E K U I L I B R I U M
Vol. 10. No. 2. Halaman : 73 – 80

ISSN : 1412-9124
Juli 2011

PENGARUH KOMPOSISI PRECURSOR TERHADAP KARAKTERISTIK KATALIS NANOKOMPOSIT ZnO/Fe_2O_3

Arif Jumari*, Agus Purwanto, Sperisa Distantina
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 A, Surakarta 57126 Telp/fax: 0271-632112

*****Email: arifjumari@yahoo.com

Abstract: *Biodiesel is a very potential alternative energy because of its usable directly to substitutes petrosolar in diesel engine. Biodiesel is produced through catalytic esterification process of vegetable oil and alcohol. ZnO as transesterification catalyst has given high yield. To improve the catalytic and separation performance, the particle.size is decreased and the magnetic behaviour should be added to the catalyst. The aim of the research were to obtain nanocomposite ZnO/Fe_2O_3 and determine physical, catalytic and separation performance of nanocomposite ZnO/Fe_2O_3. Assisted by carrier air precursor solution of $Zn(NO_3)_2$ and $Fe(NO_3)_3$ was nebulized and flowed to the inner tube of the burner. LPG gas dan oxidant air were flowed to the inner annulus and outer annulus, respectively. The solid produced was separated from gas by particle filter. The solid was then examined by XRD, FE-SEM, TEM, BET and the catalytic performance.The result showed the particle had magnetic behaviour and the composition ZnO and Fe_2O_3 in particle was proportional to the composition $Zn(NO_3)_2$ and $Fe(NO_3)_3$ in the precursor. the size of particle were between 20nm-90nm and precursor composition had no effect on particle size. Examination of BET show that the specific surface area of particle was between 45-58.95 m^2/gram (It was able to be converted to paricle size of 18-25 nm)*

Keywords: *Tran-esterification, nanocomposite heterogeneous catalyst, magnetic behaviour, particle size*

PENDAHULUAN

Biodiesel sangat potensial dikembangkan dalam rangka pengembangan bahan bakar alternatif. Biodiesel sebagai salah satu energi alternatif memiliki tingkat urgensi kemanfaatan yang tinggi karena bisa digunakan secara langsung untuk mengganti minyak petrosolar pada mesin diesel. Saat ini pembuatan biodiesel dilakukan menggunanakan katalis homogen (asam/basa). Proses ini mempunyai banyak kekurangan diantaranya penggunaan energi yang cukup tinggi, terbentuknya produk samping berupa sabun, rumitnya pemisahan produk samping dan katalis dengan biodiesel yang dihasilkan serta adanya limbah alkalin yang memerlukan pemrosesan lanjutan.

Untuk mengatasi masalah diatas, akhir-akhir ini telah dikembangkan banyak katalis yang bisa digunakan untuk menggantikan katalis basa tersebut. Penelitian untuk memperoleh katalis yang lebih baik (katalis hetrogen atau katalis padat) untuk reaksi trans-esterifikasi telah banyak dilakukan diantaranya menggunakan katalis ZnO yang memberikan produk biodiesel dengan *yield* dan kemurnian yang tinggi.

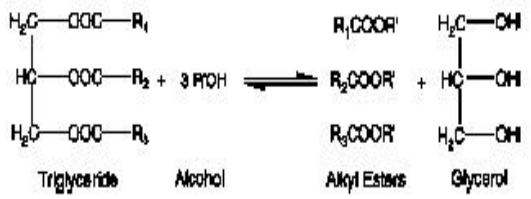
Efektifitas katalis semakin baik bila luas permukaan per satuan masa katalis besar. Memperbesar luas permukaan persatuan masa katalis dapat dilakukan dengan memperkecil ukuran padatan katalis misalnya dengan membuat padatan katalis berukuran nano partikel. Untuk mempermudah pemisahan katalis dengan produk biodiesel pada katalis perlu ditambahkan senyawa yang bersifat magnet sehingga dapat dipisahkan dengan magnet.

Pada penelitian sebelumnya telah berhasil membuat perak nano partikel dari limbah fotografi. Dengan pengalaman tersebut, pada penelitian ini dibuat katalis nanokomposit dengan teknik yang sama dengan penelitian sebelumnya. Katalis nanokomposit tersebutdiharapkan dapat menggantikan peran katalis homogen dan dapat menghasilkan bioiesel dengan kualitas yang lebih baik. Katalis heterogen nano komposit tersebut adalah ZnO/Fe_2O_3 nano komposit.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh katalis heterogen nanokomposit

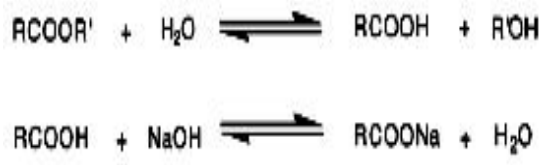
ZnO/Fe_2O_3 untuk reaksi trans-esterifikasi untuk menghasilkan biodiesel yang berkualitas tinggi. Selain itu penelitian ini juga untuk mengetahui pengaruh variabel proses pembuatan katalis terhadap sifat fisik dan sifat katalitik nanokomposit ZnO/Fe_2O_3 yang diperoleh.

Biodiesel sebagai salah satu energi alternatif memiliki tingkat urgensi kemanfaatan yang tinggi karena bisa digunakan secara langsung untuk mengganti minyak petrosolar pada mesin diesel. Biodiesel diproduksi dengan reaksi trans-esterifikasi antara minyak tumbuhan atau lemak binatang dan alkohol dengan bantuan katalis. Katalis yang sering digunakan adalah katalis asam atau basa. Untuk katalis homogen basa yang umum digunakan adalah NaOH atau KOH karena relatif murah dan juga sangat aktif. Adapun reaksi pembuatannya adalah sbb (*Jitputti et. al., 2006)*



Gambar 1. Reaksi transesterifikasi triglycerida dengan alkohol

Penggunaan katalis basa dapat menyebabkan terbentuknya air yang menyebabkan terjadinya reaksi hidrolisis ester menjadi sabun. Reaksi penyabunan tersebut adalah sbb : *(Jitputti et. al., 2006)*



Gambar 2. Reaksi penyabunan antara asam lemak alkil ester dengan air dan NaOH

Penggunaan katalis basa/asam juga membutuhkan energi yang tinggi, pemisahan glycerin yang sulit, pemisahan katalis dari produk yang rumit serta adanya limbah cair alkalin *(Pinto et. al., 2005)*.

Untuk mengatasi masalah diatas, saat ini telah dikembangkan banyak katalis heterogen yang bisa menggantikan katalis basa tersebut. Pada pada penelitian ini dibuat salah satu katalis heterogen (padat) berbasis ZnO/Fe_2O_3 nanokomposit. Katalis padat yang telah diteliti dan dilaporkan digunakan dalam reaksi transesterifikasi adalah antara lain polimer yang mengandung guanidine, enzim, oxide, alumina, garam asam amino, $CaCO_3$, clays (lempung) dan Zeolite *(Pinto et. al., 2005)*. Aktivitas polimer yang mengandung guanidine digunakan untuk mereaksikan methanol dengan minyak pada perbandingan 3:1. Hasil yang dilaporkan adalah bahwa penggunaan 5%mol katalis heterogen hampir seaktif 3%mol dari katalis homogennya. Selain itu penggunaan guanidine yang terikat pada polystirene memberikan yield diatas 90 % kurang dari 15 menit. Garam tak larut asam amino juga bisa dipakai sebagai katalis heterogen. misalnya asam amino yang mengandung tembaga, seng, cadmium, nikel, lanthanum, cobalt, calcium, magnesium dan besi. Kalsium karbonat juga bisa digunakan sebagai katalis. Konversi diatas 95% tercapai pada temperatur 260^{o}C dengan reaktor alir dengan waktu tinggal 18 menit. Aktivitas katalis ini tidak menurun untuk pemakaian selama satu minggu. (*Pinto et. al., 2005*)

Katalis padat berbasis material oksida untuk reaksi tranesterifikasi juga sudah banyak diteliti dan dipublikasikan. Material oksida antara lain ZrO_2-SiO_2, KOH/ZrO_2-SiO_2, Co_2O_3-SiO_2, MoO_5-SiO_2, Na_2O-SiO_2, La_2O_3 (10%)-MCM-41, MgO(10%)-MCM-41, BaO (10%)-MCM-41, CaO dan MgO. Dari katalis tersebut, yang mempunyai aktivitas baik adalah La_2O_3(10%)-MCM-41, Na_2O-SiO_2 dan CaO dengan koversi berturut-turut sebesar 81%, 76% dan 67%. *(Pinto et.al, 2005)*

Material katalis padat yang lain adalah *tungstated zirconia-alumina* (WZA) dan sulphated zirconia-alumina (SZA) sebagai katalis asam. Setelah 20 jam reaksi, tingkat konversi dengan menggunakan WZA mencapai 90% untuk temperatur reaksi diatas 250^{o}C *(Pinto et. al., 2005, D.E. Lopez et. al., 2007)*. Sedangkan 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 bila dibandingkan dengan SO_4^{2-}/ZrO_2 dan SO_4^{2-}/SnO_2 dengan yield sebesar 86,1%, tetapi biodiesel yang diproduksi dengan katalis ZnO mempunyai kandungan methyl ester yang tinggi 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.

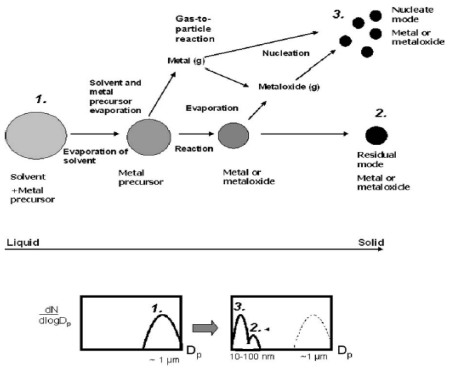
Sintesa ZnO nanopartikel

Untuk meningkatkan aktivitas katalitik material ZnO yang dilaporkan sebesar 86.1%

pada temperatur reaksi 200^{o}C selama 4 jam, maka ZnO perlu di optimasi untuk meningkatkan yield-nya. Secara teoritis, kemampuan katalitik suatu katalis akan bertambah seiring dengan bertambahnya luas permukaan material katalitik tersebut. Salah satu cara rekayasa untuk meningkatkan luas permukaan partikel adalah dengan memperkecil ukurannya hingga ke ukuran nano (10^{-9} m). Sebagai gambaran bila ZnO partikel berukuran 1 mikron (10^{-6} m), maka partikel ini akan mempunyai luas permukaan sebesar 1,0695 m^2/g. Tetapi bila ukurannya diperkecil sampai 10 nm (10^{-8} m), maka luas permukaannya akan menjadi 100 kalinya yaitu sebesar 106,95 m^2/g. Dengan penambahan luas permukaan secara teoritis akan meningkatkan yield reaksi transesterifikasi biodiesel.

Pembuatan nano partikel dapat dilakukan dengan metode *flame spray pyrolysis* dengan reaktor flame. Pembuatan nanopartikel dengan reaktor flame telah diteliti untuk memproduksi berbagai jenis nanopartikel baik material tunggal maupun komposit. Material tunggal yang telah diproduksi dengan reaktor ini adalah SiO_2 *(Jang et. al, 2001)*, TiO_2 *(Bickmore et. al, 1998)*, SnO_2, Al_2O_3 *(Kammler et. al., 2001)*, α-Al_2O_3 *(Varatharajan et. al, 2003)*, γ-Fe_2O_3 *(Grimm et. al., 1997)*, Tin Dioxide *(Sahm et. al, 2004)*, ZnO *(Tani et. al, 2002)*, ZrO_2, Bi_2O_3 *(Madler et. al, 2002)* and α-Willemite *(Tani et. al., 2002)*. Sedang material komposit yang telah diteliti dan diproduksi dengan reaktor flame adalah *Silica-embedded iron oxide (Janzen et. al., 2003)*, *Fe-catalyzed single walls carbon nanotube (Vander Wal, 2002)*, *Ni-Catalyzed nanofibers (Vander Wal, 2002)*, Pd/Al_2O_3 *(Strobel et. al., 2004)*, dll. Material non-oksida dapat pula di sintesis dengan reaktor *flame* antara lain aluminum nitride *(Takao et. al, 2001)*, elemental titanium dan titanium diboride *(Dufaux et. al., 1995)*. Material phospor juga telah dirintis di produksi dengan menggunakan reaktor ini. *Kang et.al. (2002)* memproduksi partikel strontium titanate dan Y_2O_3:Eu.

Mekanisme pembuatan nanopartikel dari *liquid droplet* menjadi partikel padat dapat dijelaskan seperti pada Gambar 3. Mula-mula *solvent* dalam *droplet* akan terevaporasi total atau sebagian dalam *flame*. Reaksi *precursor* dalam *droplet* akan menghasilkan metal atau metal oksida. Reaksi dan nukleasi lanjutan pada komponen terevaporasi menghasilkan produk partikel dengan skala nano (10^{-9} m). Dari skema tersebut, *flame spray pyrolysis* dapat digunakan untuk menghasilkan nanopartikel, atau partikel berukuran submicron.



Gambar 3. Bagan pembentukan partikel dari *liquid droplet* pada metode *flame spray pyrolysis (Makela et. al., 2004)*

Berikut dalam Tabel 1 disajikan tinjauan paten yang berkaitan dengan pembuatan biodiesel dengan menggunakan katalis padat serta jenis katalisnya.

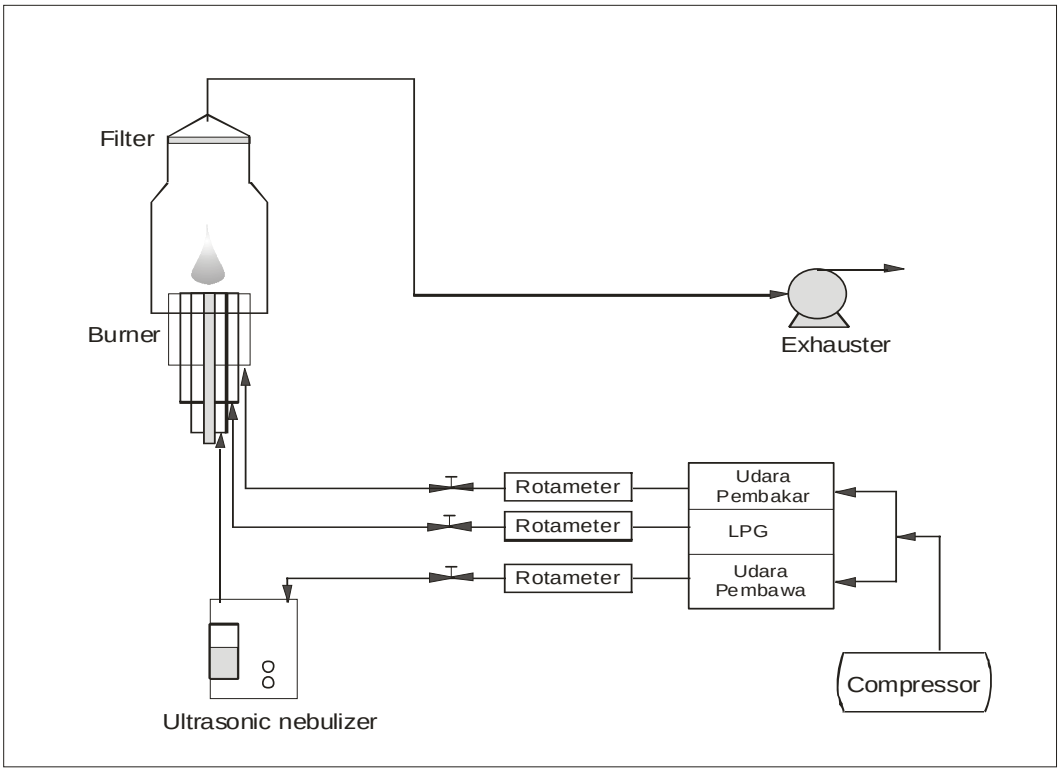
Tabel 1. Daftar katalis padat yang telah dipatenkan pada pemrosesan biodiesel

Paten	Tahun	Penemu	Katalis padat
US Patent No. 5908946	1999	Stern et. al.	$ZnAl_2O_4$ x ZnO y Al_2O_3 (x,y= 0-2)
US Patent No. 6818026	2004	Tateno et. al.	Ni-Metal Oksida Pada kondisi superkritis
WO 2005/063954 A1	2005	Gupta et. al.	Tin Oxide
US Patent No. 6878837	2005	Bournay et. al.	Zinc Aluminate
WO 2006/050951 A1	2006	Siano et. al.	MgO Komposit MgO/Al

METODE PENELITIAN

Pembuatan nanokomposit ZnO/Fe_2O_3 dilakukan dengan metode *flame spray pyrolysis*. Bagan peralatan ditunjukkan seperti Gambar 4. Pembuatan nanokomposit ZnO/Fe_2O_3 dilakukan dengan metode *flame spray pyrolysis* (FSP). FSP terdiri dari tiga bagian utama, yaitu : precursor atomizer, diffusion burner dan particle collector. Larutan *precursor* $Zn(NO_3)_2$ dan $Fe(NO_3)_3$ diatomisasi menggunakan *UltrasonicNebulizer* (Omron NE-U17, Japan) untuk menghasilkan droplet (ukuran rata-rata 5µm). Droplet selanjutnya dialirkan ke zona nyala dengan bantuan udara pembawa melalui tube pada burner. LPG dan udara pembakar dialirkan ke zona nyala masing-masing melalui anulus dalam dan anulus luar dari *burner*.

Partikel yang terbentuk disaring dengan bag filter yang selanjutnya dikarakterisasi. Pembuatan nanokomposit ZnO/Fe_2O_3 dilakukan pada kondisi optimum yaitu laju alir LPG gas 0.5 l/menit dengan laju alir udara pembakar disesuaikan dan laju alir gas pembawa 1 L/menit serta laju nebulasi 2 L/menit



Gambar 4. Diagram skematik peralatan flame spray reactor

Bahan precursor adalah $Zn(NO_3)_2$ $4H_2O$ (98.5%, E-Merck Darmstadt, Germany) dan $Fe_2(NO_3)_3$ $9H_2O$ (99%, E-Merck Darmstadt, Germany) Precursor dibuat dengan melarutkan $Zn(NO_3)_2$ dan $Fe_2(NO_3)_3$ dengan perbandingan tetrtentu ke dalam air murni dengan konsentrasi 0.2 M Larutan precursor selanjutnya digunakan untuk pembuatan nanokomposit ZnO/Fe_2O_3 dengan metode FSP.

Karaterisasi secara fisik ZnO/Fe_2O_3 dilakukan dengan uji magnetik, uji X-Ray Diffractometer (XRD), Uji field emission scanning electron microscopy (FE-SEM), uji field emission transmission electron microscopy (FE-TEM) dan uji Baraunner Emmet Teller (BET). Pengujian FE-SEM dilakukan pada 20 kV menggunakan JSM-6360LA (JEOL, Japan) sedangkan pengujian FE-TEM menggunakan (JEM-3000F,JEOL, Tokyo, Japan) yang dioperasikan pada 300 kV.Pengujian XRD (XRD, RINT 2200V, Rigaku-Denki Corp., Tokyo, Japan) untuk mengetahui komposisi dan kristalinitas partikel dilakukan pada kondisi (x-ray tube: Cu pada 40 kV dan 30 mA) dengan sampling pitch 0.02 derajat dan scan speed 6 derajat/menit. Pengujian BET (Quantachrome Instruments NOVA e 1200, Florida, USA)) dilakukan pada tekanan vakum dan suhu didih normal nitrogen (-195,8^oC)

Pengujian katalitik nanokomposit ZnO/Fe_2O_3 dilakukan pada reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas dan methanol. Minyak goreng bekas dibersihkan dengan penyaringan dan diuji kandungan asam lemak bebas dan asam lemak totalnya dan katalis diaktivasi dengan impregnasi menggunakan larutan KNO_3dan dikalsinasi pada suhu 500^oC selama 5 jam.

Reaksi transesterifikasi dilakukan pada reaktor gelas pyrex yang dilengkapi dengan pegembun uap, pengaduk dan mantel pemanas untuk mengendalikan reaksi pada 65^oC. Katalis nanokomposit ZnO/Fe_2O_3 teraktivasi dengan ratio berat katalis-trigliseride tertentu dicampur dengan metanol dan dimasukkan ke dalam reaktor dengan terus diaduk dan dipanaskan sampai suhu 65^oC. Minyak goreng bekas dengan suhu yang sama dimasukkan ke dalam

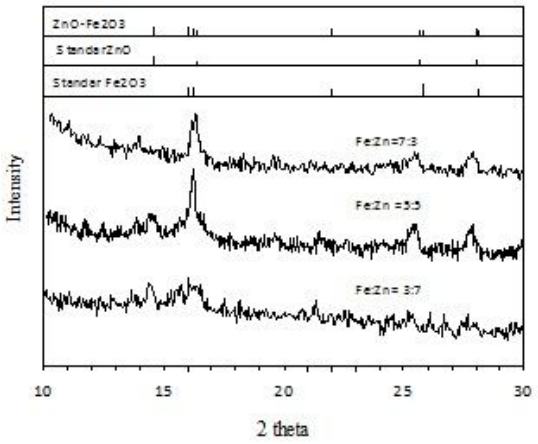
reactor. Reaktor secara terus-menerus diaduk dan dijaganya suhunya konstan 65^{o}C selama reaksi berlansung. Selanjutnya produk reaksi didiamkan agar terpisah menjadi 2 lapisan. Lapisan dan dipisahkan secara dekantasi. Katalis yang terdapat dalam methil ester dipisahkan dengan menggunakan batang magnet. . Katalis yang terpisahkan dihitung sebagai sebagai rekaveri catlyst recovery. Produk yang bebas katalis selanjutnya diuji dengan GC-MS (QP 2010S SHIMADZU, Rastek RXi-5MS column with temperature 80^{o}C, and Carrier gas Helium) untuk menentukan kandungan methyl esternya dan konversi reaksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini diperoleh partikel padatan berwarna perak agak kemerah-merahan. Warna tersebut merupakan warna gabungan dari warna ZnO dan warna Fe_2O_3. Dari pengujian sifat magnet diperoleh bahwa semua partikel padat yang diperoleh terikat oleh magnet, kecuali partikel yang diperoleh dari larutan precursor tan $Fe(NO_3)_3$. Hal ini semakin memperkuat dugaan awal bahwa padatan mengandung Fe_2O_3 dan bersifat magnet. Dari uji magnet menunjukkan bahwa semakin besar kandungan $Fe(NO_3)_3$ dalam larutan precursor semakin kuat partikel tertatik oleh magnet. Hal ini menunjukkan semakin besar kandungan $Fe(NO_3)_3$ dalam larutan precursor semakin besar kandungan Fe_2O_3 dalam partikel. Sifat magnet inilah yang memang ingin ditambahkan ke dalam katalis padat tersebut. Sifat magnet ini dimaksudkan untuk mempermudah pemisahan antara katalis dengan produk biodiesel yang akan dibuat dengan katalis nanokomposit tersebut. Namun demikian kandungan Fe_2O_3 dalam partikel harus dibatasi karena yang bersifat katalitik adalah senyawa ZnO.

Pada pengujian komposisi dan kristalinitas padatan yang dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) diperoleh hasil yang disajikan pada Gambar 5. Dari analisis kurva pengujian XRD diperoleh bahwa semua partikel mengandung ZnO dan Fe_2O_3. Semakin besar komposisi $Zn(NO_3)_2$ dalam larutan precursor semakin dominan kandungan ZnO dalam partikel padatan. Hal ini ditunjukkan puncak-puncak kurva XRD pada komposisi $Zn(NO_3)_2$: $Fe_2(NO_3)_3$ larutan precursor 7:3 yang sesuai kurva standar ZnO lebih jelas dibandingkan pada komposisi yang lain. Sebaliknya pada komposisi $Zn(NO_3)_2$: $Fe_2(NO_3)_3$ larutan precursor 3:7 kurva yang sesuai dengan standar Fe_2O_3 tampak lebih dominan. Untuk komposisi $Zn(NO_3)_2$: $Fe_2(NO_3)_3$ larutan precursor 5:5 puncak-puncak kurva terlihat lebih tinggi. Hal ini karena puncak-puncak kurva standar ZnO dan Fe_2O_2 berada pada sudut 2 theta yang sangat berdekatan. Hal ini pula yang agak menyulitkan dalam analisis XRD. Hasil pengujian dengan XRD menunjukkan bahwa komposis partikel padatan yang diperoleh proporsional terhadap komposisi larutan precursor. Semakin besar kandungan $Fe(NO_3)_3$ dalam larutan precursor semakin besar kandungan Fe_2O_3 dalam partikel. Hasil ini sejalan dengan hasil pengujian dengan magnet.

Pengujian morfologi partikel padatan menggunakan FE-SEM tidak memberikan hasil karena partikel teraglomerasi membentuk gumpalan-gumpalan Dengan demikian FE-SEM tidak mampu membaca ukuran partikel. Untuk dapat membaca ukuran partikel, kemungkinan bisa dilakukan dengan mendispersikan partikel ke cairan yang tidak melarutkan terlebih dahulu baru kemudian dikarakterisasi dengan FE-SEM

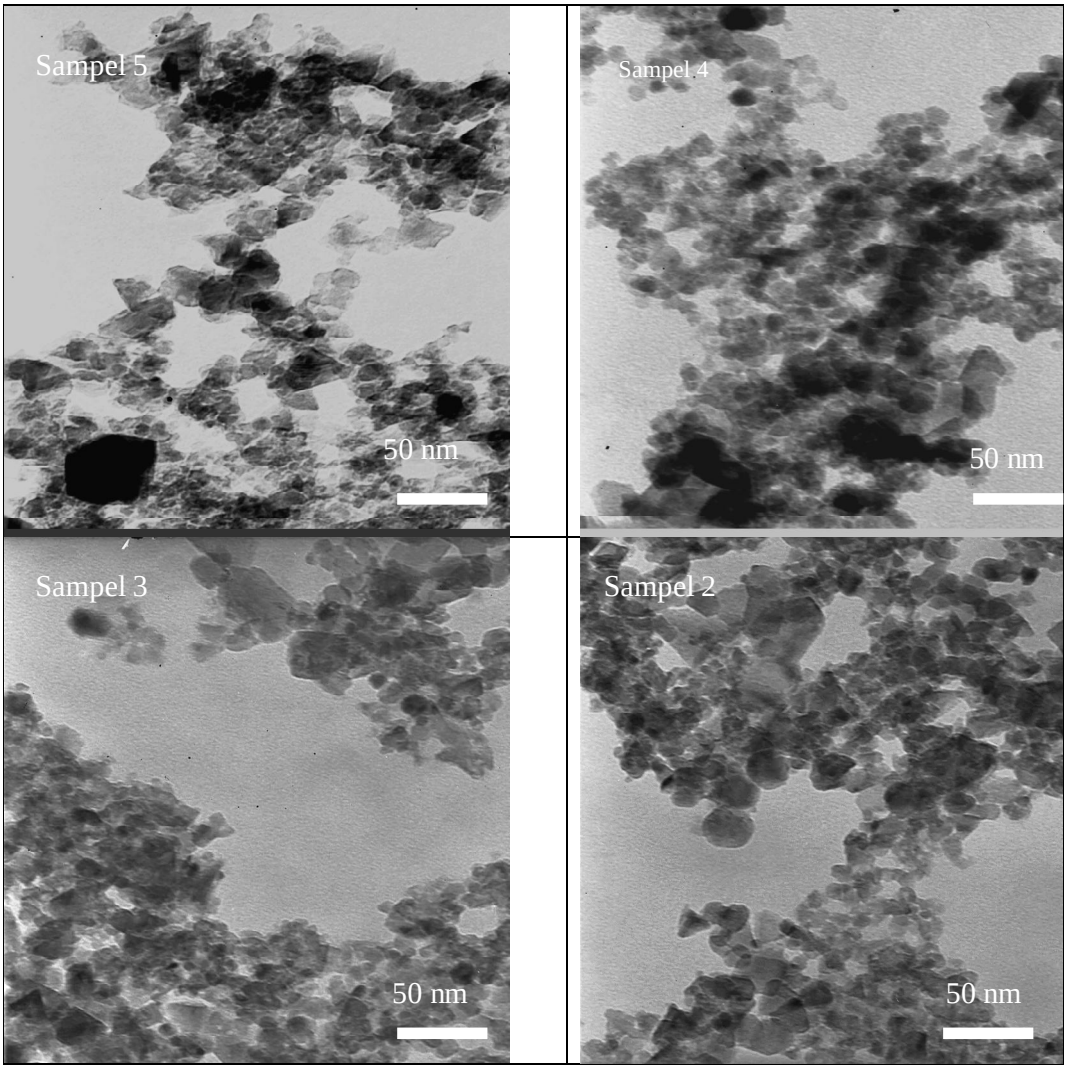


Gambar 5. Kurva XRD pada partikel padatan pada variasi komposisi larutan precusor

Hasil karakterisasi ukuran partikel menggunakan TEM menunjukkan bahwa partikel padatan secara dominan berukuran dibawah 50 nm dan hanya sedikit sekali yang berukuran di atas 50 nm. Dengan demikian, partikel padatan yang diperoleh dari penelitian semuanya berukuran nano.

Hasil karakterisasi menggunakan TEM disajikan pada Gambar 6. Dari Gambar 6 juga dapat dilihat bahwa tidak ada perbedaan yang nyata pada ukuran partikel yang diperoleh dari komposisi larutan precursor yang berbeda. Pada komposisi $Zn(NO_3)_2$: $Fe_2(NO_3)_3$ larutan precursor 10:0 partikel yang diperoleh berukuran antara 20-90 nm, demikian pula untuk komposisi $Zn(NO_3)_2$: $Fe_2(NO_3)_3$ larutan precursor 7:3, 50:50 dan 3:7. Ukuran partikel berkisar antara 20-90 nm. Hasil pengujian TEM juga menunjukkan

komposisi larutan precursor tidak berpengaruh terhadap berpengaruh terhadap ukuran partikel padatan.



Gambar 6. Morfoligi partikel padatan menggunakan TEM pada variasi komposisi larutan precursor

Hasil pengujian BET disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil karakterisasi luas permukaan persatuan masa partikel katalis

No. Sampel	Rasio mol $Zn(NO_3)_2$: $Fe(NO_3)_3$	Luas permukaaan Persatuan massa (m^2/gram)	Konversi ke ukuran partikel * (nm)
2	70 : 30	58,95	18,15
3	50 :50	50,16	21,32
4	30: 70	45,73	23,39

* Dengan asumsi partikel adalah pejal tidak berporidan tidak teraglomerasi

Dari tabel 3 tampak bahwa semakin besar kandungan $Fe(NO_3)_3$ dalam larutan precursor yang berarti semakin besar kandungan Fe_2O_3 dalam partikel, semakin kecil luas permukaan persatuan masa partikel. Hal ini karena semakin besar Fe_2O_3 dalam partikel semakin banyak partikel yang beraglomerasi (menggumpal) sehingga banyak luasan partikel menempel pada luasan permukaan partikel lainnya sehingga memperkecil luas permukaan persatuan masa partikel. Namun demikian luas permukaan persatuan masa partikel dari sampel yang diuji masih cukup besar. Apabila luas permukaan persatuan masa partikel dikonversi

ke ukuran partikel, dimana partikel dianggap pejal dan tidak teraglomerasi diperoleh ukuran partikel berkisar antara 18-25 nm.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tahap pertama ini diperoleh kesimpulan bahwa partikel yang diperoleh adalah nanokomposit ZnO/Fe_2O_3 dengan karakteristik sesuai yang diinginkan, yaitu bersifat tertarik oleh magnet, berukuran nano dan memiliki luas permukaan persatuan masa yang besar magnet. Komposisi ZnO/Fe_2O_3 pada partikel dipengaruhi oleh komposisi $Zn(NO_3)_2$ /$Fe_2(NO_3)_3$ pada larutan precursor. Semakin besar ratio $Zn(NO_3)_2/Fe_2(NO_3)_3$ pada larutan precursor semakin besar ratio ZnO/Fe_2O_3 pada partikel. Ukuran partikel ZnO/Fe_2O_3 tidak dipengaruhi oleh komposisi $Zn(NO_3)_2$ /$Fe_2(NO_3)_3$ pada larutan precursor. Ukuran partikel mayoritas dibawah 50 nm dan kisarannya antara 20-90 nm. Luas permukaan perastuan massa partikel sedikit dipengaruhi oleh komposisi partikel (komposisi precursor), dimana semakin besar kandungan Fe_2O_3 dalam partikel smakin kecil luas permukaan persatuan masa partikel.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Jederal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional melalui dana Penelitian Hibah Bersaing tahun 2009, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

Angelo C. Pinto, Lilian L.N. Guarieiro, Michele J.C. Rezende, Nubia M. Ribeiro, Ednildo A. Torres, Wilson A. Lopes, Pedro A. de P. Pereira and Jailson B. de Andrade, 2005, "Biodiesel: An Overview", Journal of Brazilian Chemcal Society 16, 6B, pp. 1313-1330

Christian Janzen, Jorg Knipping, Bernd Rellinghaus and Paul Roth, 2003, " Formation of silica-embedded iron-oxide nanoparticles in low-pressure flames", Journal of Nanoparticle Research 5, pp. 589–596

Clint R. Bickmore, Kurt F. Waldner, Rita Baranwal, Tom Hinklin, David R. Treadwell, Richard M. Laine, 1998, "Ultrafine Titania by Flame Spray Pyrolysis of a Titranatane Complex", Journal of European Ceramic Society 18, pp 287-297

D. P. Dufaux and R. L. Axelbaum, 1995, " Nanoscale Unagglomerated Nonoxide Particles from a Sodium Coflow Flame", Combustion and Flame 100, pp. 350-358

Dora E. Lopez, Kaewta Suwannakarn, David A. Bruce, James G. Goodwin Jr.m 2007," Esterification and transesterification on tungstated zirconia: Effect of calcination temperature", Journal of Catalysis 247, pp. 43-50

Hee Dong Jang, 2001, "Experimental study of synthesis of silica nanoparticles by a bench-scale diffusion flame reactor", Powder Technology 119, pp. 102–108

Hendrik K Kammler, Luts Madler and Sotiris E. Pratsinis, 2001, "Flame Synthesis of Nanoparticles", Chemical Engineering Technology vol. 24 no 6, pp 583-596

J.M. Makela, H. Keskinen, T. Forsblom, J. Keskinen, 2004, "Generation of metal and metal oxide nanoparticles by liquid flame spray pyrolysis", Journal of Material Science 29, pp 2783-2788

Jaturong Jitputti, Boonyarach Kitiyanan, Pramoch Rangsunvigit, Kunchana Bunyakiat, Lalita Attanatho, Peesamai Jenvanitpanjakul, 2006, "Transeterification of crude palm kernel oil and crude coconut oil by different solid catalysts", Chemical Engineering Journal 116, pp. 61-66

Jon Van Gerpen, 2005, "Biodiesel processing anf production", Fuel Processing Technology 86, pp. 1097-1107

L. Madler, K.H. Kamler, R Mueller and S.E Pratsinis, 2002, "Controlled synthesis of nanostructured particles by flame spray pyrolysis", Aerosol Science 33, pp 369-389

Reto Strobel, Frank Krumeich, Wendelin J. Stark, Sotiris E. Pratsinis and Alfons Baiker, 2004, "Flame spray synthesis of Pd/Al2O3 catalysts and their behavior in enantioselective hydrogenation", Journal of Catalysis 222, pp. 307–314

S. Grimm, M. Schultz, S. Barth, 1997, " Flame pyrolysis-a preparation route for Ultrafine pure γ-Fe2O3 powders and the Control of Their Particle Size and Properties", Journal of Material Science 32, pp 1083-1092

T. Sahm, L. Madler, A. Gurlo, N. Barsan, S. E. Pratsinis, U. Weimar, 2004, "Flame Spray Synthesis of Tin Dioxide Nanoparticles for Gas Sensing", Sensor and Actuators B 98, pp 148-153

Takao Tani, Lutz Madler and Sotiris E. Pratsinis, 2002, "Homogeneous ZnO nanoparticles by flame spray pyrolysis", Journal of Nanoparticle Research 4, pp. 337–343

Takao Tani, Lutz Madler, Sotiris E. Pratsinis, 2002, Synthesis of □-Willemite Nanoparticles by Post-calcination of Flame-made Zinc Oxide/Silica Composites", Part. Part. Syst. Charact. 19, pp. 354-358

Wenlei Xei, Hong Peng, Ligong Chen," Transesterification of soybean oil catalyzed by potassium loaded on alumina as a solid-base catalyst", Applied Catalysis A: General 300, pp. 67-74

Y.C. Kang, D.J. Seo, S.B. Park and H.B. Park, 2002, "Direct synthesis of Strontium Titanate Phosphor particles with high luminescence by flame spray pyrolysis", Material Research Bulletin 37, pp 263-269

Yasumasa Takao and Mitsuo Sando, 2001, "Flame synthesis of Aluminum Nitride Filler-Powder", Journal of Chemical Engineering of Japan 34, 6, pp 828-833.