

Sintesa Penyangga Alumina dan Hidrodesulfurisasi Dibenzothiophene (HDS DBT) dengan Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃

Maria Ulfah¹, Subagio

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Bung Hatta
Kampus III-Univ. Bung Hatta, Jl. Gajahmada No. 19 – Olo Naggalo, Padang
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha no. 10 Bandung 40132
ulfah_nad@yahoo.com

Abstract

Properties of Al₂O₃ support affect the performance of hydrotreating catalysts. Physico-chemical properties of γ -Al₂O₃ is influenced by source boehmite which the source of origin of γ -Al₂O₃ and the manufacturing conditions during the transformation of boehmite into γ -Al₂O₃. This research aims to studying the conditions of manufacture of γ -Al₂O₃ from boehmite "catapal B" for support of hydrotreating catalyst with a surface area of alumina about 200 m²/gram and mechanical strength about 0.5 kg/mm. Research was done by the variation of variables: moles ratio HNO₃/AlOOH, moles ratio NH₃/AlOOH, rate of drying, drying time, and calcination temperature. γ -Al₂O₃ support produced was characterized by XRD, TPD NH₃ and mechanical strength tests. Testing γ -Al₂O₃ as a support of hydrotreating catalysts based nickel-molybdenum was done on hydrodesulfurization of dibenzothiophene (HDS DBT) reaction. The results showed that the manufacturing conditions of boehmite "catapal B" to γ -Al₂O₃ which gives a surface area of alumina about 200 m²/gram and mechanical strength of about 0.5 kg/mm is having mol ratio HNO₃/AlOOH = 0.022; mole ratio NH₃/AlOOH = 0.21; H₂O/AlOOH = 3.4 (mol/mol); drying temperature = 120 °C; the rate of drying temperature = 5 °C/min; drying time = 3 hours; calcination temperature = 550 °C and calcination time = 2 hours.

Key words: hydrodesulfurization, physico-chemical properties of γ -Al₂O₃, support.

1. Pendahuluan

Hydrotreating merupakan salah satu proses katalitik yang penting di kilang minyak bumi, berfungsi untuk menyingkirkan senyawa-senyawa heteroatom sulfur, nitrogen, oksigen, logam (Ni dan V) yang terkandung dalam fraksi-fraksi minyak bumi (nafta, *light oil*, *heavy oil*, dan residu). Selain itu, *hydrotreating* juga digunakan untuk proses penjenuhan hidrokarbon tak jenuh seperti olefin dan aromatik, serta pengurangan residu karbon. Jika kontaminan-kontaminan ini tidak disingkirkan akan memberi efek negatif pada peralatan, katalis, kualitas produk, dan lingkungan. Pada proses *hydrotreating*, penyingkiran sulfur (hidrodesulfurisasi, HDS) merupakan proses yang paling umum dipelajari. Hal ini disebabkan pengotor yang paling banyak terdapat dalam minyak bumi adalah sulfur (Topsoe dkk, 1996).

Hampir seluruh kilang minyak yang ada di dunia saat ini, mengolah minyak bumi dengan kualitas yang buruk.

Setiap tahunnya, densitas minyak bumi yang diolah dan konsentrasi sulfur yang terkandung di dalamnya meningkat hampir linier serta, struktur molekul sulfur yang terkandung dalam cadangan minyak bumi yang tersisa semakin kompleks yaitu kelompok benzothiophene, diantaranya dibenzothiophen (Gary dkk, 1984)

Dibenzothiophene (DBT) kurang reaktif terhadap proses hidrodesulfurisasi karena struktur senyawanya yang cukup kompleks. Jika senyawa ini dapat dihilangkan, maka senyawa-senyawa lain seperti merkaptan, disulfida, sulfida dan thiophene juga dapat dihilangkan. Oleh karena itu, di berbagai referensi senyawa ini sering digunakan sebagai senyawa sulfur model.

Katalis yang cocok untuk proses HDS adalah kobalt-molibdenum (CoMo), akan tetapi untuk HDS tipe sulfur yang kompleks digunakan katalis nikel-molibdenum (NiMo). Penyangga yang umum digunakan pada katalis *hydrotreating* adalah gamma alumina (γ -Al₂O₃). Menurut

Topsoe dkk (2005), alumina tipe gamma sangat menarik untuk digunakan karena memiliki luas permukaan yang besar terutama kira-kira 250–350 m²/g, kestabilan termal yang baik, permukaannya bisa bersifat asam-basa dan mampu meregenerasi aktivitas katalitik setelah pemakaian yang intensif pada kondisi operasi yang ekstrim.

Sifat γ -Al₂O₃ dapat mempengaruhi unjuk kerja katalis *hydrotreating*. Karakteristik alumina yang mempengaruhi unjuk kerja katalis *hydrotreating* adalah: luas permukaan (Okamoto dkk, 1998), ukuran partikel (Crespo, 2007), distribusi ukuran pori, volume pori, kekuatan mekanik (Lussier dan Wallace, 2002) serta sifat keasaman permukaan alumina (Lewandowski dan Sarbak, 2000).

Boehmite (aluminium oxyhydroxide, AlOOH) merupakan sumber utama yang dieksploitasi untuk menghasilkan γ -Al₂O₃. Metoda pembuatan boehmite bermacam-macam, sehingga sifat boehmite yang dihasilkan bervariasi. Wang, (2005) mengemukakan bahwa morfologi dan ukuran partikel boehmite mempengaruhi karakter γ -Al₂O₃ yang dihasilkan.

Saat ini, berbagai macam metode pembuatan γ -alumina seperti sol-gel, presipitasi, hidrolisis alkoksida alumina, dekomposisi termal aluminium sulfat, deposisi uap logam organik dengan Al(CH₃)₃ telah dilakukan. Gamma alumina yang diturunkan dari metoda sol-gel memberikan sejumlah keunggulan yaitu nanostruktur, luas permukaan besar dan kekuatan mekanik yang *superior* (Buelna dan Lin, 1999).

Disamping sumber dan metoda pembuatan boehmite, kondisi pembuatan dari boehmite menjadi γ -Al₂O₃ mempengaruhi sifat gamma alumina yang dihasilkan. Luas permukaan alumina dapat diatur dengan variasi perbandingan asam/aluminium, pH adonan, kondisi pengeringan dan temperatur kalsinasi. Ukuran pori dan distribusi ukuran pori dapat diatur melalui variasi perbandingan asam/aluminium, lamanya pencampuran dan temperatur kalsinasi (www.coastalchem.com). Addiego dan Glenn, (2005) menunjukkan bahwa pH adonan memberikan efek yang sangat signifikan terhadap volume pori alumina dan dalam buletin teknis Alcoa dilaporkan bahwa pengaturan volume pori dilakukan dengan variasi perbandingan asam/aluminium, lamanya pencampuran dan temperatur kalsinasi. Perbandingan asam/alumina dan temperatur kalsinasi juga mempengaruhi kekuatan mekanik gamma alumina.

Penelitian ini ditujukan untuk mempelajari efek kondisi pembuatan γ -Al₂O₃ yang diturunkan dari boehmite dengan merk dagang catapal B terhadap sifat γ -Al₂O₃ produk. Disesuaikan dengan tipe umpan, untuk *hydrotreating* fraksi nafta diperlukan penyangga gamma alumina dengan luas permukaan sekitar 200 m²/g dan kekuatan mekanik 0,5 kg/mm

2. Bahan dan Metode

2.1. Parameter Pembuatan yang Dipelajari

Efek-efek kondisi pembuatan γ -Al₂O₃ dari boehmite “catapal B” yang dipelajari adalah rasio mol NH₃/AlOOH

(0,21; 0,42 dan 0,63), laju kenaikan temperatur (T) ke T pengeringan (2; 5 dan 10 °C/menit), waktu pengeringan (2, 4 dan 6 jam) dan temperatur kalsinasi (550, 600 dan 650 °C). Keempat efek tersebut diterapkan pada sintesis 3 tipe alumina (Al₂O₃), masing-masing Al₂O₃ memiliki rasio mol HNO₃/AlOOH yang berbeda. Tipe alumina pertama (dilambangkan dengan Al₂O₃-1) memiliki rasio mol HNO₃/AlOOH = 0,018, alumina kedua (Al₂O₃-2) dengan HNO₃/AlOOH = 0,022 dan alumina ketiga (Al₂O₃-3) dengan HNO₃/AlOOH = 0,026.

2.2. Karakterisasi γ -Al₂O₃

Identifikasi tipe alumina menggunakan XRD 6000 (Shimadzu) dengan radiasi Cu tanpa filter. Kecepatan dan rentang pemindahan berturut-turut adalah 2 derajat/menit dan 10-80.

Luas permukaan spesifik, distribusi ukuran pori, diameter pori dan volume pori γ -Al₂O₃ diukur dengan uji adsorpsi nitrogen pada temperatur nitrogen cair menggunakan NOVA seri 1000 (Quantachrome). Sebelum adsorpsi nitrogen dilangsungkan, sampel dievakuasi pada 250 °C selama 3 jam (<5 x 10⁻³ Torr).

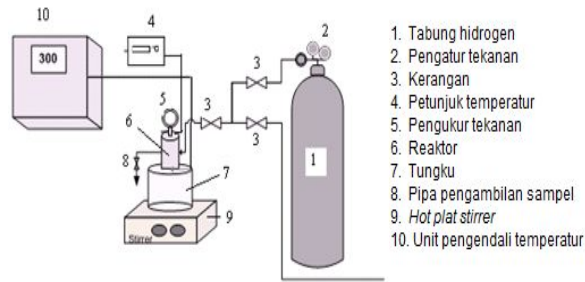
Kekuatan mekanik aksial dilakukan dengan cara memberi beban secara hidrolis terhadap alumina berukuran rata-rata 5 mm dan saat alumina pecah, massa yang dikenakan dicatat.

Pengukuran kekuatan asam alumina (0,5 g) menggunakan *Temperature Programmed Desorption* (TPD) NH₃ pada ChemBet (Quantachrome). Sebelum sampel diukur, sampel dialirkan dengan He (50 ml/menit) pada 250 °C selama 3 jam. Adsorpsi NH₃ dilakukan selama 30 menit dengan laju alir 30 ml/menit dan berikutnya temperatur diturunkan hingga 80 °C. Temperatur desorpsi dinaikkan dari 80 °C dengan laju 10 °C/menit ke temperatur 900 °C.

2.3. Uji Aktivitas Katalis terhadap Reaksi Hidrosulfurisasi Dibenzothiophene (HDS DBT)

Pada penelitian ini, katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ dibuat dengan cara merendam penyangga γ -Al₂O₃ hasil pengembangan dalam larutan NiMo bersifat basa selama 15 menit. Penyangga yang telah terisi oleh prekursor fasa aktif dikeringkan pada temperatur 120 °C selama 3 jam dan dilanjutkan dengan kalsinasi pada 450 °C selama 2 jam.

Reaksi HDS DBT dilangsungkan pada sistem reaktor *batch* dengan rangkaian alat seperti disajikan pada Gambar 1. Katalis yang telah disulfidasi dimasukkan ke dalam reaktor. Setelah dipastikan tidak ada kebocoran dalam sistem, dilakukan *purging* menggunakan gas H₂ dan kemudian temperatur dinaikkan secara bertahap sampai temperatur 300 °C. Tekanan dinaikkan sampai tekanan operasi, yaitu 30 bar. *Stirrer* dinyalakan dan sampel t = 0 diambil.

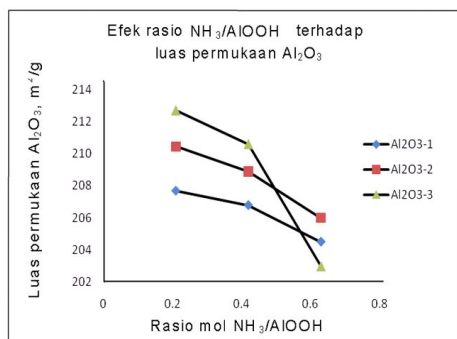


Gambar 1. Rangkaian alat uji reaksi HDS DBT

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kondisi Operasi Optimum Pembuatan γ - Al_2O_3 dari Catapal B

Efek variasi rasio mol NH_3 /boehmite terhadap luas permukaan Al_2O_3 produk disajikan pada Gambar 2. Menurut Okamoto dkk (1998), luas permukaan penyangga merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap aktivitas katalis hydrotreating; semakin besar luas permukaan alumina, dispersi Mo dan distribusi Mo meningkat. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa ketiga jenis Al_2O_3 memiliki kecenderungan yang sama terhadap variasi rasio mol $NH_3/AIOOH$, semakin banyak ammonia yang ditambahkan, luas permukaan (S_A) menurun. Hal ini mungkin penambahan ammonia menyebabkan perubahan ukuran pori, semakin banyak ammonia yang ditambahkan, ukuran pori menjadi lebih besar. Ukuran pori yang besar memiliki luas permukaan yang kecil.

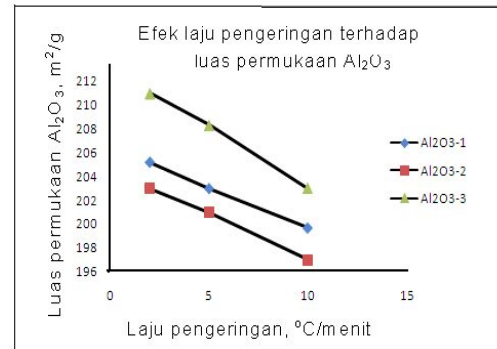


Gambar 2. Efek $NH_3/AIOOH$ terhadap luas permukaan Al_2O_3

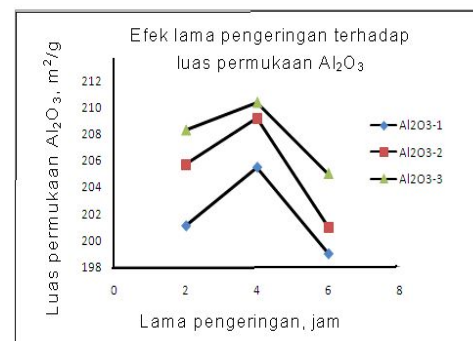
Adonan yang dihasilkan dengan penambahan rasio $NH_3/AIOOH = 0,21$ menghasilkan luas permukaan alumina yang maksimum. Oleh karena itu, pada saat mempelajari variabel-variabel berikutnya: laju pengeringan, waktu pengeringan dan temperatur kalsinasi, rasio mol $NH_3/AIOOH$ yang digunakan adalah 0,21.

Tahap pengeringan merupakan salah satu tahap yang penting dalam pembuatan penyangga alumina. Ketika cairan menguap dari gel berpori, dinding pori mengalami tegangan (*stress*) yang besarnya sama dengan tekanan kapiler. *Stress* dapat menyebabkan runtuhnya dinding pori

(Gawel dkk, 2010). Jika laju kenaikan temperatur ke temperatur pengering cepat, tegangan permukaan antara cairan dan uap meningkat dan tentunya jumlah dinding pori yang runtuh lebih banyak (ukuran pori menjadi lebih besar). Partikel dengan ukuran pori yang besar, umumnya memiliki luas permukaan yang kecil (Crespoa, 2007). Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin besar laju kenaikan temperatur, luas permukaan alumina produk cenderung menurun. Dengan pertimbangan efisiensi waktu, dalam mempelajari efek lama pengeringan dan temperatur kalsinasi, laju kenaikan temperatur ke temperatur pengeringan dan kalsinasi dipilih $5^\circ C/menit$.



Gambar 3. Efek laju temperatur (T) ke T pengeringan terhadap luas permukaan alumina.



Gambar 4. Lama pengeringan terhadap luas permukaan alumina

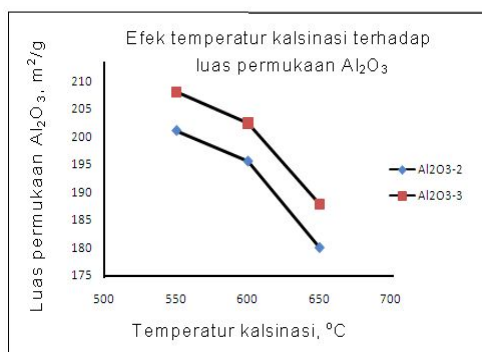
Metoda sol-gel dan pengendapan sering digunakan dalam pembuatan gamma alumina. Dalam proses sol-gel, metoda penyingkiran pelarut sangat penting dan menentukan tekstur produk akhir (Gawel dkk, 2010). Addiego dan Glenn, (2005) berkesimpulan bahwa gamma alumina yang dibuat dengan cara mengeringkan massa yang plastis (*plasticized mass*) pada kondisi tetap lembab (*retaining-moiture condition*) dengan temperatur dan waktu yang cukup hingga memperoleh tahap hidroksilasi dari gamma alumina, akan menghasilkan penyangga dengan kekuatan mekanik dan luas permukaan yang tinggi. Dengan penjelasan di atas, pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa untuk temperatur pengeringan $120^\circ C$ dan waktu pengeringan dalam rentang 2-4 jam, luas permukaan

Tabel 1. Sifat fisika penyangga Al₂O₃ hasil sintesis dan komersial

Penyangga	Luas permukaan (m ² /g)	Dia. Pori rata-rata (Å)	Vol. pori rata-rata (cm ³ /g)
γ-Al ₂ O ₃ - 1	184,7	76,27	0,455
γ-Al ₂ O ₃ - 2	190,0	76,60	0,462
γ-Al ₂ O ₃ - 3	195,1	76,73	0,456
γ-Al ₂ O ₃ kom	220,8	76,31	0,778

bertambah dan sebaliknya berkurang dalam rentang 4 hingga 6 jam.

Kecendrungan ketiga Al₂O₃ sama, sehingga dalam mempelajari efek temperatur kalsinasi, hanya dilakukan terhadap Al₂O₃ tipe 2 dan 3. Kalsinasi dapat menstabilkan kekuatan mekanik alumina tetapi, dapat juga mengakibatkan sintering dan runtuhnya dinding pori-pori berukuran kecil menjadi pori-pori berukuran besar (Richardson, 1989). Sintering bertambah dan jumlah peruntukan dinding pori-pori yang berukuran kecil menjadi lebih banyak dengan meningkatnya temperatur kalsinasi. Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa luas permukaan alumina berkurang dengan meningkatnya temperatur kalsinasi.



Gambar 5. Efek temperatur kalsinasi terhadap luas permukaan Al₂O₃

Berdasarkan paparan di atas, kondisi optimum pembuatan γ-Al₂O₃ dari catapal B sebagai berikut: rasio mol NH₃/boehmite: 0,21, kondisi pengeringan: temperatur, waktu, dan laju kenaikan temperatur ke T pengering adalah 120 °C, 5 °C/mnt, dan 3 jam. Untuk kondisi kalsinasi: temperatur, laju kenaikan temperatur ke T kalsinasi dan waktu kalsinasi berturut-turut adalah 550 °C, 5 °C/mnt dan 2 jam.

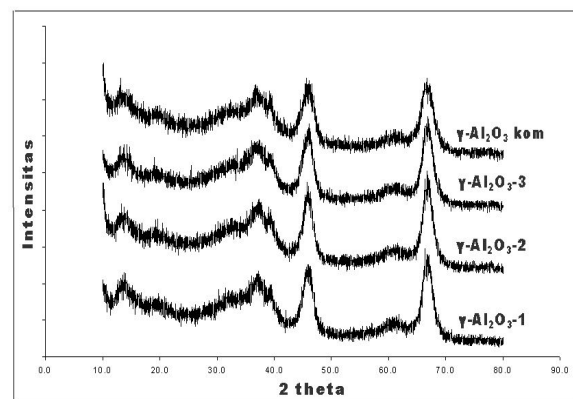
3.2. Sifat Fisika-Kimia γ-Al₂O₃ Hasil Sintesis

Luas permukaan ketiga jenis Al₂O₃ berbeda untuk variasi rasio mol HNO₃/AIOOH. Semakin tinggi rasio mol HNO₃/AIOOH semakin besar luas permukaan dan berdasarkan luas permukaan, urutan ketiga jenis Al₂O₃ adalah: tipe 3 > tipe 2 > tipe 1. Berikutnya, untuk memahami lebih rinci sifat fisika-kimia γ-Al₂O₃ produk dari catapal B, maka dibuat Al₂O₃ dengan berbeda beda

rasio mol HNO₃/AIOOH dan variabel lainnya dibuat sama yaitu pada kondisi optimum.

X-ray diffratogram (XRD)

Difraksi sinar-X (XRD) serbuk merupakan metoda umum digunakan untuk identifikasi bahan. Setiap jenis bahan akan memiliki pola difraksi yang berbeda-beda. Gambar 6 memperlihatkan pola XRD dari ketiga Al₂O₃ hasil sintesis dan γ-Al₂O₃ komersial. Ketiga Al₂O₃ hasil sintesis merupakan alumina tipe gamma, ditunjukkan dengan adanya puncak-puncak yang spesifik hadir untuk tipe γ yaitu pada 2θ: 37 °, 46 ° dan 67 ° (Okamoto dkk, 1998). Di samping mengenali tipe bahan dengan kemunculan puncak-puncak yang khas pada difraktogram, cara lainnya adalah membandingkan pola difraktogram dengan γ-Al₂O₃ komersial. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa pola difraktogram ketiga Al₂O₃ hasil sintesis sama dengan γ-Al₂O₃ komersial.



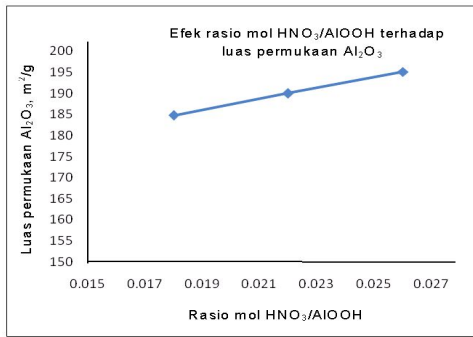
Gambar 6. Pola XRD Al₂O₃ hasil sintesis dan komersial

Adsorpsi N₂

Adsorpsi nitrogen merupakan metoda yang digunakan untuk menentukan luas permukaan, diameter pori, distribusi ukuran pori dan volume pori bahan. Sifat fisika dari ketiga tipe γ-Al₂O₃ dan γ-Al₂O₃ komersial sebagai pembedan diberikan pada Tabel 1 dan Gambar 7.

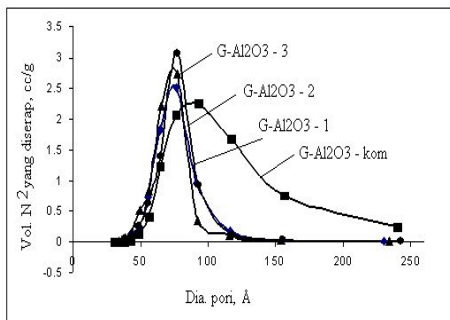
Berdasarkan luas permukaan, urutan ketiga penyangga hasil sintesis sebagai berikut: γ-Al₂O₃ - 3 > γ-Al₂O₃ - 2 > γ-Al₂O₃ - 1. Luas permukaan alumina hasil sintesis tidak sama, jumlah asam nitrat yang ditambahkan berbeda-beda pada masing-masing alumina. Penambahan asam nitrat yang lebih banyak (dalam rentang rasio mol HNO₃/AIOOH

= 0,018 - 0,026) dapat meningkatkan luas permukaan γ - Al_2O_3 yang dibuat dari catapal B.



Gambar 7. Efek rasio mol $\text{HNO}_3/\text{AlOOH}$ terhadap luas permukaan Al_2O_3 .

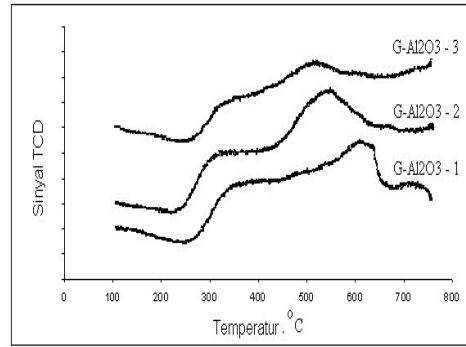
Profil distribusi pori penyangga hasil sintesis dan komersial disajikan pada Gambar 8. Ketiga γ - Al_2O_3 hasil sintesis memperlihatkan distribusi ukuran pori yang sama dengan ukuran pori dalam rentang 30 – 150 Å. Berdasarkan ukuran pori tersebut, ketiga γ - Al_2O_3 hasil sintesis hanya memiliki ukuran pori mesopore (20-500 Å). Penyangga komersial juga hanya memiliki ukuran pori mesopore tetapi dengan distribusi yang lebih lebar 30 – 250 Å. Diameter pori rerata penyangga hasil sintesis dan komersial hampir sama yaitu sekitar 76 Å.



Gambar 8. Profil distribusi ukuran pori γ - Al_2O_3 hasil sintesis dan komersial.

Temperature Programmed Desorption-(TPD) NH_3

Sifat kimia penyangga γ - Al_2O_3 yang berupa tingkat keasaman ditentukan dengan menggunakan TPD- NH_3 . Profile TPD- NH_3 dari γ - Al_2O_3 hasil sintesis disajikan pada Gambar 9. Perbedaan yang utama diantara ketiga alumina tersebut adalah di atas temperatur 600 °C, kurva dari γ - Al_2O_3 -1 dan 2 cenderung turun sedangkan kurva dari γ - Al_2O_3 -3 relatif konstan. Ini menunjukkan bahwa γ - Al_2O_3 -3 memiliki kekuatan asam yang lebih tinggi dibanding γ - Al_2O_3 -1 dan 2.



Gambar 9 Profil TPD- NH_3 γ - Al_2O_3 hasil sintesis

Pengukuran kekuatan mekanik

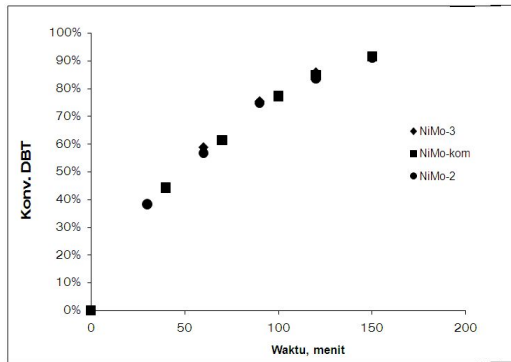
Tabel 2 menyajikan kekuatan mekanik aksial dari masing-masing penyangga alumina. Penambahan asam nitrat yang lebih banyak (dalam rentang rasio mol $\text{HNO}_3/\text{AlOOH} = 0,018 - 0,026$) meningkatkan kekuatan mekanik alumina. Ini mungkin peningkatan jumlah asam nitrat (sebagai *peptizer*) menyebabkan ikatan antara partikel-partikel boehmite menjadi lebih kompak.

Tabel 2. Kekuatan mekanik γ - Al_2O_3 hasil sintesis dan komersial.

Penyangga	Crushing strength, kg/mm
γ - Al_2O_3 - 1	0,33
γ - Al_2O_3 - 2	0,83
γ - Al_2O_3 - 3	0,9
γ - Al_2O_3 - kom	1,52

Uji γ -alumina Hasil Pengembangan sebagai Penyangga Katalis Hydrotreating

Pemilihan γ - Al_2O_3 sebagai kandidat penyangga katalis *hydrotreating* tidak hanya berdasarkan sifat fisika-kimia, namun perlu pengujian aktivitas. Katalis NiMo dengan penyangga γ - Al_2O_3 -1 memiliki kekuatan mekanik yang rendah dibanding dua katalis lainnya, sehingga tidak dilakukan uji aktivitas. Penyangga γ - Al_2O_3 -2 memiliki luas permukaan yang lebih kecil dan kekuatan asam yang lebih rendah dari γ - Al_2O_3 -3, akan tetapi aktivitas katalis NiMo dengan penyangga γ - Al_2O_3 -2 dan NiMo berpenyangga γ - Al_2O_3 -3 relatif sama terhadap reaksi hidrodesulfurisasi dibenzothiophene (HDS DBT). Gambar berikut ini menyajikan aktivitas katalitik reaksi HDS DBT menggunakan NiMo/ γ - Al_2O_3 -2, NiMo/ γ - Al_2O_3 -3 dan NiMo/ γ - Al_2O_3 -kom. Berdasarkan sifat fisik dan hasil evaluasi aktivitas katalitik, γ - Al_2O_3 -3 merupakan kandidat penyangga yang cocok untuk proses *hydrotreating* khususnya untuk fraksi nafta.



Gambar 10. Aktivitas katalis hasil sintesis dan komersial terhadap reaksi HDS DBT

4. Kesimpulan

Kondisi bahan, kondisi proses, dan prosedur pembuatan sangat mempengaruhi sifat fisika-kimia γ - Al_2O_3 . Dengan resep dan prosedur yang dikembangkan telah diperoleh γ - Al_2O_3 yang memiliki luas permukaan spesifik sekitar 200 m^2/g , volum pori sekitar 0,5 ml/g, dan kekerasan > 0,5 kg/mm. Untuk mendapatkan spesifikasi γ - Al_2O_3 demikian maka, kondisi pembuatan sebagai berikut: rasio mol $\text{HNO}_3/\text{AlOOH}$ adalah 0,022, rasio mol $\text{NH}_3/\text{boehmite}$ adalah 0,21, kondisi pengeringan: temperatur, waktu, dan laju kenaikan temperatur ke temperatur pengering berturut-turut adalah 120 °C, 5 °C/mnt, dan 3 jam. Untuk kondisi kalsinasi: temperatur, laju kenaikan temperatur ke temperatur kalsinasi dan waktu kalsinasi berturut-turut adalah 550 °C, 5 °C/mnt dan 2 jam. Gamma alumina dengan sifat seperti itu sangat cocok untuk penyanga katalis *hydrotreating* nafta.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Pertamina (persero) yang telah berkenan mendanai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Addiego, W. P., dan Glenn, E., 2005. *High Strength Alumina Cements*, US Paten 2004041357.
- Buelna, G., dan Lin, Y.S., 1999. Sol-Gel Derived Mesoporous γ - Al_2O_3 Granules, *Microporous and Mesoporous Materials*, 30, 359-369.

Crespo, M.A.D., 2007, Support Effects on Hydrotreating Activity of NiMo Catalysts, *Materials Characterization*, 58, 864-873.

Gary, James H., Glenn E. Handwerk, and Mark J. Knipper. 1984. *Petroleum Refining Technology and Economics*. 5th ed. CRC Press.

Gawel, B., Gawel, K., dan Øye, G., 2010. Sol-Gel Synthesis of Non-Silica Monolithic Materials, *Materials*, 3, 2815-2833.

Lewandowski, M., dan Sarbak, Z., 2000. The effect of Boron Addition on Hydrodesulfurization and Hydrodenitrogenation Activity of NiMo/ Al_2O_3 Catalyst, *Fuel*, 79, 487-495

Lussier, R.J., dan Wallace, M.D., 2002. *Alumina Trihydrate Derived High Pore Volume, High Surface Area Aluminum Oxide Composite and Methods of Their Preparation and Use*, US paten 640356B1.

Okamoto, Y., Arima, Y., Nakai, K., Umeno, S., Katada, N., Yoshida, H., Tanaka, T., Yamada, M., Akai, Y., Segawa, K., Nishijima, A., Matsumoto, H., Miki Niwa and, Uchijima, T., 1998. A Study on The Preparation of Supported Metal Oxide Catalysts Using JRC-Reference Catalysts. I. Preparation of a Molybdena-Alumina Catalyst. Part 1. Surface Area of Alumina, *Applied Catalysis A: General*, 170, 315 - 328.

Richardson, 1989. *Principle of Catalyst Development*, Plenum Press, New York.

Topsoe, H., Clausen, B.S., dan Masssoth, F.E., (1996): *Hydrotreating Catalysis: Science and Tecnology*, Springer, Jerman.

Topsoe, H., Hinnemann, B., Nørskov, J.K., Jeppe V. Lauritsen, J.V., Besenbacher, F., Poul L. Hansen, P.L., Hytoft, G., Egeberg, R.G., dan Knudsen, K.G., 2005. The Role of Patways and Support Interactions in the Development of High Activity Hydrotreating Catalyst, *Catalyst Today*, 107 - 108, 12 -22

Wang, X., 2005. Preparation of High Thermal-Stabile Alumina by Reverse Microemulsion Method, *Material Chemistry and Physics*, 90, 225-229.

www.coastalchem.com/PDFs/Alcoa/Extrusion%20of%20HiQ%20Alumina.pdf, 17 Juli 2010.