

PROSES DESULFURISASI SECARA OKSIDATIF (ODS) MENGUNAKAN KATALIS TI-MCM-41

(Oxidative Desulphurisation (ODS) Process Using TI-MCM-41 Catalyst)

Slamet Handoko dan Syntha Nardey

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan

Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

email: shandoko@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi tanggal 5 Januari 2015; Diterima tanggal 16 Februari 2015; Disetujui terbit tanggal: 31 Agustus 2015.

ABSTRAK

Selama ini, proses Hydrodesulphurization (HDS) sebagai unit pengurangan kadar sulfur yang ada di kilang belum mampu menghilangkan sulfur bermolekul besar seperti di *Benzothiophene* dan derivatifnya seperti 4,6-dimethyldi *Benzothiophene* (4,6-DMDBT). Pada penelitian ini, proses desulfurisasi secara oksidatif (oxidative desulphurization, ODS) dengan menggunakan katalis Ti-MCM-41C dan Ti-MCM-41S dipelajari untuk menurunkan kandungan sulfur pada proses pembuatan BBM. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu pembuatan katalis, karakterisasi katalis, uji coba proses ODS skala laboratorium dan analisis produk proses ODS. Hasil Uji BET Surface Area menunjukkan bahwa katalis Ti-MCM-41C dan Ti-MCM-41S memiliki diameter pori rata-rata 27.92 Å dan 27.10 Å sehingga telah memenuhi spesifikasi sebagai katalis mesopori. Kinerja kedua katalis dalam proses ODS skala laboratorium cukup tinggi dilihat dari terjadinya penurunan kandungan senyawa sulfur yakni sebesar 83.98% dengan menggunakan Ti-MCM-41C dan 89.82% untuk Ti-MCM-41S.

Kata Kunci: Proses desulfurisasi secara oksidatif (ODS), katalis Ti-MCM-41C, katalis Ti-MCM-41S, katalis mesopori.

ABSTRACT

HDS process for reducing sulfur content in refinery can not eliminate larger molecules sulfur such as diBenzothiophene and its derivative, 4,6-dimethyldiBenzothiophene (4,6-DMDBT). In this research, desulfurization through an oxidation reaction (oxidative desulphurization, ODS) using Ti-MCM-41C and Ti-MCM-41S is studied to reduce larger molecules sulfur concentration in gasoline production. This research consists of several stages, namely: creating catalyst, catalyst characterization, laboratory scale test for ODS process and finally analysis of ODS process production. Analysis of BET surface area test has shown that Ti-MCM-41C and Ti-MCM-41S have porous diameter of 27.92 Å and 27.10 Å, respectively, so that they have successfully met the specification as mesopore catalyst. Their performance in laboratory scale are relatively high in terms of sulfur concentration reduction, 83.98% for Ti-MCM-41C and 89.82% for Ti-MCM-41S.

Keywords: *oxidative desulphurization process, Ti-MCM-41C catalyst, Ti-MCM-41S catalyst, mesopore catalyst.*

I. PENDAHULUAN

Kehadiran senyawa sulfur dalam bahan bakar minyak merupakan masalah yang besar baik bagi lingkungan maupun bagi proses katalitik di kilang minyak, karena itu beberapa negara telah mengeluarkan regulasi untuk menurunkan batas kandungan sulfur didalam bahan bakar minyak. Tahun 2006 Amerika Serikat membatasi kandungan sulfur maksimal 15 ppm, mulai tahun 2005 di Eropa telah menetapkan kadar sulfurnya harus kurang dari 10 ppm dan sejak tahun 2008 kadar sulfur di Beijing dan Shanghai Cina hanya 50 ppm. Indonesia masih memberikan batas kandungan kadar sulfur dalam bahan bakar solar cukup tinggi yakni sebesar 3.500 ppm solar dan 300 ppm untuk biosolar (Keputusan Dirjen Migas No. 3675 & No. 13483 Tahun 2006). Proses yang umum digunakan di kilang minyak bumi untuk mengurangi kadar sulfur adalah proses hidrodesulfurisasi (HDS). Proses ini sangat efisien untuk menghilangkan tiol, sulfida dan disulfida namun sulit untuk mengurangi senyawa sulfur seperti di*Benzothiophene* dan derivatifnya terutama 4,6-dimethyldi*Benzothiophene* (4,6-DMDBT). Penghilangan senyawa-senyawa tersebut dari solar dengan menggunakan proses HDS diperlukan suhu tinggi, tekanan tinggi (350°C dan 100 bar), dan konsumsi hidrogen yang tinggi pula sehingga modal yang besar dan biaya operasi yang tinggi tidak dapat dihindari (Campos-Martin et al, 2005).

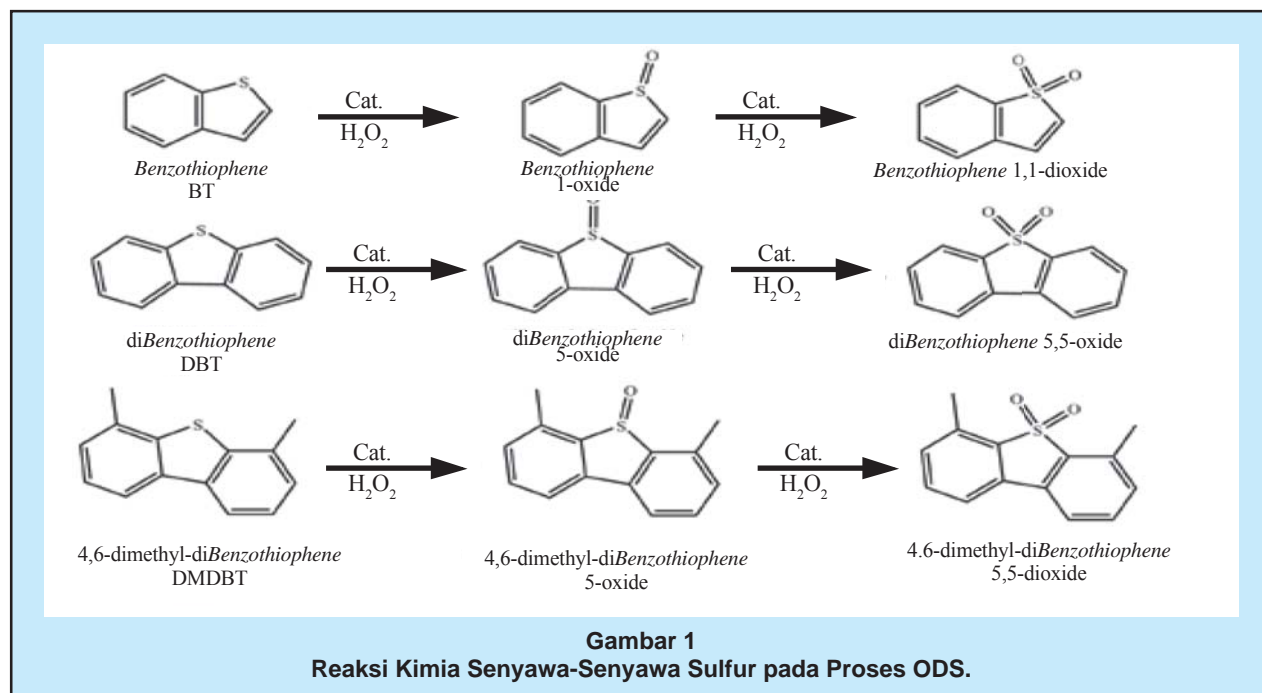
Proses desulfurisasi menggunakan desulfurisasi oksidatif (ODS) merupakan teknologi alternatif untuk dipertimbangkan di masa yang akan datang.

Proses desulfurisasi ini melibatkan dua tahap reaksi, tahapan yang pertama adalah oksidasi dan tahapan yang kedua adalah ekstraksi cairan (Campos-Martin et al,2005). Keuntungan menggunakan proses ODS adalah proses ini terjadi pada kondisi reaksi ringan (kurang dari 100°C dan tekanan atmosfer), tidak memerlukan hidrogen yang mahal dan senyawa-senyawa sulfur (thiophene, 2-methylthiophene, *Benzothiophene*, 2-methyl*benzothiophene*, dibenzothiophen, 4-methyldi*Benzothiophene*, dan 4,6-dimethyldi*Benzothiophene*) dengan mudah dapat teroksidasi (Campos-Martin et al. 2005). Perbandingan proses HDS dan ODS dapat dilihat pada Tabel 1.

Proses ODS membutuhkan oksidan tertentu yang mampu mengkonversi senyawa-senyawa sulfur menjadi bentuk yang lebih polar sehingga mudah untuk dipisahkan dari bahan bakar minyak. Pengoksidan yang paling baik digunakan adalah hidrogen peroksida karena mudah didapatkan dan hanya menghasilkan air sebagai produk sampingnya, namun kendalanya adalah H₂O₂ yang bersifat polar tidak dapat bercampur dengan fasa minyak yang bersifat nonpolar, sehingga reaksi senyawa-senyawa sulfur (thiophene, 2-methylthiophene, *Benzothiophene*, 2-methyl*benzothiophene*, dibenzothiophen, 4-methyldi*Benzothiophene*, dan 4,6-dimethyldi*Benzothiophene*) menggunakan hidrogen peroksida untuk menghasilkan sulfoxides dan sulfones (Gambar 1) membutuhkan penambahan solven lainnya untuk memfasilitasi terjadinya reaksi. Penambahan solven dalam reaksi ODS perlu

Tabel 1
Perbandingan Proses HDS dan ODS

NO	KRITERIA	ODS	HDS
1.	Aplikasi feedstock	Gas Oils dan produk HDS	Gas Oil, LCO,HCO
2.	Sulfur feedstoc	< 4500 ppm S	500 – 9000 ppm S
3.	Produk	<10 ppm sulfur	< 10 ppm sulfur
4.	Hidrogen	Non	450 – 550 ft ³ /bbl
5.	Temperatur operasi	80 °C	280 – 350 °C
6.	Tekanan operasi	Tekanan atm	45 – 80 atm
7.	Tambah unit	Non	Plant Syngas dan H ₂
8.	Total kapital Cost (US\$/bpd)	1000 - 1500	2500 - 3500



dihindari karena tidak ekonomis, oleh karena itu perlu dicari teknologi lain yakni menggunakan katalis yang sangat aktif sehingga reaksi dapat berlangsung cepat dan tanpa penambahan solven lainnya.

Proses desulfurisasi senyawa siklik dan aromatik dari bahan bakar minyak menggunakan proses desulfurisasi oksidatif (ODS) telah banyak dikembangkan menggunakan katalis mesopori yang mengandung logam Titan dan senyawa peroksida. Dalam hal ini hidrogen peroksida bereaksi dengan katalis mesopori untuk menghasilkan hidroksil radikal ($\cdot\text{OH}$) bebas, agen oksidan yang sangat kuat yang bereaksi dengan senyawa sulfur untuk menghasilkan sulfoxides dan sulfones. Senyawa ini adalah senyawa yang lebih polar daripada spesies yang tidak teroksidatif, sehingga dapat dengan mudah dipisahkan dari bahan bakar minyak.

Hulea et al dan Corma et al. mempelajari reaksi sulfida oleh hidrogen peroksida pada zeolit TS-1 dan Ti-Beta dan hidrogen peroksida (H_2O_2) dan ters-butyl hidroperoksida (TBHP) pada Ti-Beta dan TI-MCM-41, dengan menggunakan berbagai pelarut organik (Hulea et al. 1996, Corma et al. 1996). TS-1 kurang aktif untuk senyawa sulfur dengan ukuran molekul besar karena akses yang terbatas molekul-molekul pada pori-pori zeolit. Sebaliknya, molekul dengan ukuran pori-pori besar, seperti Ti-Beta dan TI-MCM-41, sangat aktif dalam fase cair ketika sejumlah besar pelarut (metanol, etanol, atau asetonitril) digunakan untuk memfasilitasi H_2O_2 .

Zhao et al. mempelajari metode terbaru yakni oksidatif fotokatalitik dibenzothiophen dengan

hidrogen peroksida menggunakan Ti mengandung zeolit (TS-1) sebagai fotokatalis pada iradiasi lampu ultraviolet (Zhao et al. 2009). Pengaruh jumlah fotokatalitik dan konsentrasi hidrogen peroksida diselidiki secara rinci dan didapatkan jumlah optimal fotokatalitik dan konsentrasi hidrogen peroksida adalah 0,1 g/10 mL dan 3 ml/10 mL dan tidak terjadi penurunan aktifitas fotokatalitik setelah penggunaan katalis sebanyak 5 kali. Oksidatif fotokatalitik dapat mengurangi kandungan sulfur dalam minyak solar menjadi kurang dari 100 ppm, dimanahasil oksidatif dalam fase minyak dan sebagian besar produk oksidatif di transfer ke fase air, sehingga terjadi pengurangan dibenzothiophen dari fase n-oktan tanpa ekstraksi dengan pelarut.

Proses ODS dengan katalis $\text{MoOx}/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang telah dilaporkan oleh UOP merupakan katalis oksidatif aktif (Kocal & Brandvold, 2002) terhadap oksidatif desulfurisasi, namun terjadi penurunan aktifitas katalis lebih cepat karena terjadinya adsorpsi sulfon pada permukaan katalis tersebut.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya seperti yang telah diuraikan di atas, penggunaan katalis berbasis TI-MCM-41 mempunyai potensi yang besar untuk digunakan dalam proses desulfurisasi secara oksidatif (ODS) karena merupakan katalis mesopori sehingga dapat memfasilitasi terjadinya reaksi bagi senyawa-senyawa sulfur yang memiliki ukuran molekul yang besar seperti senyawa tiopene beserta turunannya dan penggunaan logam Ti yang sangat aktif dapat membantu dalam proses oksidasi

senyawa-senyawa sulfur menjadi senyawa sulfones sehingga dapat dengan mudah dipisahkan dari bahan bakar minyak. Katalis Ti-MCM 41 juga lebih stabil hal ini dapat meminimalkan leaching logam Ti oleh H_2O_2 sehingga dapat meningkatkan umur katalis. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan katalis mesopori Ti-MCM-41C dan Ti-MCM-41S yang memiliki kemampuan yang baik dalam proses desulfurisasi secara oksidatif (ODS) senyawa-senyawa thiopen dan turunannya menggunakan larutan H_2O_2 tanpa penambahan solven lainnya.

II. BAHAN DAN METODE

Pembuatan Katalis

Katalis Ti-MCM-41C dan Ti-MCM-41S dibuat dengan metode *hydrothermal synthesis* (HTS) menggunakan CTABr (*cetyltrimethylammonium bromide*) dan larutan TMAOH (*tetramethylammonium hydroxide*) sebagai template, Ludox HS-40 sebagai sumber silika, Titanium (IV) ethoxide [$Ti(OEt)_4$] sebagai sumber logam titanium dan Aquabides dengan perbandingan komposisi molar sebagai berikut:

SiO_2 : 0,015 $Ti(OEt)_4$: 0,26 CTABr : 0,26 TMAOH : 24,3 H_2O .

Padatan CTABr dilarutkan dengan sejumlah air dan diaduk sampai homogen. Larutan TMAOH ditambahkan sedikit sumber Silika yakni Ludox HS-40 dan diaduk selama 5 menit, kemudian larutan ini dicampurkan dengan larutan CTABr dan diaduk selama 15 menit. Larutan silika sisanya kemudian ditambahkan berikutnya dan diaduk selama 30 menit dan tambahkan larutan $Ti(OEt)_4$ sambil terus diaduk menggunakan rotor pengaduk selama 120 menit sampai membentuk gel. Gel kemudian dipindahkan ke dalam autoclave reactor (Gambar 2) untuk proses kristalisasi dengan dipanaskan pada temperatur $100^\circ C$ selama 48 jam. Padatan yang telah terbentuk kemudian dicuci dengan aquabides dan dikeringkan kembali di dalam oven pada suhu $100^\circ C$ semalaman.

Padatan yang telah kering kemudian dikalsinasi pada temperatur $540^\circ C$ sambil dialirkan gas nitrogen ($2.5\text{ cm}^3/s$) selama 1 jam, kemudian dilanjutkan dengan dialirkan udara ($2.5\text{ cm}^3/s$) selama 6 jam. Produk katalis pada tahapan ini disebut dengan Ti-MCM-41C. Katalis yang telah selesai dikalsinasi kemudian sebagian diambil untuk proses sililasi. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan sifat hidrofobik katalis sehingga dapat menurunkan adsorpsi sulfonat di permukaan katalis yang lebih lanjut dapat mempercepat deaktivasi katalis tersebut.



Gambar 2
Autoclave Reactor untuk Proses Kristalisasi Katalis.

Proses sililasi menggunakan *hexamethyldisilazane* (HMDS) sebagai *silylating agent* yang dicampur dengan toluena dan diaduk sampai homogen selama kurang lebih 10 menit dengan dialirkan gas nitrogen, kemudian katalis yang telah dikalsinasi dan dikeringkan pada temperatur $300^\circ C$ selama 3 jam dimasukkan ke dalam larutan tersebut dan proses sililasi dilakukan pada temperatur $120^\circ C$ selama 2 jam. Sampel katalis yang telah melalui proses sililasi kemudian di saring dan dicuci dengan 250 mL toluena lalu dikeringkan pada suhu $60^\circ C$ semalaman. Produk katalis pada tahapan ini disebut dengan Ti-MCM-41S.

Unjuk kerja katalis diuji dengan percobaan proses desulfurisasi secara oksidatif (ODS). Proses ODS dilakukan dengan menggunakan umpan *simulated fuel* yang terdiri dari 80%-berat n-Heptana, 20%-berat toluena dan 1200 ppm kandungan senyawa sulfur total. Senyawa sulfur yang terkandung dalam *simulated fuel* terdiri dari empat jenis yakni *Benzothiophene* (BT), *DiBenzothiophene* (DBT), *4-methyldiBenzothiophene* (4-MDBT) dan *4,6-dimethyldiBenzothiophene* (4,6-DMDBT) dengan konsentrasi masing-masing 300 ppm.

Karakterisasi Katalis

Karakterisasi katalis yang dilakukan adalah analisa luas permukaan, analisa volume pori, analisa

diameter pori dan analisa kristalinitas. Analisa luas permukaan, volume pori dan diameter pori katalis Ti-MCM-41C dan Ti-MCM-41S dilakukan dengan metode BET (*Brunauer-Emmett-Teller method*) menggunakan gas N_2 , sedangkan analisa kristalinitasnya dilakukan dengan XRD.

Proses Desulfurisasi secara Oksidatif (ODS)

Percobaan proses desulfurisasi secara oksidatif (ODS) dilakukan dengan menggunakan umpan *simulated fuel* (Gambar 3) yang terdiri dari n-Heptana 80 %-berat, toluene 20 %-berat dan kandungan senyawa sulfur total 1200 ppm. Senyawa sulfur yang terkandung dalam *simulated fuel* ini terdiri dari empat jenis yakni *Benzothiophene* (BT), *DiBenzothiophene* (DBT), *4-methylDiBenzothiophene* (4-MDBT) dan *4,6-dimethylDiBenzothiophene* (4,6-DMDBT) dengan masing-masing konsentrasinya adalah 300 ppm.

Proses ODS dilakukan dalam serangkaian peralatan reaktor *batch* seperti yang terlihat pada Gambar 4, dimana labu leher tiga volume 500 mL sebagai reaktor dihubungkan dengan kondenser yang dialirkan air dingin yang berfungsi untuk mengkondensasi uap-uap yang mungkin timbul sehingga kehilangan pereaktan dapat dihindari. Pada salah satu leher labu tiga kemudian dipasangkan sebuah termometer untuk mengukur dan memantau temperatur reaksi dan sebagai alat pengaduk dimasukkan *magnetic stirrer* yang dihubungkan dengan hot plate sebagai pemanas.

Percobaan ODS dalam reaktor *batch*, dilakukan pada temperatur 80°C dan tekanan 1 atm selama 30 menit, dimana 0.5 gram katalis dimasukkan ke dalam reaktor kemudian ditambahkan *simulated fuel* 300 mL dan 0.07330 mL H_2O_2 30% sebagai pengoksidan. *Simulated fuel* hasil proses ODS kemudian didinginkan dan disaring. *Simulated fuel* kemudian dianalisa dengan *Gas Chromatography* sebelum dan sesudah proses ODS untuk melihat penurunan senyawa-senyawa sulfur didalamnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Karakterisasi Katalis

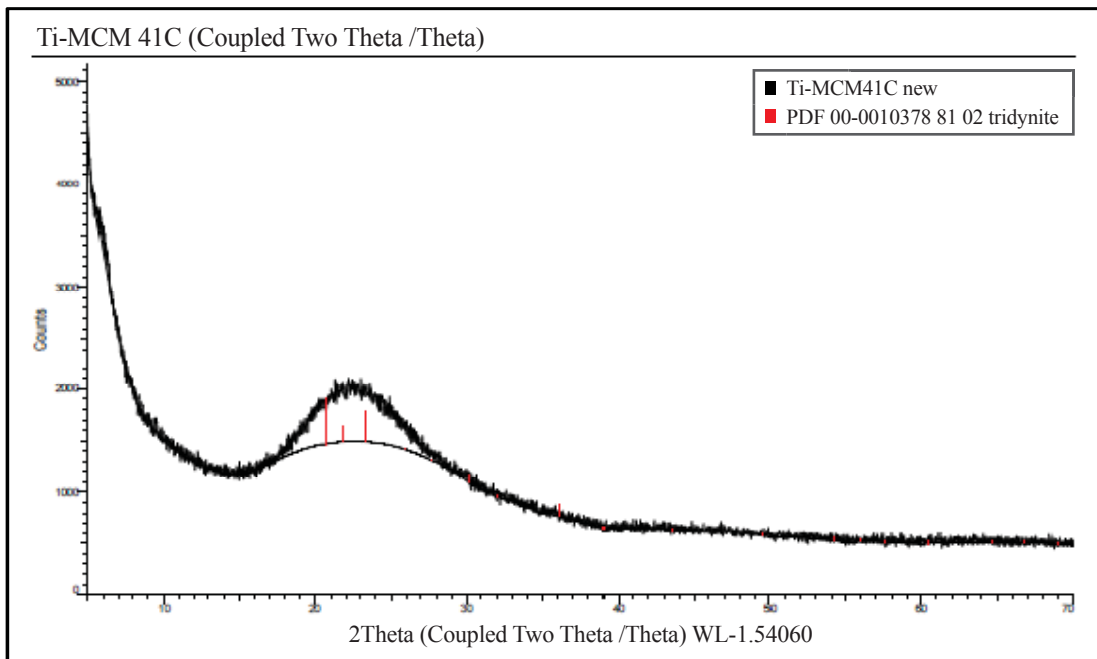
Hasil karakterisasi katalis menggunakan XRD diperlihatkan pada Gambar 5 untuk katalis Ti-MCM-41C dan Gambar 6 untuk katalis Ti-MCM-41S. Hasil analisa XRD menunjukkan bahwa TiO_2 telah terdispersi secara homogen kedalam seluruh bagian katalis dalam bentuk fasa Rutil. Hal ini ditunjukkan adanya 2θ pada 27.77° , 36.04° , dan



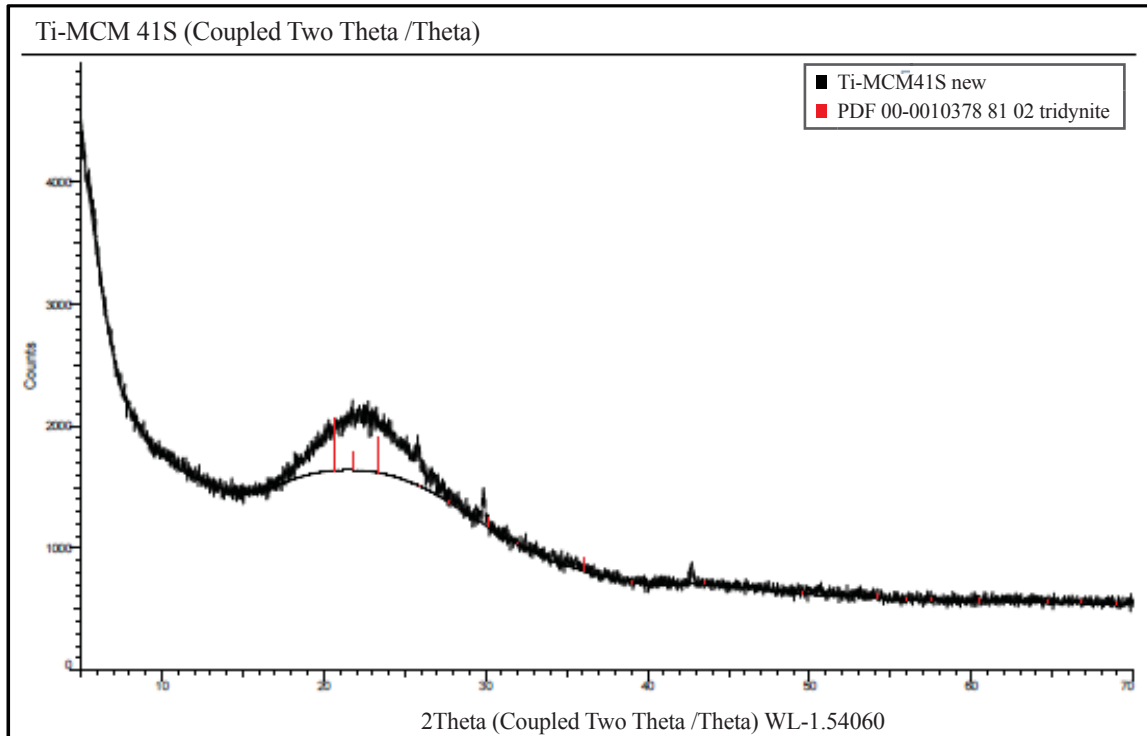
Gambar 3
Simulated fuel.



Gambar 4
Reaktor Batch Pengujian Proses ODS.



Gambar 5
Hasil Analisis XRD Katalis Ti-MCM-41C.

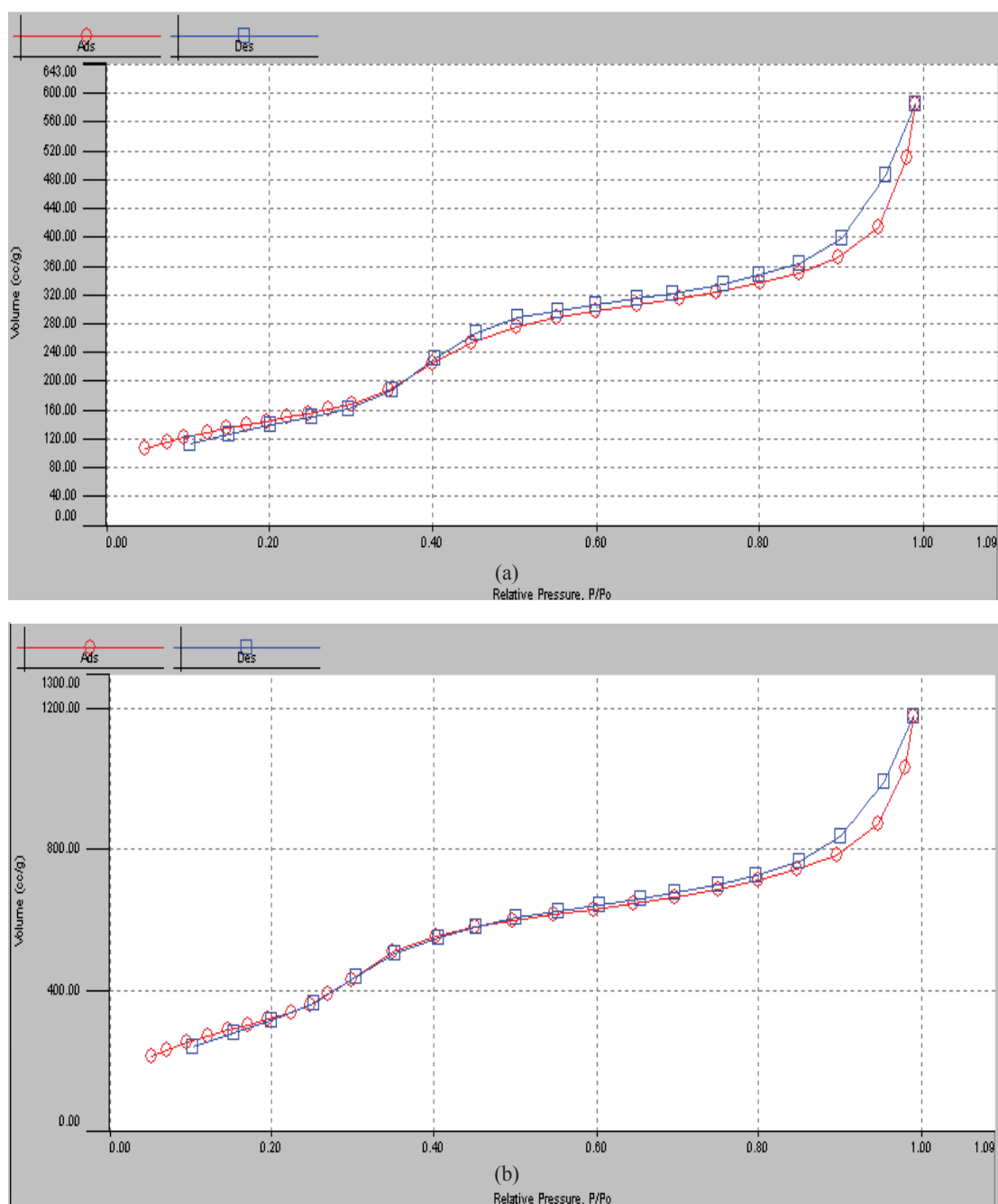


Gambar 6
Hasil Analisis XRD Katalis Ti-MCM-41S.

54.23°(T.A.AL-Dhahir, 2013). Pada katalis Ti-MCM-41C dan Ti-MCM-41S kristalisasi sudah terbentuk walaupun tidak secara jelas. Hal ini terlihat dari bukit (peak) yang terbentuk tidak tajam. Puncak-puncak bukit dari grafik tersebut menunjukkan telah terbentuknya kristal-kristal di dalam kedua katalis tersebut. Peak yang tidak terlalu tajam dimungkinkan karena proses kalsinasi yang belum maksimal dan perlu ditingkatkan lagi agar disamping mampu

meningkatkan luas permukaan katalis juga mampu membentuk kristal-kristal yang lebih baik.

Grafik isoterm adsorpsi-desorpsi Nitrogen kedua sampel katalis pada Gambar 7 telah sesuai dengan grafik isotherm Tipe IV yang menunjukkan bahwa kedua katalis merupakan katalis mesopori. Hal ini dibuktikan pada Tabel 2 yang menunjukkan bahwa katalis Ti-MCM-41C dan katalis Ti-MCM-41S memiliki diameter pori rata-rata 27.92 Å dan 27.10



Gambar 7
Grafik Isotermal Katalis Ti-MCM-41C (a) dan Katalis Ti-MCM-41S (b).

Tabel 2
Hasil Karakterisasi Katalis

No	Katalis	Luas Permukaan (m ² /g)	Total Volume Pori (cc/g)	Diameter Pori Rata-Rata (Å)
1	Ti-MCM-41C	699.6	0.9769	27.92
2	Ti-MCM-41S	1347.0	0.8250	27.10

Å, artinya bahwa kedua katalis telah memenuhi spesifikasi sebagai katalis mesopori yakni memiliki ukuran diameter pori antara 20-500 Å (IUPAC, 1972)

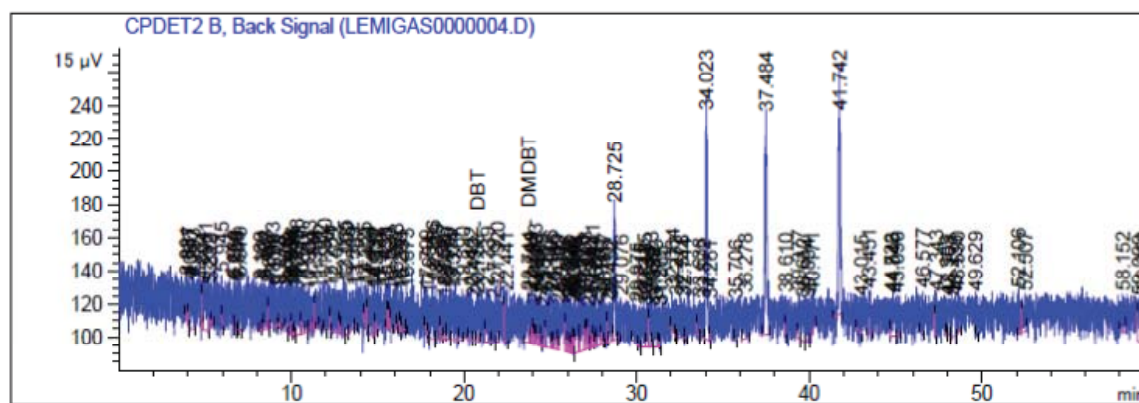
Total volume pori katalis Ti-MCM-41C adalah 0.9769 cc/g dan untuk Ti-MCM-41S adalah 0.8250 cc/g, hasil ini menunjukkan kedua katalis juga telah memenuhi kapasitas total volume pori yang dibutuhkan untuk hydrocarbon sorption yakni sebesar 0.7 cc/g atau lebih (YUE Chunxiao et al, 2009). Luas permukaan katalis Ti-MCM-41S adalah 1347.0 m²/gram telah memenuhi syarat pembuatan katalis berbasis MCM-41 yang memiliki luas permukaan lebih dari 700 m²/gram (Beck et al., 1992) namun Ti-MCM-41C dengan luas permukaan 699.6 m²/gram masih perlu optimalisasi pada proses pembuatannya.

Analisis Simulated fuel

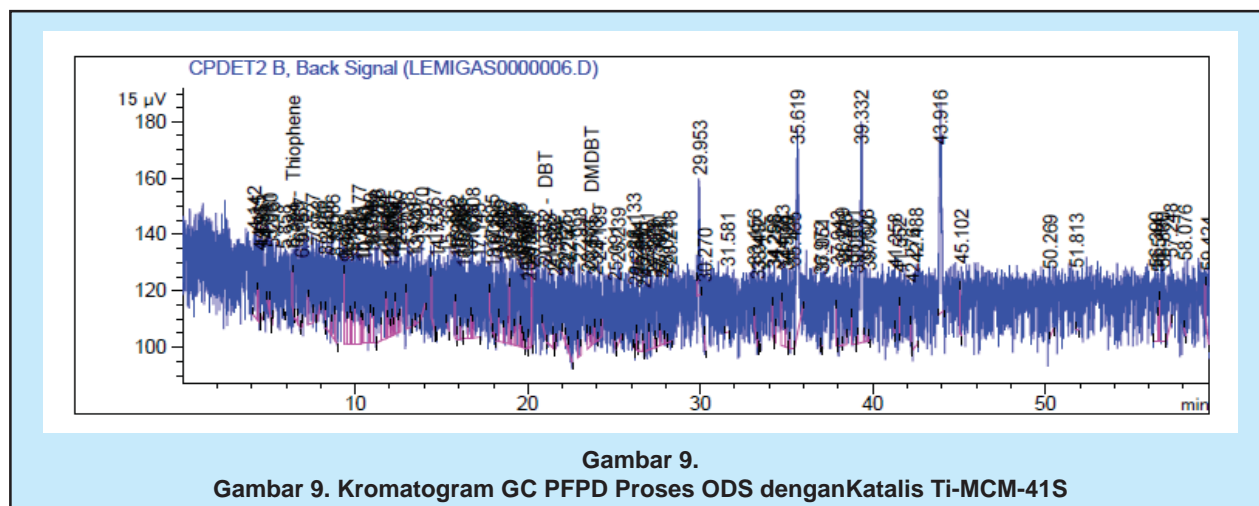
Hasil Analisis *Simulated fuel* dilakukan dengan menggunakan GC-PFPD untuk senyawa-senyawa sulfur yang terkandung di dalamnya sebelum dan sesudah dilakukan percobaan ODS dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil analisis GC terhadap kandungan sulfur dalam produk pengujian proses ODS dengan umpan *simulated fuel* menggunakan katalis Ti-MCM-41C dan Ti-MCM-41S terlihat mengalami penurunan,

baik untuk kandungan sulfur total maupun masing-masing kandungan senyawa sulfur.

Proses ODS menggunakan katalis Ti-MCM-41S berhasil mengkonversi kandungan senyawa sulfur total sebesar 89.82%, konversi ini 6% lebih banyak jika dibandingkan dengan proses ODS menggunakan katalis Ti-MCM-41C yang hanya 83.63%, hal ini dapat disebabkan oleh luas permukaan katalis Ti-MCM-41S yang lebih luas dibandingkan dengan Ti-MCM-41C, sehingga permukaan kontak terjadinya reaksi oksidasi senyawa sulfur akan lebih besar dan konversi penurunan kadar sulfur untuk masing-masing komponen senyawa sulfur maupun sulfur total menjadi lebih besar. Hal ini dapat pula disebabkan karena katalis Ti-MCM-41C masih bersifat hidrofilik sehingga memudahkan sulfonat yang terbentuk saat proses ODS terserap ke dalam katalis dan mengakibatkan kinerja katalis dalam mengkonversi senyawa-senyawa sulfur berkurang. Kandungan sulfur total produk proses ODS telah jauh lebih baik melampaui spesifikasi persyaratan Ditjen Migas (Keputusan Dirjen Migas No. 3675 K/24/DJM/2006, Standard Dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar Di Dalam Negeri, Maret 2006).



Gambar 8.
Kromatogram GC PFPD Proses ODS dengan Katalis Ti-MCM-41C



Gambar 9. Kromatogram GC PFPD Proses ODS dengan Katalis Ti-MCM-41S

Penurunan masing-masing senyawa sulfur adalah $BT > DBT > 4\text{-MDBT} > 4,6\text{-DMDBT}$, hal ini disebabkan karena rantai molekul BT lebih sederhana dibandingkan dengan senyawa sulfur lainnya sehingga memungkinkan lebih mudah untuk teroksidasi.

KESIMPULAN

Hasil karakterisasi kedua katalis menunjukkan bahwa keduanya sudah masuk dalam kategori katalis mesoporidengan diameter pori rata-rata 27.92 Å untuk katalis Ti-MCM-41C dan 27.10 Å untuk katalis Ti-MCM-41S. Dari hasil uji XRD, logam Ti telah terdispersi secara homogen dalam katalis. Proses ODS skala laboratorium menggunakan pengoksidan H_2O_2 dan katalis Ti-MCM-41 tanpa penambahan solven lainnya telah mampu secara signifikan menurunkan kandungan senyawa sulfur yakni sebesar 83.98% untuk katalis Ti-MCM-41C dan 89.82% untuk katalis Ti-MCM-41S. Hasil ini melampaui spesifikasi persyaratan Ditjen Migas, sehingga proses ODS dengan katalis Ti-MCM-41S mempunyai potensi untuk diaplikasikan di dalam unit penghilang sulfur pada proses pembuatan BBM.

TERIMA KASIH

Terimakasih kepada anggota tim penelitian di laboratorium KP3 Proses, laboratorium Kelompok Teknologi Analisa Gas Lemigas, laboratorium R&D Pertamina Pulogadung, dan Laboratorium Program Studi Teknik Kimia ITB.

KEPUSTAKAAN

- EPA.** EPA Gives the Green Light on Diesel Sulfur Rule, Press Release, United States Environmental Protection Agency, February 28, 2001.
- EPA-Diesel, RIA.** Regulatory Impact Analysis: Heavy-duty Engine and Vehicle Standards and Highway Diesel Fuel Sulfur Control Requirements, United States Environmental Protection Agency, Air and Radiation, EPA420-R-00-026, December 2000.
- Keputusan Dirjen Migas No. 3675 K/24/DJM/2006,** Standard Dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar Di Dalam Negeri, Maret 2006.
- Keputusan Dirjen Migas No. 13483 K/24/**

Tabel 3.
Hasil Analisis GC Produk ODS dengan Umpan *Simulated fuel*

RUN	Kandungan Sulfur (ppm)				
	BT	DBT	4-MDBT	4,6-DMDBT	Total
<i>Simulated Fuel</i>	300	300	300	300	1200
Ti-MCM-41C	0.0583	0.8486	3.3276	192.1865	196.42
Ti-MCM-41S	0.0577	0.6438	2.2492	119.1569	122.11

- DJM/2006**, Standard Dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Jenis Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Lain Yang Dipasarkan Di Dalam Negeri, September 2006.
- J.M. Campos-Martin**, M.C. Capel-Sanchez, P. Perez-Presas, J.L.G. Fierro, Oxidative Process Of Desulfurization of Liquid Fuels, 2005.
- V. Hulea, P. Moreau**, F. Di Renzo, J. Mol. Catal. A 111 (1996) 325.
- A. Corma**, M. Iglesia, F. Sanchez, Catal. Lett. 39 (1996) 153.
- D.Zhao**, J.Zhang, J.Wang, W.Liang, H.Li, Pet.Sci. Tech. 27, 1 (2009) 1.
- J.A. Kocal, T.A. Brandvold**, US Patent 6,368,495 (2002), to UOP LLC.
- T.A.AL-Dhahir**. Diyala Journal For Pure Science, Vol 9, No 2, May 2013.
- IUPAC Manual of Symbols and Terminology**, Appendix 2, Part 1, Colloid and Surface Chemistry, Pure Appl. Chem. 1972, 31, 578.
- J. S. Beck, J. C. Vartuli**, W. J. Roth, M. E. Leonowicz, C. T. Kresge, K. D. Schmitt, C. T. W. Chu, D. H. Olson, E. W. Sheppard. J. Am. Chem. Soc., 1992, 114 (27), 10834-10843.
- Dr. Wadood Taher Mohammed**, Dr. Raghad Fareed Kasim Almilly, Sheam Bahjat Abdulkareem Al-Ali. Journal of Engineering, 2015.
- J.M. Campos-Martin**, M.C. Capel-Sanchez, P. Perez-Presas, J.L.G. Fierro. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, Vol. 85 pages 879-890, July 2010.
- Kerry M. Dooley**, Dongxing Liu, Andrew M. Madrid, F. Carl Knopf. Applied Catalyst A : General 468 (2013) 143-149, 2013.