

Uji Aktivitas Katalitik Hidrodesulfurisasi Campuran *Light Gas Oil* (LGO) dan *Light Diesel Oil* (LDO) dengan Katalis CoMo/ γ -Al₂O₃

Isnaeni Nurul Ulya[✉], Jumaeri, Wawan, Endah Fitriani Rahayu, dan Nanik Wijayati

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima Juni 2020

Disetujui Juli 2020

Dipublikasikan Agustus
2020

Keywords:

Diesel oil

Hidrodesulfurisasi

Katalis CoMo/ γ -Al₂O₃

Abstrak

Diesel oil merupakan bahan bakar fosil sumber utama energi yang dikonsumsi secara berlebihan yang dapat menyebabkan masalah pada lingkungan seperti polusi udara. Penelitian ini bertujuan untuk menghilangkan pengotor jenis sulfur pada diesel oil dengan cara proses *hydrotreating* yang salah satunya melalui proses hidrodesulfurisasi. Pada penelitian ini mempelajari aktivitas katalitik CoMo/Al₂O₃ pada proses HDS dari blendingan LGO dan LDO dengan menggunakan *Reactor Fixed-Bed* skala Pilot-Plant. Pengaruh parameter pada proses HDS dipelajari dengan memvariasi temperatur 330°C, 350°C, 370°C dan pengaruh *Liquid Hourly Space Velocity* (LHSV) 1 jam⁻¹, 1,5 jam⁻¹, 2 jam⁻¹. Hasil penelitian menunjukkan meningkatnya aktivitas HDS hingga 99,99% pada peningkatan temperatur 370°C dengan LHSV 1 jam⁻¹. Katalis CoMo/ γ -Al₂O₃ mampu menurunkan kandungan sulfur pada temperatur 330°C, 350°C, dan 370°C dengan LHSV 1 jam⁻¹ sebesar 16,56 ppm; 3,85 ppm; 3,79 ppm. Dari seluruh hasil analisis dapat disimpulkan bahwa proses HDS optimum pada temperatur 370°C dan LHSV 1 jam⁻¹. Penurunan kadar sulfur yang didapatkan sesuai dengan standar negara Eropa (Euro V), dimana kandungan sulfur diesel oil lebih rendah dari 10 ppm. Aktivitas katalitik CoMo/ γ -Al₂O₃ menunjukkan meningkatkan proses HDS dan dapat menurunkan energi aktivasi sebesar 18,49 KJ/mol.

Abstract

Diesel oil is a fossil fuel that is the main source of energy consumed excessively which can cause problems in the environment such as air pollution. This study aims to eliminate sulfur type impurities in diesel oil by hydrotreating process, one of which is through the hydrodesulfurization process. In this study studied the catalytic activity of CoMo / Al₂O₃ in the HDS process of LGO and LDO blends using *Reactor Fixed-Bed Pilot-Plant* scale. The effect of parameters on the HDS process was studied by varying temperatures of 330°C, 350°C, 370°C and the influence of the *Liquid Hourly Space Velocity* (LHSV) 1 hour⁻¹, 1.5 hours⁻¹, 2 hours⁻¹. The results showed an increase in HDS activity of up to 99.99% at an increase in temperature of 370°C with LHSV 1 hour⁻¹. CoMo/ γ -Al₂O₃ catalyst was able to reduce sulfur content at temperatures of 330°C, 350°C, and 370°C with LHSV 1 hour⁻¹ of 16.56 ppm; 3.85 ppm; 3.79 ppm. From all the results of the analysis it can be concluded that the optimum HDS process at a temperature of 370°C and LHSV 1 hour⁻¹. The decrease in sulfur content obtained is in accordance with European country standards (Euro V), where the sulfur diesel oil content is lower than 10 ppm. The catalytic activity of CoMo/ γ -Al₂O₃ shows that it increases the HDS process and can reduce activation energy by 18.49 KJ/mol.

© 2019 Universitas Negeri Semarang

✉Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

E-mail: isnaeninurululya@gmail.com

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Saat ini jumlah penduduk di seluruh dunia semakin meningkat, hal ini menyatakan bahwa kebutuhan energi semakin meningkat pula salah satunya bahan bakar yang digunakan setiap hari yang merupakan hasil dari proses pengolahan bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil sumber utama energi yang dikonsumsi secara berlebihan yang dapat menyebabkan masalah pada lingkungan seperti polusi udara. Pada saat proses pembakaran, bahan bakar fosil melepaskan gas karbon dioksida, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, karbon monoksida, dan gas-gas lainnya yang dapat merusak lingkungan. Salah satunya keberadaan komponen sulfur dalam bahan bakar minyak bumi yang menimbulkan polutan gas SO₂ (Jeevanadum *et al.*, 2005). Kontaminan berupa sulfur ini akan berakibat pada kerusakan mesin kendaraan (Topsoe *et al.*, 1996). Oleh karena itu dibutuhkan pengolahan gas dan minyak bumi yang dapat menyingkirkan pengotor-pengotor tersebut. Proses pengolahan minyak bumi dilakukan melalui proses Proses hidrogenasi yang berperan untuk menyingkirkan pengotor-pengotor dalam fraksi minyak bumi seperti sulfur, nitrogen, oksigen dan logam disebut dengan proses *hydrotreating* (Ulfah *et al.*, 2012).

Produksi bahan bakar *ultra low sulfur diesel* (ULSD) (<10-15 ppm) diperlukan untuk spesifikasi yang sesuai dengan undang-undang lingkungan yang berkaitan dengan konsumsi bahan bakar (Rashidi *et al.*, 2013). Namun, sejak 2009 negara-negara Eropa telah menerapkan standar Euro V, di mana kandungan sulfur diesel harus lebih rendah dari 10 ppm. Karena itu, hidrosulfurisasi harus dilakukan untuk memenuhi persyaratan spesifikasi bahan bakar yang ketat. Proses HDS merupakan proses hidrogenasi yang berfungsi untuk mereduksi senyawa sulfur dalam fraksi minyak bumi, HDS tersebut dapat dilakukan melalui bantuan katalis.

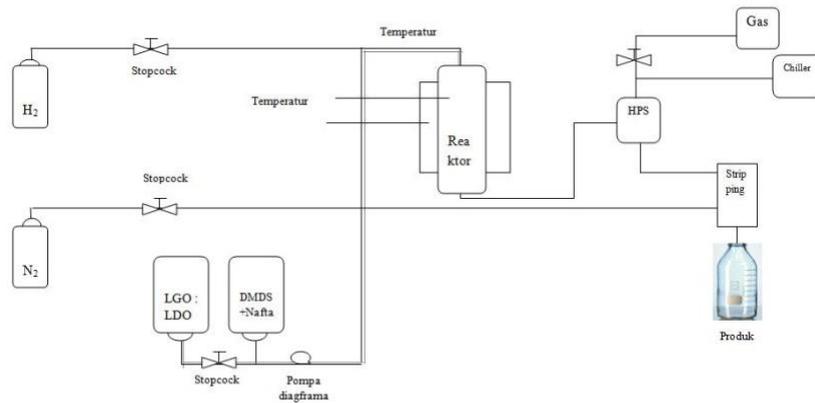
Uji aktivitas katalitik sangat dipengaruhi oleh temperatur reaksi. Secara kinetika, semakin tinggi temperatur pada proses reaksi kimia, maka laju reaksi akan berlangsung semakin cepat (Harjito, 2012) dan akan menghasilkan peningkatan pembentukan kokas pada katalis, yang cenderung menonaktifkan katalis dengan cepat, dan menggunakan *Liquid Hourly Space Velocity* (LHSV h⁻¹) akan menghasilkan penurunan efisiensi *hydrotreating* (Fawzi *et al.*, 2011). LHSV merupakan ukuran jumlah umpan (hidrokarbon) yang diproses untuk jumlah katalis selama waktu tertentu. Semakin rendah nilai LHSV semakin lama waktu kontak antara hidrokarbon dengan katalis sehingga terjadi waktu reaksi lebih lama. Sedangkan pada temperatur yang terlalu tinggi dapat juga menyebabkan kerusakan pada struktur katalis. Oleh sebab itu, temperatur dalam proses HDS harus dioptimalkan untuk mendapatkan hasil yang maksimal (Boukoberine *et al.*, 2016).

Terdapat dua metode yang digunakan untuk meningkatkan aktivitas katalis *hydrotreating*, metode pertama adalah dengan menambahkan senyawa aditif dalam formulasi katalis, metode kedua adalah dengan mengubah kondisi operasi alat aktivasi katalis yang digunakan meliputi temperatur, tekanan dan LHSV (*Liquid Hourly Space Velocity*). Efek operasi pada temperatur, tekanan dan variabel laju alir setiap jam pada kecepatan ruang (LHSV), rasio gas terhadap minyak dapat dipelajari untuk meningkatkan efisiensi *hydrotreating* (Badoga S *et al.*, 2017). Dalam penelitian ini dipelajari pengaruh perubahan temperatur dan LHSV (waktu kontak) terhadap proses hidrosulfurisasi menggunakan katalis CoMo/Al₂O₃.

Metode

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi neraca analitik, SAA (*Surface Area Analyzer*), XRF (*X-Ray Fluorescence*) Axios PANalytical, Reaktor Pilot-Plant *Vinchi Technology* PT. Pertamina Research Technology, Total Nitrogen Total Sulfur (TNTS *Trace Elemental Analyzer* NSX-2100V), *Density Meter* (ISL VIDA), *Gas Chromatography-Refinery Gas Analysis* (GC-RGA Agent Technologies 7890A), *Total Acid Number* (Metrohm), *Vida density meter* dan seperangkat peralatan gelas. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah penyangga katalis berbasis γ -Al₂O₃ dari PT. PERTAMINA (PERSERO), Katalis berbasis Cobalt (katalis CoMo/ γ -Al₂O₃), *dimethyl disulfide*, Nafta, *Light Gas Oil* (LGO), *Light Diesel Oil* (LDO) PT. Pertamina, gas N₂, gas H₂, larutan doctor test, toluena, solven, larutan KOH, *aquadest*.

Aktivasi katalis melalui proses sulfidasi, yaitu dengan mengalirkan gas H₂ dan larutan dimetil disulfida (DMDS) dalam naphtha (penambahan DMDS sekitar 2,5%-5%) yang bereaksi membentuk gas H₂S yang selanjutnya akan dialirkan ke dalam tempat katalis. Sulfidasi dilakukan untuk mengubah katalis dari bentuk oksida (tidak aktif) menjadi bentuk sulfida (aktif). Sulfidasi katalis berhasil diuji dengan menggunakan GC-RGA yang menandakan gas H₂ dan gas H₂S. Sulfidasi katalis menggunakan kondisi operasi pada temperatur 230°C; tekan 14 Bar; LHSV 3 jam⁻¹ serta H₂/HC 200 Nm³/mL. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada Gambar 1 menggunakan Reaktor *Vinchi Technologies* PT. PERTAMINA RTC skala *pilot plant* berbentuk tabung, dikelilingi oleh pemanas kotak listrik.



Gambar 1. Skema kinerja reaktor

Pada proses hidrodessulfurisasi menggunakan umpan blending antara light gas oil dan light diesel oil dengan perbandingan 1:1 serta kandungan sulfur sebesar 4960 ppm. Umpan dialirkan masuk kedalam reaktor dengan mengubah parameter variabel kondisi operasi reaktor yang meliputi temperatur dan LHSV. Berikut merupakan kondisi operasi yang digunakan untuk proses *hydrotreating* Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi operasi untuk proses *hydrotreating* pada umpan blending LGO dan LDO

Parameter kondisi operasi	Nilai
Temperatur, °C	300, 330 dan 350
Tekanan, bar	70
LHSV, jam ⁻¹	1.0, 1.5, dan 2

Hasil dan Pembahasan

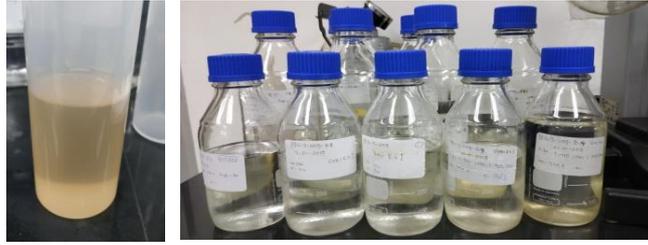
Fraksi minyak gas *Light gas oil* dan *Light diesel oil* (LGO dan LDO) berasal dari ladang minyak diperoleh dari PT. Pertamina Persero. Fraksi LGO dan LDO memiliki rentang titik didih antara 240–3500°C. Hidrodessulfurisasi fraksi minyak bumi dilakukan dalam reaktor 3 fasa (reaktor *fixed bed*), dengan padatan katalis berpori, gas hidrogen dan cairan umpan (Subagjo *et al.*, 2013). Produk cair yang dihasilkan dari proses HDS telah diketahui mengandung senyawa sulfur dalam bentuk merkaptan “RSH”. Senyawa sulfur jenis merkaptan dianalisis menggunakan larutan *doctor test* yang dilakukan secara kualitatif. Analisis *doctor test* dengan menambahkan larutan Na₂PbO₂ dan *free* sulfur. Analisis ini berfungsi untuk mengubah senyawa merkaptan (RSH) yang korosif menjadi di atau poly Sulfit yang tidak korosif Gambar 2.



Gambar 2. Hasil analisis *doctor test* pada produk HDS

Gambar 2 menunjukkan hasil analisis merkaptan pada produk HDS. Sampel produk HDS memberikan hasil positif mengandung merkaptan yang mengalami perubahan warna coklat-hitam dan terdapat endapan hitam yang menandakan terjadinya reaksi antara H₂S dan Na₂PbO₂.PbS (endapan hitam). Sedangkan negatif mengandung merkaptan ditandai dengan sampel produk HDS bening tidak terjadinya reaksi atau tidak mengalami perubahan. Produk HDS yang dihasilkan dalam bentuk fisik mengalami perubahan secara jelas yaitu terjadinya perubahan warna umpan dari coklat menjadi bening/ tak berwarna Gambar 4. Berat produk cair dihitung dari berat tempat produk yang sudah berisi produk HDS

dikurangi dengan berat tempat produk kosong. Berat produk cair yang dihasilkan dari proses HDS dengan variasi temperatur dan laju alir reaktor disajikan pada Tabel 2.



Gambar 3. Perubahan fisik dari umpan ke produk HDS

Tabel 2. Data berat produk yang dihasilkan dengan variasi temperature dan laju alir

Temperatur (°C)	LHSV (jam ⁻¹)	Berat Umpan 1:1 (kg)	Berat produk cair (gram)
330	1	0.465	462.9
330	1.5	0.4568	363
330	2	0.3325	337
350	1	0.388	363.3
350	1.5	0.3249	422.3
350	2	0.3277	345
370	1	0.4188	389.2
370	1.5	0.4128	345.3
370	2	0.3677	380.1

Kondisi operasi (temperatur, tekanan dan LHSV) untuk katalis sulfida (Co-Mo-S) pada aktivitas katalitik HDS merupakan pusat yang menarik dari penelitian ini. Hasil analisis aktivitas katalitik HDS diperoleh dengan nilai total sulfur dan menunjukkan adanya eliminasi sulfur yang terjadi, tetapi dengan kondisi operasi yang berbeda. Digunakan pendekatan yang serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Fawzi, *et al.*, 2011 yaitu aktivitas HDS menggunakan katalis CoMo/ γ -Al₂O₃ dioptimalkan berdasarkan perbedaan kondisi operasi atau variabel pada reaktor katalis. Data eksperimental menyediakan beberapa informasi menarik tentang pengaruh masing-masing variabel pada proses HDS. Produk hasil reaksi HDS dianalisis menggunakan instrumen TNTS analyzer. TNTS analyzer merupakan instrumen yang mengukur kadar sulfur dengan menggunakan metode *pyro-fluorescent*, yaitu pembakaran sampel dengan oksigen untuk memperoleh senyawa SO₂ dan akan dibentuk menjadi senyawa fluoresen yang digunakan untuk mendeteksi kadar sulfur dalam sampel. Hasil analisis kadar sulfur pada blendingan umpan antara LGO dan LDO serta produk HDS dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Kadar sulfur dalam umpan dan produk setelah proses HDS

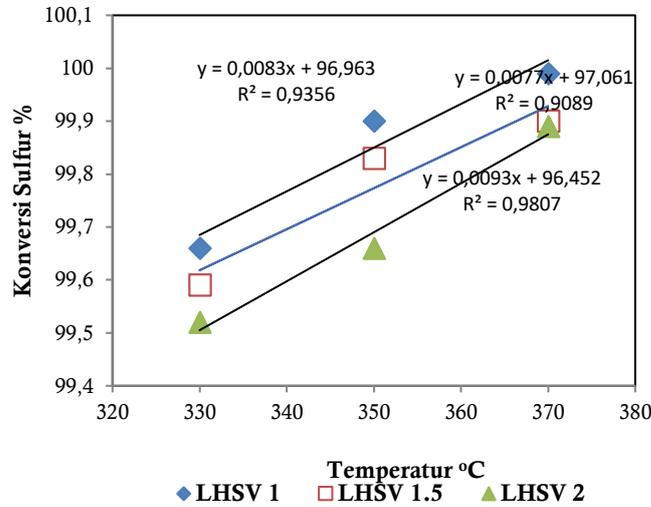
Kadar Sulfur Umpan (ppm)	LHSV (jam ⁻¹)	Kadar Sulfur Produk (ppm)		
		330 °C	350 °C	370 °C
4960	1	16,56	3,85	3,79
	1,5	20,12	8,17	4,55
	2	23,68	16,4	5,31

Pada hasil reaksi HDS didapatkan hasil terbaik pada temperatur 370 °C pada laju alir 1 jam⁻¹ dengan kadar sulfur terendah sebesar 3,79 ppm. Hal tersebut sesuai dengan standar *ultra low sulfur diesel* (<10-15 ppm) diperlukan untuk spesifikasi yang sesuai dengan undang-undang lingkungan yang berkaitan dengan konsumsi bahan bakar (Rashidi *et al.*, 2013), serta standar negara Eropa (Euro V), di mana kandungan sulfur diesel harus lebih rendah dari 10 ppm.

Penurunan kadar sulfur tersebut menunjukkan bahwa uji kinerja katalitik sangat dipengaruhi oleh temperatur reaksi. Secara kinetika, semakin tinggi temperatur pada proses reaksi kimia, maka laju reaksi akan berlangsung semakin cepat. Namun demikian, temperatur yang terlalu tinggi dapat juga menyebabkan kerusakan pada struktur katalis. Oleh sebab itu, temperatur dalam proses HDS harus dioptimalkan untuk mendapatkan hasil yang maksimal (Boukoberine and Hamada., 2016).

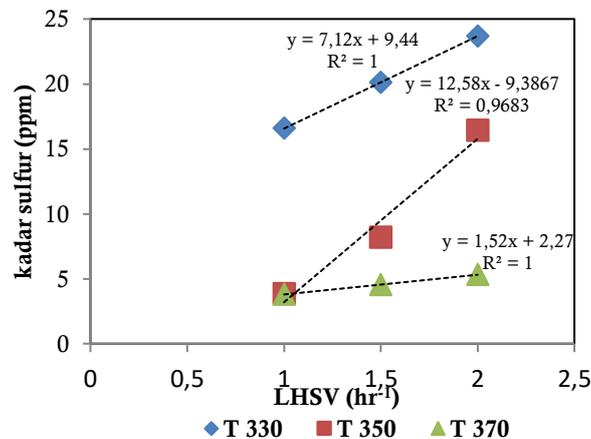
Pengaruh temperatur aktivitas katalitik pada proses HDS dari katalis yang digunakan meningkat dari sekitar 99,5 menjadi 99,9% ketika temperatur ditingkatkan dari 330 menjadi 370°C (LHSV = 2,0 jam⁻¹, P = 70

bar dan H₂: volume HC = 100% vol/vol). Hal ini menunjukkan bahwa temperatur reaksi yang semakin tinggi memiliki pengaruh dalam menurunkan kadar sulfur. Semakin tinggi temperatur, semakin menurunkan kandungan sulfur yang dihasilkan. Jika dibandingkan pola peningkatan produk dari temperatur 330°C ke temperatur 350°C dan ke 370°C. Nampak bahwa pada rentang 350°C-370°C secara kuantitatif terlihat berbeda, dan jika dilihat dari variasi produknya tampak kenaikan yang cukup signifikan. Jadi dapat disimpulkan bahwa temperatur optimum pada HDS terkatalis CoMo/ γ -Al₂O₃ adalah pada temperatur 370°C. Dimungkinkan senyawa-senyawa sulfur seperti tiofen dan dibenzotiofen (dan sampai taraf tertentu 4-MDBT) sebagian besar mengalami desulfurisasi melalui jalur desulfurisasi langsung.



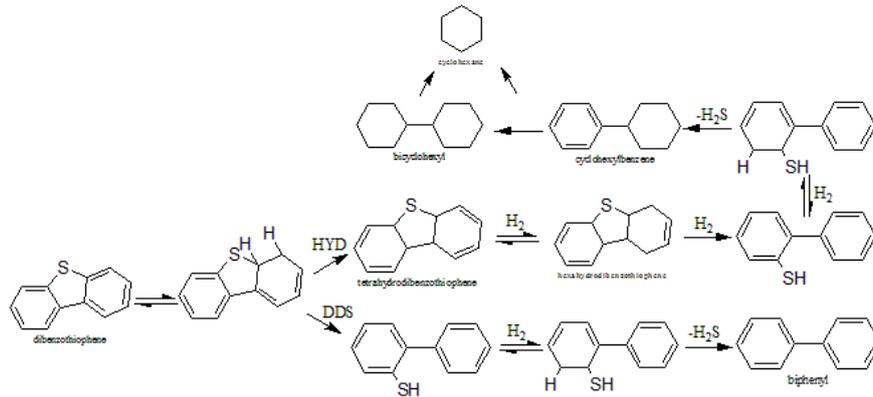
Gambar 4. Pengaruh temperatur dari proses HDS (tekanan 70 bar; H₂:HC = 100% vol/vol)

Liquid hourly space velocity (LHSV) dan volume katalis adalah parameter yang berinteraksi mempengaruhi aktivitas HDS maupun hasil proses HDS. LHSV maksimum dari umpan dibatasi oleh aksesibilitas maksimum volume reaktor yaitu sebesar 4,7 jam⁻¹ gas oil, secara teoritis untuk aliran hidrogen maksimum pada katalis 75 mL. Gambar 5 menunjukkan bahwa perubahan LHSV dapat memiliki efek signifikan pada penurunan kadar sulfur untuk sebagian besar. Kadar sulfur meningkat seiring dengan menurunnya LHSV. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, mengurangi LHSV per jam⁻¹ meningkatkan waktu kontak antara reaktan dan katalis, sehingga meningkatkan aktivitas HDS melalui mekanisme jalur desulfurisasi langsung dan tidak langsung (Gambar 6). Hal ini dapat dikaitkan dengan fakta bahwa kecepatan ruang yang lebih rendah cenderung memberikan ruang senyawa sulfur untuk mengakses situs aktif. Dengan demikian, aktivitas HDS meningkat melalui dua jalur tersebut. Hal ini sesuai dengan yang dikatakan oleh Frost dan Cottingham., (2011) yang melaporkan bahwa penurunan nilai LHSV biasanya akan meningkatkan aktivitas proses HDS.



Gambar 5. Pengaruh LHSV pada aktivitas hidrodesulfurisasi (tekanan 70 bar; H₂:HC = 100% vol/vol)

Keberadaan promotor Co pada katalis juga memiliki pengaruh terhadap penurunan sulfur. Hal ini disebabkan katalis CoMo/ γ -Al₂O₃ dengan Co sebagai promotor memiliki kecenderungan mengambil jalur desulfurisasi langsung (*direct desulfurization*) atau hidrogenolisis (Gambar 6), yaitu dengan menghilangkan atom sulfur terlebih dahulu kemudian digantikan dengan hidrogen (Romero *et al.*, 2010).



Gambar 6. Mekanisme reaksi HDS (A.Infates *et al.*, 2012)

Laju reaksi proses HDS merupakan reaksi orde 1 berdasarkan pada hubungan linear antara $-\ln(1-x)$ dan waktu kontak yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Abid *et al.*, 2018 yang menyatakan bahwa proses hidrodessulfurisasi merupakan orde reaksi 1 dimana kHDS adalah tetapan laju spesifik yang mengandung pengaruh pada adsorpsi H₂S. Di samping itu, laju reaksi juga dipengaruhi oleh nilai konstanta laju reaksi (**k**). Konstanta laju reaksi (**k**) adalah perbandingan antara laju reaksi dengan konsentrasi reaktan. Nilai **k** akan semakin besar jika reaksi berlangsung cepat, walaupun dengan konsentrasi reaktan dalam jumlah kecil. Nilai **k** hanya dapat diperoleh melalui analisis data eksperimen, tidak berdasarkan stoikiometri maupun koefisien reaksi (Avery., 1974).

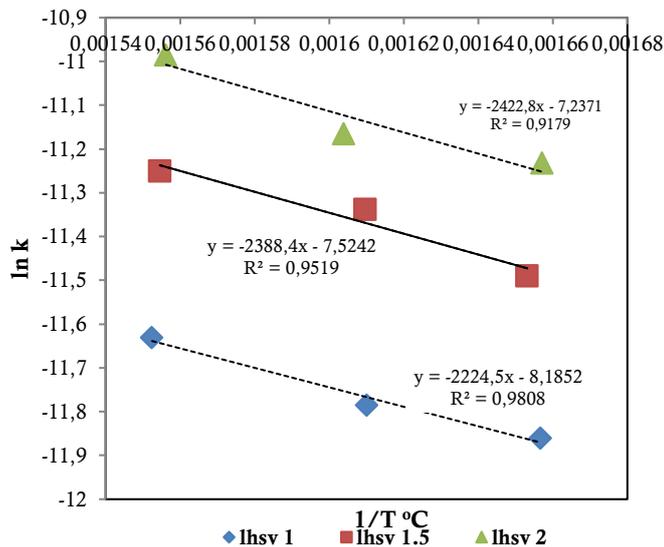
Tabel 4. Nilai konversi hidrodessulfurisasi

Sumber	Katalis	LHSV (jam ⁻¹)	Temperatur (°C)	Konversi HDS (X _{HDS}) dalam %	KHDS (s ⁻¹)	Umpan
Eksperimental	CoMo/ γ -Al ₂ O ₃	1	330	99,66	1,84 x 10 ⁻⁶	LGO:LDO
		1,5	330	99,56	2,67 x 10 ⁻⁶	
		2	330	99,52	3,46 x 10 ⁻⁶	
		1	350	99,90	2,31 x 10 ⁻⁶	
		1,5	350	99,83	3,11 x 10 ⁻⁶	
		2	350	99,66	3,69 x 10 ⁻⁶	
		1	370	99,99	2,32 x 10 ⁻⁶	
		1,5	370	99,90	3,39 x 10 ⁻⁶	
*Abid <i>et al.</i> , 2018	CoMo/ γ -Al ₂ O ₃	2,5 (WHSV)	320	89	1,63 x 10 ⁻⁴	Heavy Naptha
			380	93,9	1,15 x 10 ⁻⁴	
*Fawzi <i>et al.</i> , 2011	CoMo/ γ -Al ₂ O ₃	2	300	39,9		LGO
			330	57,8		
			350	76,9		
			370	80,9		
* Patrascioiu <i>et al.</i> , 2014	NiMo/ γ -Al ₂ O ₃	1,44	370	85,07	4,8 x 10 ⁻³	LGO
		2,4	420	91,15	5,07 x 10 ⁻³	

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan hasil tertinggi pada LHSV 2 jam⁻¹ dan temperatur sebesar 370°C. Persentase konversi yang tinggi menunjukkan bahwa katalis tersebut mampu menurunkan kandungan sulfur ke tingkat konsentrasi yang rendah. Sesuai dengan penelitian Himawan (2018) Konversi reaksi sulfur (HDS) naik seiring dengan naiknya temperatur hingga temperatur tertentu, kemudian menurun seiring naiknya LHSV. Sehingga menghasilkan kondisi operasi yang optimal pada temperatur 370°C tekanan 21 bar dan LHSV 1 jam⁻¹. Hal ini dalam penghilangan sulfur bisa disebabkan oleh

keseimbangan dalam reaksi kimia, yang secara termodinamika tercapai ketika temperatur dan tekanan mencapai nilai yang lebih tinggi.

Penelitian ini menghasilkan energi aktivasi produk HDS yang dihasilkan sebesar 18.49 kJ/mol lebih baik dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Abid *et al.*, (2018) melaporkan bahwa untuk HDS minyak gas oil menggunakan katalis CoMo/ γ -Al₂O₃ memiliki nilai energi aktivasi 23 kJ/mol dengan menggunakan temperatur yang berbeda yaitu 320-380°C. Tetapi lebih rendah dari nilai energi aktivasi yang diteliti oleh (Owusu-Boakye *et al.*, 2006) (mis., 55 kJ / gmol). Hal ini disebabkan oleh perbedaan dalam kondisi operasi pada reaktor serta katalis yang digunakan (mis., temperatur, tekanan, dan jenis katalis). Sedangkan Deng Zhonghuo *et al.*, (2010) menyatakan bahwa energi aktivasi ditentukan dari kemiringan garis dan memiliki nilai 67 kJ / mol menggunakan temperatur 320–360°C, tekanan 3–5 MPa dan laju alir hidrogen 0,56–2,77 L/min pada katalis NiMo/ γ -Al₂O₃. Hal ini mungkin disebabkan oleh keseimbangan termodinamika, yang terjadi pada laju reaksi dengan temperatur dan laju alir yang lebih rendah nilai-nilainya.



Gambar 7. Hubungan antara Ln K dengan 1/T

Tabel 5. Nilai Energi Aktivasi (Ea) dan Faktor Frekuensi (A)

Sumber/Kode	Faktor Frekuensi (det ⁻¹)	Energi Aktivasi (Kj/mol)
Eksperimen A1	2,78 x 10 ⁻⁴	18,49
Eksperimen A2	5,39 x 10 ⁻⁴	19,85
Eksperimen A3	7,19 x 10 ⁻⁴	20,14
*Abid <i>et al.</i> , 2018		23
*Zhonghuo <i>et al.</i> , 2010		46
*Owusu-Boakye <i>et al.</i> , 2006		55

Simpulan

Dalam penelitian ini, logam katalis sulfidasi telah dilakukan dengan menggunakan campuran LGO dan LDO dengan dimetil disulfida. Hasil reaksi HDS menunjukkan aktivitas yang baik dalam menurunkan kadar sulfur dalam diesel oil, dengan penurunan kadar sulfur sebesar 3,79 ppm. Hal tersebut sesuai dengan standar *ultra low sulfur diesel* (<10-15 ppm) diperlukan untuk spesifikasi yang sesuai dengan undang-undang lingkungan yang berkaitan dengan konsumsi bahan bakar, serta standar negara Eropa (Euro V), di mana kandungan sulfur diesel harus lebih rendah dari 10 ppm. Temperatur berpengaruh pada hasil reaksi HDS. Semakin tinggi temperatur, semakin menurunkan kandungan sulfur yang dihasilkan. Temperatur optimum pada HDS terkatalis CoMo/ γ -Al₂O₃ yaitu pada temperatur 370°C. Sedangkan *Liquid hourly space velocity* (Waktu Kontak) berpengaruh dalam reaksi HDS. LHSV yang lebih rendah yaitu LHSV 1 jam⁻¹ memberikan waktu kontak umpan dengan katalis semakin lama, sehingga reaksi antara Mo dengan S semakin lama juga dan menghasilkan penurunan sulfur yang optimal. Kinetika reaksi pada penelitian ini merupakan reaksi orde 1. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa katalis CoMo/ γ -Al₂O₃ dapat

menurunkan nilai energi aktivasi sebesar 18,49 kJ/mol dan nilai kecepatan kontanta berbanding lurus dengan kenaikan LHSV.

Daftar Pustaka

- Abid, M.F., M.K. Abdullah., S.M. Ali. 2018. Parametric Study on Intrinsic Reaction for Straight Run Heavy Naptha Hydrodesulfurization Over CoMo/Al₂O₃ catalyst. *Engineering and Technology Journal*. 36 (2): 146 – 153
- A.Infantes-Molina, A. Romero-Pérez, D. Eliche-Quesada, J. Mérida-Robles, A. Jiménez-López and E. Rodríguez- Castellón (2012). *Transition Metal Sulfide Catalysts for Petroleum Upgrading – Hydrodesulfurization Reactions, Hydrogenation*, Prof. Iyad Karamé (Ed.). DOI: 10.5772/45629
- Avery, H.E. 1974. *Basic Reaction Kinetics and Mechanims*. London and Basingstoke : The Macmillan Press LTD
- Badoga, S., A. Ganesan., A.K. Dalai., S. Chand. 2017. Effect of Synthesis Technique on the Activity of Conimo Tri-Metallic Catalyst for Hydrotreating of Heavy Gas Oil. *Catalysis Today*, 9: 1-12
- Boukoberine, Y., Hamada, B. 2016. Thiophene Hydrodesulfurization over CoMo/Al₂O₃-CuY Catalysts: Temperatur Effect Study. *Arabian Journal of Chemistry*, 9: S522-S527
- Deng, Z., T. Wang., Z. Wang. 2010. Hydrodesulfurization of Diesel in a Slurry Reactor. *Chemical Engineering Science*, 65: 480 – 486
- Fawzi, M. Elfghi., N.A.S. Amin. 2011. Parametric Study of Hydrodesulfurization and Hydrodearomatization of Gasoil in Hydrotreating Process over CoMo-S Catalyst Using a Pilot Plant Integral Reactor. *Jurnal Teknologi*, (1): 53 – 73
- Harjito. 2012. Optimasi Temperatur Hidrodesulfurisasi Tiofen Terkatalisis Ni-Mo/Zeolit Alam. *Jurnal MIPA*, 35(2): 151-156
- Himawan, Riswanda., F.R. Sahertian., R. Handogo, Juwari. 2018. Simulasi Reaktor Hidrodearomatik dan Hidrodesulfurisasi pada berbagai Kondisi Operasi pada Pengolahan Minyak Pelumas Bekas. *Jurnal integrasi proses*, 7(2): 93-98
- Jeevanandam, P., Klabunde, K.J., Tetzler, S.H. 2005. Adsorption of thiophenes out of hydrocarbons using metal impregnated nanocrystalline aluminum oxide. *Microporous and Mesoporous Materials*. 79 (3): 101-110
- Rashidi, F., Sasaki, T., Morad, A., Nemati, A., & Jafari, K. 2013. Ultradeep Hydrodesulfurization of Diesel Fuels Using Highly Efficient Nanoalumina-Supported Catalysts: Impact of Support, Phosphorus, and/or Boron on the Structure and Catalytic Activity. *Journal of Catalysis*, 299: 321–335
- Romero, Y., Richard, F., Brunet, S. 2010. Hydrodeoxygenation of 2-Ethylphenol as a Model Compound of Bio-Crude over Sulfided Mo-based Catalysts: Promoting Effect and Reaction Mechanism. *Applied Catalysis B: Environmental*, 98: 213-223
- Subagio, U.M. 2013. Kinetika Hidrodesulfurisasi Dibenzothiophene (HDS SBT) Menggunakan Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃. *Reaktor*, 14(4): 314-323
- Topsoe, H., Clausen, Bjerne S., Massoth & Franklin, E. 1996. *Hydrotreating Catalyst Science and Technology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg