PENDAHULUAN

Biodiesel sebagai salah satu energi alternatif memiliki manfaat yang tinggi karena bisa digunakan secara langsung untuk mengganti minyak petrosolar pada mesin diesel. Biodiesel sebagai pengganti petrosolar mempunyai keunggulan-keunggulan, antara lain:

1. Biodiesel merupakan sumber energi terbarukan yang tidak berkontribusi pada efek pemanasan global, karena adanya siklus karbon yang tertutup pada proses produksinya. Gas CO₂ yang dihasilkan dari proses pembakaran biodiesel digunakan oleh tumbuhan untuk proses fotosintesisnya. Analisis siklus hidup biodiesel menunjukkan emisi yang dihasilkan berkurang sebanyak 78% bila dibandingkan dengan petrosolar.
2. Tingkat emisi yang lebih rendah bila dibanding dengan penggunaan petrosolar. Emisi ini meliputi karbon monoksida (CO), hidrokarbon tak terbakar, dan emisi partikulat.
3. Biodiesel dapat digunakan sebagai aditif pada petrosolar. Penambahan sebanyak 1%

atau 2% ke dalam petrosolar dapat memperbaiki sifat pelumasannya.

4. Dengan biodiesel, ketergantungan terhadap petrosolar dapat dikurangi.
5. Biodiesel dapat memperbaiki pasaran kelebihan produksi minyak nabati dan hewani.
6. Biodiesel adalah bahan yang *biodegradable* dan non-toksik.

Biodiesel diproduksi dengan reaksi trans-esterifikasi minyak tumbuhan atau lemak binatang dan metanol atau etanol dengan bantuan katalis katalis asam/basa, baik yang homogen maupun yang heterogen. Tetapi, reaksi ini menghasilkan produk samping yang tidak diinginkan, yaitu sabun sehingga *yield* reaksi akan turun yang mengakibatkan turunnya produktivitas pembuatan biodiesel. Selain itu, penggunaan katalis basa/asam mempunyai kelemahan dalam hal pemisahan katalis dari produk yang rumit, serta adanya limbah cair alkalin yang perlu penanganan khusus.

Perkembangan nanoteknologi telah memberi harapan baru dalam berbagai bidang.

Istilah nano ditujukan untuk ukuran yang lebih kecil dari 100 nm. Komposit ditujukan untuk gabungan dari dua atau lebih partikel. Nanokomposit (gabungan dari dua atau lebih partikel yang berukuran kurang dari 100 nm) menunjukkan properti fisis dan kimia yang lebih baik dari partikel bulk-nya (berukuran mikron).

Serbuk *Zinc oxide* (ZnO) sebagai material semikonduktor telah diaplikasikan pada bidang nanoteknologi sedangkan *Iron oxide* (Fe_2O_3) merupakan salah satu mineral oksida yang melimpah ketersediaannya. Dengan mengambil manfaat nanoteknologi, kami mencoba menggabungkan kelebihan sifat katalitik ZnO nanopartikel untuk memproduksi biodiesel berkualitas tinggi (kemurnian tinggi). Dengan menambahkan Fe_2O_3 nanopartikel pada matrik ZnO, akan mempermudah pemisahan katalis nanokomposit ZnO/ Fe_2O_3 dari produk biodiesel. Pemisahan katalis ini dilakukan dengan menggunakan medan magnet mengingat sifat magnetik Fe_2O_3 .

Berdasarkan latar belakang di atas, maka timbul permasalahan bagaimana cara memperoleh katalis heterogen nanokomposit ZnO/ Fe_2O_3 serta pengaruh variasi laju alir gas pembakar (LPG) terhadap karakteristik material yang dihasilkan.

LANDASAN TEORI

Biodiesel diproduksi dengan reaksi transesterifikasi minyak tumbuhan atau lemak binatang dengan metanol atau etanol dengan bantuan katalis. Katalis yang digunakan adalah katalis asam atau basa, baik yang homogen maupun yang heterogen. Katalis basa yang umum digunakan adalah Natrium hidroksida (NaOH) atau Kalium hidroksida (KOH) karena relatif murah dan juga sangat aktif.

Tetapi, penggunaan katalis ini bisa menghasilkan produk samping yang tidak diinginkan, yaitu sabun. Reaksi penyabunan akan menyebabkan basa yang seharusnya menjadi katalis akan bereaksi menjadi sabun. Sehingga *yield* reaksi transesterifikasi akan turun yang mengakibatkan turunnya produktivitas pembuatan biodiesel. Selain itu, penggunaan katalis basa/asam mempunyai kelemahan dalam hal penggunaan energi yang tinggi, pemisahan gliserin yang sulit, pemisahan katalis dari produk yang rumit, serta adanya limbah cair alkalin yang perlu penanganan khusus (Pinto et. al., 2005).

Katalis yang dapat digunakan dalam pembuatan biodiesel dapat berupa katalis homogen atau heterogen. Katalis homogen merupakan katalis yang mempunyai fase sama dengan reaktan dan produk. Penggunaan katalis homogen ini mempunyai kelemahan, yaitu

bersifat korosif, berbahaya karena dapat merusak kulit, mata, dan paru-paru bila tertelan, sulit dipisahkan dari produk sehingga terbuang pada saat pencucian, mencemari lingkungan, serta tidak dapat digunakan kembali (Widyastuti, L., 2007). Keuntungan dari katalis homogen adalah tidak dibutuhkannya suhu dan tekanan yang tinggi dalam reaksi. Sedangkan katalis heterogen merupakan katalis yang mempunyai fase yang tidak sama dengan reaktan dan produksi. Keuntungan menggunakan katalis ini adalah mempunyai aktivitas yang tinggi, kondisi reaksi yang ringan, masa hidup katalis yang panjang, biaya katalis yang rendah, tidak korosif, ramah lingkungan dan menghasilkan sedikit masalah pembuangan, dapat dipisahkan dari larutan produksi sehingga dapat digunakan kembali (Bangun, N., 2008).

Perkembangan nanoteknologi telah memberi harapan baru dalam berbagai bidang. Nanokomposit berasal dari istilah nano dan komposit. Istilah nano ditujukan untuk ukuran yang lebih kecil dari 100 nm. Komposit ditujukan untuk gabungan dari dua atau lebih partikel. Nanokomposit (gabungan dari dua atau lebih partikel yang berukuran kurang dari 100 nm) menunjukkan properti fisis dan kimia yang lebih baik dari partikel bulk-nya (berukuran mikron) (Rao and Muller, 2004).

Serbuk *Zinc oxide* (ZnO) sebagai material semikonduktor telah diaplikasikan pada bidang nanoteknologi. Salah satu aplikasi yang dibutuhkan saat ini adalah sebagai alternatif energi, yaitu *solar cell* karena bersifat katalitik sebagai bahan elektroda, bahan katoda, dan sebagai elemen bahan bakar. Dalam aplikasi di bidang teknologi, morfologi, kristalinitas, dan sifat optikal menjadi parameter penting. Sehingga hal inilah yang mendorong berkembangnya penelitian terhadap partikel ZnO dengan skala industri.

ZnO sebagai material oksida tunggal, menunjukkan potensi yang besar untuk digunakan sebagai katalis padat seperti dilaporkan J. Jitputti et. al. (2006), walaupun mempunyai *yield* yang lebih rendah dibandingkan dengan $\text{SO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$ dan $\text{SO}_4^{2-}/\text{SnO}_2$ dengan *yield* sebesar 86.1%, tetapi biodiesel yang diproduksi dengan katalis ZnO mempunyai kandungan metil ester yang tinggi, yaitu sebesar 98.9%. Ini menunjukkan bahwa katalis ZnO menghasilkan produk biodiesel dengan tingkat kemurnian yang sangat tinggi. Hal inilah yang mendasari dipilihnya katalis berbasis ZnO dalam penelitian ini.

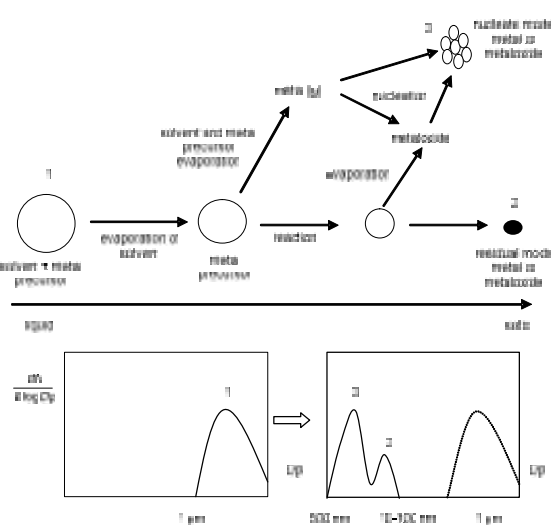
Iron oxide (Fe_2O_3) merupakan salah satu mineral oksida yang melimpah ketersediaannya. Dan pemanfaatan Fe_2O_3 terus dikembangkan

untuk menghasilkan teknologi di berbagai bidang, komposisi hematite dalam senyawa Fe_2O_3 murni mengandung Fe_2O_3 tanpa ada campuran dari senyawa lain, sehingga mempunyai sifat magnet yang tinggi.

Dengan mengambil manfaat nanoteknologi, kami mencoba menggabungkan kelebihan sifat katalitik ZnO nanopartikel untuk memproduksi biodiesel berkualitas tinggi (kemurnian tinggi). Dengan menambahkan Fe_2O_3 nanopartikel pada matrik ZnO, akan mempermudah pemisahan katalis nanokomposit ZnO/ Fe_2O_3 dari produk biodiesel. Pemisahan katalis ini dilakukan dengan menggunakan medan magnet mengingat sifat magnetik Fe_2O_3 .

Flame spray pyrolysis adalah salah satu metode nyala (*flame method*) yang menggunakan *metal oxide* sebagai larutan *precursor*. Alasan digunakannya garam logam sebagai cairan *precursor* adalah mudah didapatkan atau tersedia dalam jumlah besar dan kelarutan garam logam dalam air maupun pelarut organik tinggi (Purwanto et. al., 2006).

Berikut merupakan skema pembuatan nanopartikel dengan metode *flame spray pyrolysis* untuk menghasilkan nanopartikel atau partikel berukuran submikron.



Gambar 1. Bagan Pembentukan Partikel dari Liquid Droplet pada Metode Flame Spray Pyrolysis (J. M. Makela et. al., 2004)

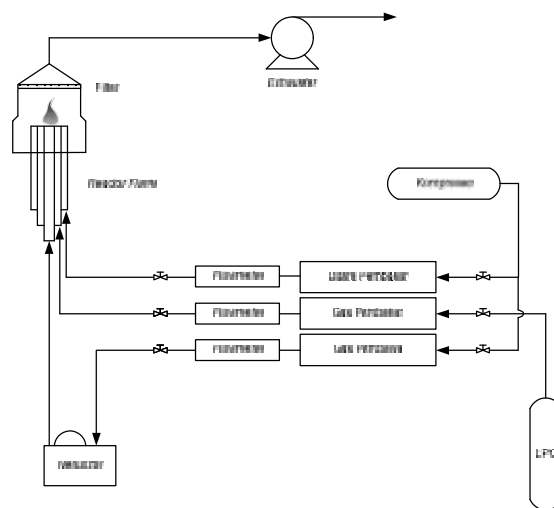
Dalam penelitian ini, larutan induk yang digunakan adalah larutan besi nitrat dan seng nitrat, sedangkan metode yang dipakai adalah *flame spray pyrolysis*. Pemilihan metode ini didasarkan pada keunggulannya bila dibandingkan dengan metode lain. *Flame spray pyrolysis* telah terbukti sebagai metode yang memiliki *production rate* yang sangat mungkin diaplikasikan pada industri. Selain itu, metode ini

telah diteliti untuk memproduksi berbagai jenis nanopartikel, baik material tunggal maupun komposit (Hee Dong Jang, et. al., 2001).

METODE PENELITIAN

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian adalah $Zn(NO_3)_2$ dan $Fe_2(NO_3)_3$ sebagai larutan *precursor*, gas pembakar (LPG) yang digunakan untuk membakar larutan $Zn(NO_3)_2$, dan $Fe_2(NO_3)_3$ yang telah dinebulasi ke dalam *burner*, serta udara dari kompresor sebagai udara pembakar (*oxidant gas*).

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah *nebulizer*, *burner*, *exhauster*, kompresor, tabung LPG, *flowmeter*, *bag filter*, selang dan klem, serta pipa U dan pipa venturi.



Gambar 2. Rangkaian Alat Percobaan Sintesis Katalis Heterogen Nanokomposit ZnO/ Fe_2O_3

Prosedur pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah merangkai alat sesuai dengan gambar rangkaian alat yang ada dan mengisi *nebulizer* dengan larutan $Zn(NO_3)_2$ dan $Fe(NO_3)_3$ masing-masing 1 N dengan perbandingan volume 1 : 1 sebagai larutan *precursor*. Kemudian menyalakan *burner* dengan mengalirkan gas pembakar (LPG) dengan variasi kecepatan tertentu, sementara kecepatan udara pembakar dari kompresor menyesuaikan hingga didapat nyala api biru. Pada saat yang sama, larutan *precursor* dinebulasi dalam *nebulizer* dengan kecepatan konstan dan dihembuskan udara dari kompresor sebagai gas pembawa ke *nebulizer*, kemudian dari *nebulizer* dihembuskan ke *burner* dengan kecepatan konstan. Warna nyala api dalam *burner* akan berubah dari biru menjadi jingga karena adanya aliran umpan tersebut dan melakukan pembakaran selama ± 6 jam untuk

setiap variabel laju alir gas pembakar (LPG). Pada akhir pembakaran, bag filter diambil dan dipisahkan serbuknya untuk selanjutnya dianalisis.

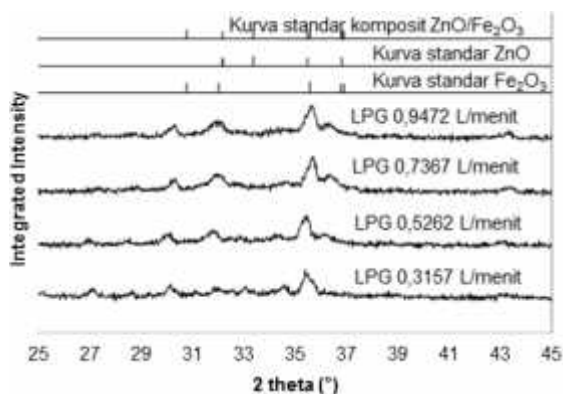
Analisis produk. Produk yang dihasilkan akan dianalisa dengan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui bahwa serbuk yang dihasilkan adalah partikel nanokomposit ZnO/Fe₂O₃, SEM (*Scanning Electronic Microscopy*) digunakan untuk mengetahui diameter partikel ZnO/Fe₂O₃, dan BET (*Brunauer-Emmett-Teller*) untuk mengetahui luas permukaan spesifik ZnO/Fe₂O₃.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis XRD

Analisis hasil dengan XRD dapat diketahui apakah sampel yang dianalisa tersebut benar-benar senyawa komposit ZnO/Fe₂O₃ atau bukan, dengan cara membandingkan kurva standar ZnO dan Fe₂O₃. Ketinggian puncak (intensitas penyinaran) yang dihasilkan akan mempengaruhi tingkat kristalinitas sampel tersebut. Semakin besar nilai intensitas penyinaran atau semakin tinggi puncak pada kurva, maka tingkat kristalinitas juga semakin bagus.

Setelah dilakukan percobaan dengan menggunakan larutan sampel yang berupa campuran Zn(NO₃)₂ 1 N dan Fe(NO₃)₃ 1 N dengan komposisi precursor 1 : 1 dan variasi laju alir gas pembakar (LPG), maka dengan analisis diperoleh hasil sebagai Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hasil XRD dengan Laju Alir Gas Pembakar (LPG) Tertentu

Dari Gambar 3 di atas, dapat dilihat bahwa puncak-puncak terjadi pada derajat penyinaran tertentu sesuai dengan sampel yang dianalisis. Pada analisis hasil dari penelitian ini puncak-puncak terjadi di beberapa titik, dan terdapat tiga titik puncak yang hampir sama dengan titik puncak pada kurva standar untuk ZnO/Fe₂O₃. Perbandingan tiga titik yang

mendekati data standar ZnO/Fe₂O₃ tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa partikel yang dihasilkan memiliki kandungan utama ZnO/Fe₂O₃, karena derajat penyinarannya mendekati dengan derajat penyinaran standar (2θ) untuk ZnO/Fe₂O₃.

Namun dari hasil tersebut terdapat dua titik yang tidak sama persis dengan data standar untuk ZnO/Fe₂O₃, hal ini kemungkinan disebabkan karena adanya impuritis pada sampel yang didapat, sehingga kurva yang didapatkan tidak sama persis dengan kurva standar senyawa komposit ZnO/Fe₂O₃.

Tabel 1. Perbandingan Derajat Penyinaran (2θ) antara Hasil Analisis dengan Data Standar untuk Senyawa Komposit ZnO/Fe₂O₃

No.	2θ (Hasil Analisis)	2θ (Standar untuk ZnO/Fe ₂ O ₃)
1.	30.600	30.795
2.	32.000	32.354
3.	35.200	35.302

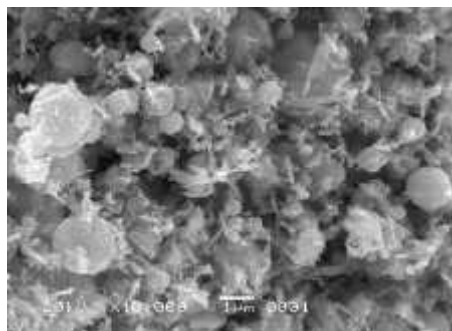
Pada dasarnya, laju alir gas pembakar (LPG) akan mempengaruhi suhu pembakaran di flame reactor. Semakin tinggi laju alir, maka suhu pembakaran juga semakin tinggi. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa variasi laju alir gas pembakar (LPG) berpengaruh terhadap integrated intensity (intensitas penyinaran). Hal ini ditunjukkan dengan adanya perbedaan intensitas penyinaran untuk laju alir gas pembakar (LPG) yang berbeda. Intensitas penyinaran optimum terjadi saat laju alir gas pembakar (LPG) sebesar 0,9472 L/menit. Urutan intensitas penyinaran dari yang terbesar adalah saat laju alir gas pembakar (LPG) sebesar 0,9472 L/menit; 0,7367 L/menit; 0,5262 L/menit; dan yang paling kecil saat 0,3174 L/menit.

Dengan intensitas penyinaran yang semakin besar, maka tingkat kristalinitasnya semakin bagus, sehingga dapat disimpulkan bahwa komposisi partikel padatan yang diperoleh sebanding dengan laju alir gas pembakar (LPG). Dari hasil percobaan didapatkan tingkat kristalinitas paling bagus terjadi saat laju alir gas pembakar (LPG) sebesar 0,9472 L/menit.

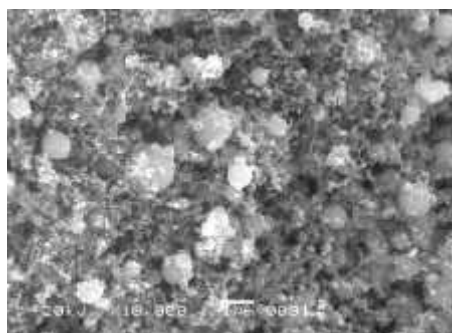
Analisis SEM

Analisis SEM digunakan untuk melihat morfologi sampel tersebut. Dari gambar dapat terlihat ukuran diameter partikel sampel tersebut. Setelah dilakukan percobaan dengan menggunakan larutan precursor ZnO dan Fe₂O₃ dengan variasi laju alir gas pembakar (LPG),

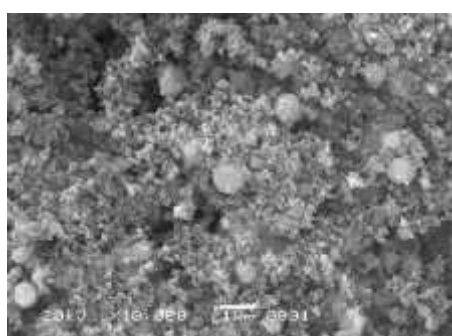
maka dengan analisis SEM diperoleh hasil seperti yang disajikan di Gambar 4.



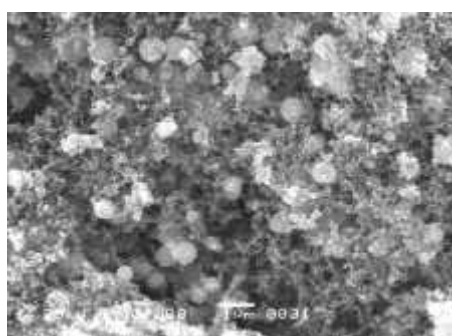
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4. Hubungan antara Diameter Partikel dengan Laju Alir Gas Pembakar (LPG) (a) 0,3174 L/menit, (b) 0,5262 L/menit, (c) 0,7364 L/menit, (d) 0,9472 L/menit

Analisis menggunakan SEM memperlihatkan bahwa hanya sebagian partikel yang berukuran nano, yaitu sekitar 1 nm – 100 nm dengan persentase 35%; ada sebagian partikel yang berukuran submikron, yaitu sekitar 101 nm – 500 nm dengan persentase 45%; dan sebagian partikel yang lain berukuran mikron, yaitu lebih dari 500 nm dengan persentase 20%. Dari gambar di atas, menunjukkan bahwa partikel yang dihasilkan teraglomerasi atau terjadi penggumpalan. Hal ini mungkin disebabkan karena Fe_2O_3 bersifat higroskopis, sehingga merekatkan partikel-partikel yang dihasilkan.

Dari Gambar 4 hasil analisis SEM dapat dilihat bahwa variasi laju alir gas pembakar (LPG) berpengaruh terhadap diameter partikel. Hal ini ditunjukkan dengan gambar diameter partikel yang terlihat semakin kecil. Diameter partikel paling kecil terbentuk saat laju alir gas pembakar (LPG) sebesar 0,9472 L/menit. Urutan diameter partikel dari yang terkecil adalah saat laju alir gas pembakar (LPG) sebesar 0,9472 L/menit; 0,7367 L/menit; 0,5262 L/menit; dan yang paling besar saat 0,3174 L/menit.

Analisis BET

Analisis BET digunakan untuk mengetahui luas permukaan spesifik senyawa komposit ZnO/Fe_2O_3 yang dihasilkan. Luas permukaan spesifik partikel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hubungan antara Laju Alir Gas Pembakar (LPG), Luas Permukaan Spesifik Partikel, dan Diameter Partikel

No.	Laju Alir Gas Pembakar (LPG) (L/menit)	Luas Permukaan Spesifik Senyawa ZnO/Fe_2O_3 (m^2/g)	Diameter Partikel (nm)
1.	0,3157	7,995	133,771
2.	0,5262	24,638	43,409
3.	0,7367	38,927	27,475
4.	0,9472	40,129	26,652

Dari hasil analisis BET dapat dilihat bahwa luas spesifik partikel ZnO/Fe_2O_3 yang dihasilkan sebanding dengan variasi laju alir gas pembakar (LPG), namun diameter partikel yang dihasilkan berbanding terbalik dengan variasi laju alir gas pembakar (LPG). Dari Tabel 2 di atas, dapat diketahui luas permukaan spesifik partikel, sehingga dapat dihitung diameter partikel tersebut dan dapat diketahui bahwa partikel padat yang dihasilkan dalam penelitian ini berukuran nanopartikel dan variabel laju alir gas pembakar (LPG) berpengaruh pada ukuran

partikel yang dihasilkan, karena semakin besar laju alir gas pembakar (LPG) maka semakin besar pula luas permukaan spesifik partikel yang dihasilkan, namun semakin kecil diameter partikel yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena jika laju alir gas pembakar (LPG) semakin besar, maka temperatur nyala burner juga semakin besar, sehingga solvent pada larutan precursor akan lebih cepat terevaporasi dan lebih banyak menghasilkan produk dengan residual yang lebih sedikit.

Dari pembahasan di atas, diketahui bahwa ukuran partikel yang dianalisis dengan SEM berbeda dengan hasil analisis dengan BET. Pada hasil analisis SEM, diketahui hanya sebagian partikel yang berukuran nano, yaitu sekitar 1 – 100 nm dengan persentase 35%; ada sebagian partikel yang berukuran submikron, yaitu sekitar 101 nm – 500 nm dengan persentase 45%; dan sebagian partikel yang lain berukuran mikron, yaitu lebih dari 500 nm dengan persentase 20%. Sedangkan hasil analisis BET diketahui ukuran partikel berukuran nano. Hal ini disebabkan karena pada analisis SEM partikel tersebut terjadi penggumpalan Fe_2O_3 yang bersifat higroskopis, sehingga merekatkan partikel-partikel yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh, dapat diambil beberapa disimpulkan bahwa katalis heterogen nanokomposit $\text{ZnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ dapat diperoleh dari sintesis $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ sebagai precursor dengan metode Flame Spray Pyrolysis. Dalam pembuatan katalis heterogen nanokomposit $\text{ZnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ didapatkan bahwa laju alir gas pembakar (LPG) yang menghasilkan intensitas peninaran optimum akan menghasilkan partikel dengan diameter yang terkecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Bangun, N., Sembiring, S. B, Siahaan, D., 2008, "Laporan Hasil Penelitian : Dimetil Ester Rantai Panjang Sebagai Energi Biodiesel Hasil Turunan Asam Oleat Minyak Kelapa Sawit", Fakultas MIPA USU, Medan.
- Basri, S., 1996, "Kamus Kimia", PT. Rineka Cipta, Jakarta.
- Hadyawarman, dkk., 2008, "Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing", Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi, vol. 1 no. 1.
- Jang, H. D., 2001, "Experimental Study of Synthesis of Silica Nanoparticles by Bench-scale Diffusion Flame Reactor", Powder Technology 119, p.p. 102-108.

Makela, J. M., et. al., 2004, "Generation of Metal and Metal Oxide Nanoparticles by Liquid Flame Spray Pyrolysis", Journal of Material Science 29, p.p. 2783-2788.

Muller, Ulrich, 2006, "Inorganic Structural Chemistry", Jhon Willey and Sons, USA

Purwanto, A., et. al., 2006, "Preparation of Submicron and Nanometer-sized Particles of $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ by Flame Spray Pyrolysis Using Ultrasonic and Two-fluid Atomizer", Journal of Chemical Engineering of Japan vol. 39 no. 1, p.p. 68-76.