

HIDRODESULFURISASI THIOFEN MENGGUNAKAN KATALIS NI-MO/ZEOLIT ALAM

Harjito

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang

Abstrak. Telah dilakukan uji aktifitas HDS tiofen menggunakan katalis Ni-Mo/Zeolit alam, sebagai model senyawa pengotor minyak bumi. Sedangkan senyawa model hidroarbon minyak bumi digunakan n-heksana yang mempunyai titik didih yang hampir sama dengan tiofen. Sebagai katalis digunakan kombinasi logam Ni dan Mo yang diimbangkan secara simultan (*coimpregnasi*), dalam bentuk prekursor kation nikel dan anion molibdat. Katalis hasil pengembangan kemudian dikalsinasi pada temperatur 500 °C, dioksidasi dan direduksi untuk membebaskan katalis dari senyawa ataupun unsur yang tidak diharapkan. Untuk mengetahui sifat-sifat dari katalis hasil preparasi dilakukan karakterisasi. Keasaman katalis dianalisis dari gravimetri adsorpsi amonia, kristalinitas diukur dengan difraksi sinar-X (XRD), kandungan logam terbunkan dengan Spektrofotometri Serapan Atom (AAS). Pengujian katalis dilakukan pada temperatur 350 °C dengan laju alir gas pembawa 25 mL/menit. Umpan menggunakan campuran tiofen dan n-heksana dengan rasio 1 : 1. Sedangkan rasio katalis umpan adalah 1 : 2. Pengujian dilakukan dengan tiga kondisi yaitu tanpa katalis, dengan katalis zeolit alam dan dengan katalis Ni-Mo/zeolit alam. Produk HDS dilewatkan pada pendingin sehingga terbagi menjadi dua fraksi, yaitu fraksi cair (kondensat) dan fraksi gas. Analisis lebih lanjut dilakukan untuk produk fase cair secara gravimetri untuk menentukan massa umpan tak terkonversi. Sedangkan untuk mengetahui rasio tiofen dan n-heksana digunakan kromatografi gas (GC), dan spektrofotometri massa (MS). Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan katalis zeolit alam dibanding tanpa katalis terjadi penurunan konversi *hydrocracking* (HC) n-heksana sebesar 2,93% dan peningkatan hidrodessulfurisasi (HDS) tiofen sebesar 19,61%, sedangkan dengan katalis Ni-Mo/Zeolit proses konversi HC n-heksana terjadi peningkatan sebesar 28,81%, dan proses HDS tiofen meningkat sebesar 26,76%. Walaupun peningkatan HDS tiofen secara relatif antara proses terkatalis zeolit alam dengan katalis Ni-Mo/zeolit alam relatif kecil yaitu sebesar 7,15%, namun di sisi lain terjadi peningkatan proses HC yang cukup signifikan yaitu sebesar 31,74%. Jadi dengan menggunakan katalis Ni-Mo/zeolit alam pemrosesan minyak bumi tahapan proses dapat diperpendek.

Kata Kunci : Hidrodessulfurisasi, Ni-Mo/zeolit alam, tiofen

PENDAHULUAN

Kebutuhan dunia akan minyak bumi saat ini makin meningkat, sementara cadangan minyak bumi cenderung tidak meningkat. Sementara itu hasil eksplorasi sumber-sumber minyak baru tidak selalu memberikan hasil yang memuaskan. Beberapa senyawa ikutan yang merupakan senyawa heteroatom seringkali menghambat proses pengolahan minyak bumi pada kilang-kilang hidrorengkah. Senyawa-senyawa tersebut meracuni katalis hidrorengkah sehingga umur pakai katalis menjadi pendek. Salah satu golongan senyawa penghambat proses hidrorengkah adalah senyawa aromatis dengan gugus heteroatom sulfur dan derivatnya. Unsur sulfur ketika berada dalam cincin aromatis akan bertindak sebagai basa sehingga tertarik lebih kuat ke situs aktif katalis hidrorengkah yang umumnya merupakan padatan asam (*solid acid*). Akibatnya situs tertutup dan tidak bisa mengadsorpsi hidrokarbon yang akan direngkah. Kondisi ini secara umum disebut peracunan katalis.

Untuk mereduksi senyawa tiofen dan turunannya diperlukan katalis hidrodessulfurisasi (HDS). Katalis HDS adalah katalis yang bekerja untuk menarik atom sulfur dari senyawa heteroatom. Lepasnya atom sulfur dapat berakibat pada pembukaan cincin aromatis, isomerisasi, penjumlahan ataupun perengkahan. dalam industri kilang katalis hidrorengkah yang umum digunakan adalah logam Pt yang diimbangkan pada padatan asam. Namun beberapa penelitian menunjukkan logam Ni ataupun Co dapat bekerja baik pada proses HDS. Secara ekonomis katalis Ni atau Co lebih murah dibandingkan katalis Pt, oleh sebab itu penelitian katalis utamanya Ni perlu untuk diintensifkan agar diperoleh katalis yang mempunyai kinerja seperti katalis Pt tetapi dengan harga yang lebih ekonomis.

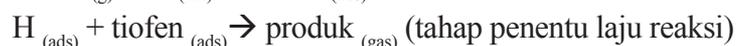
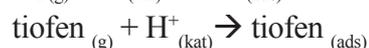
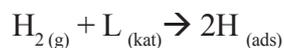
Dalam industri, katalis HDS yang lazim digunakan adalah Ni-Mo/Al₂O₃ atau Co-Mo/Al₂O₃ (Steiner, 2002). Alumina yang digunakan sebagai pengemban tidak memberikan kontribusi yang besar dalam mekanisme reaksi karena cenderung bersifat inert. Alumina lebih berperan sebagai suport untuk memperluas permukaan. Zeolit dibandingkan dengan alumina memiliki beberapa kelebihan, selain bisa berperan sebagai pengemban, zeolit juga bersifat asam yang dapat digunakan sebagai katalis hidrorengkah. Padatan asam diperlukan dalam proses HDS, karena gugus sulfur dalam senyawa heteroatom bersifat basa. Zeolit merupakan salah satu padatan asam yang umum digunakan sebagai pengemban dalam hidrorengkah maupun HDS. Struktur zeolit merupakan kerangka silika alumina yang membentuk kanal, dengan permukaan yang bermuatan negatif dan bersifat asam. Sifat Asam dari zeolit disubangkan oleh gugus yaitu gugus OH yang merupakan gugus asam Brönsted dan gugus asam Lewis, yaitu ketika dua buah situs Si-O-H (silanol) kehilangan molekul H₂O. Jadi kelebihan menggunakan pengemban zeolit dibandingkan dengan alumina adalah setidaknya ada dua hal, yang pertama struktur zeolit yang berupa kanal memungkinkan untuk terjadinya reaksi secara selektif (katalis selektif), dan kedua keasaman dari

zeolit dapat digunakan untuk meningkatkan aktifitas katalitik dari logam Ni-Mo.

Penggunaan zeolit dalam HDS telah terbukti dapat meningkatkan sifat katalitik dari logam Ni-Mo (Li, dkk 2000). Menurut Li, semakin tinggi keasaman dari zeolit, semakin tinggi pula aktifitas katalitiknya, namun keasaman yang terlalu tinggi juga akan menurunkan aktivitasnya. Hasil perbandingan antara NaY, USY dan HZSM-5, menunjukkan bahwa aktifitas HDS tertinggi dimiliki oleh USY, di mana keasaman USY lebih tinggi dari NaY tetapi lebih rendah dari HZSM-5. Zeolit alam secara umum memiliki keasaman yang lebih rendah dari USY. Namun dengan proses dealuminasi, rasio Si/Al dapat ditingkatkan. Akibat peningkatan rasio Si/Al adalah peningkatan keasaman. Jadi zeolit alam akan mempunyai aktifitas katalitik yang sama dengan USY pengemban Ni-Mo pada proses HDS jika keasamannya bisa dinaikkan mencapai keasaman USY. Mengingat harga zeolit alam jauh lebih murah dari USY, maka secara ekonomi akan jauh lebih menguntungkan, di samping harga katalis bisa ditekan, zeolit alam juga bisa dinaikkan nilai ekonomisnya.

Reaksi terkatalisis padatan mengikuti kinetika yang berbeda dari reaksi dengan katalis homogen. Terdapat dua mekanisme reaksi terkatalisis padatan, yaitu Langmuir-Hinshelwood yang menyatakan bahwa tahap penentu laju reaksi adalah tahap reaksi antar substrat teradsorpsi (adsorbat) dalam hal ini adalah hidrogen teradsorpsi disosiatif dan tiofen. Mekanisme yang kedua adalah Eley-Rideal yang menyatakan bahwa tahap penentu reaksi adalah tahap tumbukan antara substrat teradsorpsi (adsorbat) dan substrat tak teradsorpsi (gas). Menurut Sugioka, dkk., (2004), mekanisme Langmuir-Hinshelwood lebih tepat untuk menggambarkan proses HDS tiofen. Jadi tahap penentu reaksi dalam HDS tiofen adalah reaksi antara hidrogen teradsorpsi disosiatif pada situs logam dengan tiofen teradsorpsi pada situs asam zeolit.

Mekanisme reaksi dari dua substrat yang mengikuti mekanisme Langmuir-Hinshelwood dapat dituliskan sebagai berikut (Gasser, 1985).



Dengan mendasarkan pada mekanisme Langmuir-Hinshelwood maka *coverage degree* merupakan perbandingan jumlah molekul teradsorpsi terhadap maksimum adsorpsi monolayer.

Penelitian yang dilakukan oleh Harjito (2009), menunjukkan bahwa Ni-Mo yang diembankan pada USY dapat digunakan sebagai katalis HDS tiofen. Pada temperatur proses 350oC, dengan laju alir sebesar 25 ml/menit, dengan rasio katalis umpan 0,4 diperoleh hasil konversi sebesar 71,78%.

METODE

Persiapan Katalis

Persiapan katalis dilakukan melalui beberapa proses. Pertama kali dilakukan pencucian zeolit untuk menghilangkan pengotor. Tahap berikutnya dealuminasi untuk meningkatkan rasio Si/Al. Selanjutnya dilakukan pengembunan, dan terakhir adalah aktivasi katalis dan pencetakan.

Pengembunan logam yang dilakukan secara simultan. Alat yang digunakan adalah labu alas bulat 500 mL. Sebanyak 2,94 gram $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dalam 60 mL aquabidest kemudian ditambahkan sedikit demi sedikit zeolit yang telah dipersiapkan hingga 30 gram. Selama proses campuran diaduk terus menerus pada temperatur 60°C . Setelah 120 menit larutan 2,34 gram $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam 60 mL aquabidest dan 9 mL larutan NH_3 pekat ditambahkan sedikit demi sedikit sambil terus diaduk. Penambahan ammonia dimaksudkan untuk mencegah pengendapan $\text{Ni}_3\text{Mo}_7\text{O}_{24}$. Campuran diaduk dan dipanaskan selama 120 menit pada temperatur 60°C lalu disaring dan didiamkan selama semalam. Padatan hasil penyaringan dioven pada temperatur 110°C , dihaluskan dan diayak dengan ukuran 100 mesh. Hasil pengayakan dikalsinasi dengan gas nitrogen selama 180 menit pada temperatur 550°C dengan laju alir 12 mL/menit, gas oksigen selama 120 menit pada temperatur 400°C dengan laju alir 12 mL/menit dan hidrogen selama 120 menit pada temperatur 400°C . Katalis hasil kalsinasi dicetak dengan massa 1 gram per 3 tablet.

Karakterisasi Katalis

Karakterisasi katalis dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisika maupun kimia katalis. Dengan mengetahui sifat-sifat tersebut maka perilaku katalis selama proses uji aktivitas dapat lebih mudah dipahami.

1. Uji Keasaman

Keasaman katalis merupakan ukuran kemampuan suatu katalis untuk mengikat basa baik menggunakan mekanisme pelepasan proton (keasaman menurut Brönsted) ataupun mekanisme penangkapan pasangan elektron (keasaman menurut Lewis). Untuk pengukuran keasaman dalam penelitian ini dilakukan dengan parameter massa ammonia. Metode ini dipilih karena molekul ammonia relatif kecil, dan mampu menjadi akseptor proton (basa Brönsted) ataupun donor pasangan elektron bebas (basa Lewis). Hasil Pengukurannya dinyatakan sebagai bilangan asam total yang ditentukan dengan rumus pada persamaan 23.

$$BA = \frac{m_{\text{NH}_3}}{m_{\text{katalis}} \cdot M_{\text{rNH}_3}}$$

2. Kristalinitas Katalis

Kristalinitas yang tinggi merupakan ukuran kestabilan struktur selama perlakuan. Peningkatan kristalinitas berarti peningkatan kualitas struktur, yang berimbas pada keteraturan struktur, rongga, kaviti dan porositas. Untuk mengetahui kestabilan struktur katalis selama proses preparasi dilakukan dengan membandingkan difraktogram zeolit sebelum dan sesudah perlakuan.

3. Kandungan Logam Terembankan

Keberhasilan proses pengembanan ditandai oleh peningkatan kandungan logam tersebut pada katalis. Secara kualitatif peningkatan kadar logam dapat dilihat dari data difraktogram XRD pada sudut-sudut yang spesifik dengan cara dibandingkan dengan library. Perbandingan ketinggian puncak pada difraktogram XRD mampu memberikan gambaran komposisi logam pada permukaan katalis.

Selain itu, secara kuantitatif kandungan logam dapat dihitung dengan Analisis Serapan Atom (*Atomic Adsorption Spectrophotometry/AAS*). Hasil analisis AAS merupakan gambaran kandungan logam secara total baik di permukaan maupun dalam *bulk*.

Uji Aktifitas HDS Katalis

Uji aktifitas katalis dilaksanakan dengan menggunakan reaktor PFR (Gambar 5). Sebagai umpan adalah larutan tiofen 50% dalam n-heksana sebanyak 5 mL yang dipanaskan dengan temperatur 70°C. Tiofen merupakan senyawa model untuk tiofen dan derivatnya, sedangkan n-heksana sebagai model untuk hidrokarbon. Umpan akan terbawa oleh gas hidrogen yang dialirkan melalui permukaan cairan tiofen dan masuk ke dalam reaktor yang telah dipanaskan pada temperatur reaksi. Laju alir gas pembawa adalah 25 mL/menit.

Hasil pemrosesan dialirkan melalui pendingin tembaga yang tercelup dalam air es. Fraksi yang keluar dari reaktor terdiri atas dua macam yaitu fraksi gas, yaitu produk-produk hasil HDS dengan titik didih di bawah 0°C yang tidak terkondensasi dan fraksi cair meliputi sisa n-heksana, tiofen dengan titik didih di atas 0°C dan produk-produk gas yang terlarut.

1. Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif dilakukan untuk menentukan komponen-komponen penyusun feed (larutan tiofen dalam n-heksana) dan komponen-komponen penyusun kondensat (fraksi cair), komponen yang terdapat dalam fraksi cair tetapi tidak terdapat umpan adalah produk terlarut. Dari kromatogram GC dapat ditentukan fraksi-fraksi produk terlarut, dari data MS dapat diketahui nama senyawa tersebut.

2. Analisis Kuantitatif

Analisis kuantitatif dilakukan dengan menggunakan gravimetri dipadukan dengan

persentase luasan dalam kromatogram. Selisih massa antara umpan dan sisa produk terkondensasi merupakan massa umpan terkonversi. Perhitungan persen konversi terlihat dalam persamaan 24.

$$\% \text{konversi} = \frac{m_{\text{umpan}} - m_{\text{sisa}}}{m_{\text{umpan}}} \times 100\% \quad (24)$$

Dalam penelitian ini akan dihitung persen konversi untuk tiofen dan n-heksana pada temperatur 350°C untuk reaktor tanpa katalis (HDS non katalitik), dengan katalis H-Zeolit (HDS terkatalitik H-Zeolit) dan dengan katalis Ni-Mo Zeolit (HDS terkatalitik Ni-Mo/Zeolit). Dari perbandingan data tersebut dapat dilihat bagaimana pengaruh proses yang berbeda pada masing-masing komponen umpan.

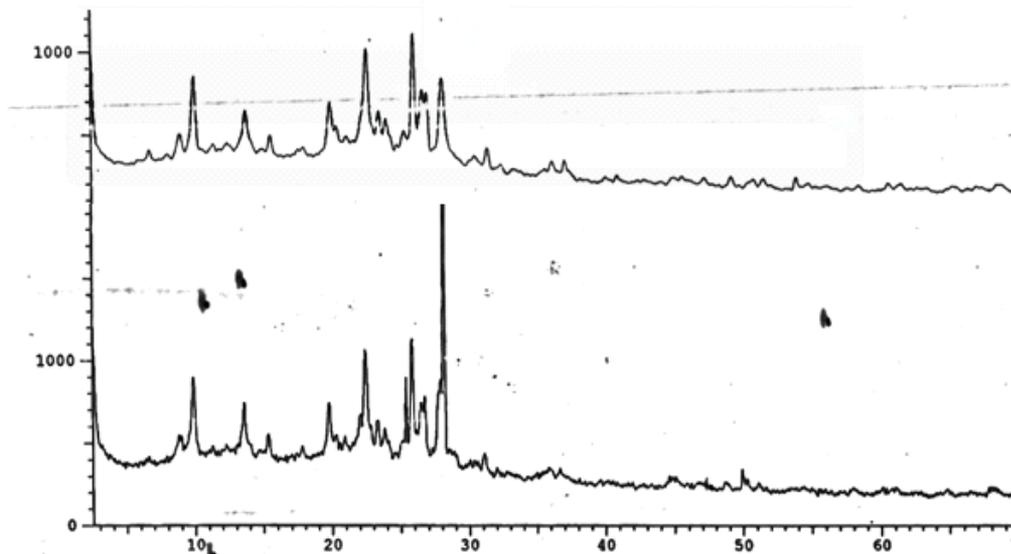
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bilangan Asam Total

Hasil preparasi katalis menghasilkan tablet katalis berukuran ~1 gram/tablet. Pengujian keasaman dilakukan untuk membandingkan antara zeolit saat masih dalam bentuk Na-Zeolit, H-zeolit dan sesudah diimpregnasi menjadi Ni-Mo/Zeolit. Hasil pengukuran bilangan asam total berturut-turut adalah 239 mmol/gram, 1526 mmol/gram dan 1343 mmol/gram. Terlihat jelas bahwa dealuminasi dapat meningkatkan bilangan asam total secara signifikan. Namun proses impregnasi logam justru menurunkan bilangan asam total.

Kristalinitas Katalis

Dari difraktogram H-zeolit dan Ni-Mo/Zeolit (Gambar 1), terlihat bahwa tidak ada peningkatan kristalinitas yang cukup signifikan, terlihat pada *base line* keduanya relatif sama dari 2-teta 0° sampai 70°, kecuali munculnya puncak baru yang sangat tajam pada Ni-Mo/Zeolit yang menunjukkan adanya komponen baru penyusun zeolit, yaitu Ni dan Mo terimpregnasi pada daerah 2-teta 28° yang tumpang tindih dengan puncak yang telah ada sebelumnya.



Gambar 1. Difraktogram H-Zeolit (atas) dan Ni-Mo/Zeolit (bawah)

Kandungan Logam Terembankan

Preparasi katalis dilakukan dengan pengembanan logam Mo dan Ni pada zeolit alam dengan prekursor garam $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ sumber logam Ni dan Mo. Setiap 30 gram zeolit digunakan 2,34 gram $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan 2,94 gram $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ yang berarti setiap 1 gram zeolit diharapkan akan terembankan logam Ni sebanyak 16,765 mg dan Mo sebanyak 53,253 mg. Jadi rasio yang diharapkan Ni:Mo adalah 1:3,18.

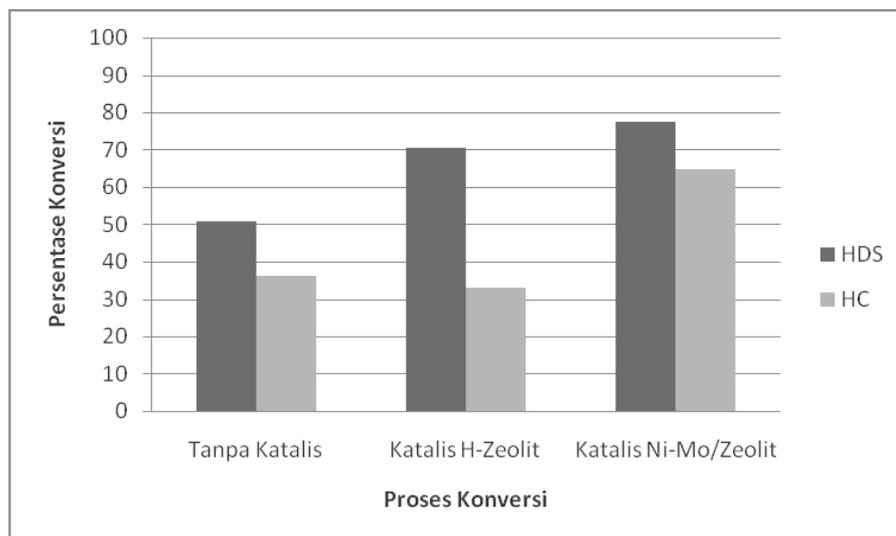
Hasil analisis dengan AAS menunjukkan bahwa kadar Ni dan Mo dalam 1,0013 gram sampel adalah 2190,104 ppm dan 3465,274 ppm yang berarti setiap gram sampel berhasil diembankan logam Ni sebanyak 2,192951 mg dan Mo 3,469779 mg. Rasio logam Ni:Mo yang terembankan dalam katalis adalah 1:1,58 dengan tingkat keberhasilan pengembanan Ni adalah 13,08% dan untuk Mo sebesar 6,516%. Keberhasilan ini sangat dipengaruhi oleh metode pengembanan, kondisi keasaman larutan, garam prekursor yang digunakan dan kemampuan adsorpsi dari pengembanan.

Uji Aktifitas

Analisis dilakukan dengan analisis GC dan GC-MS. Dari data kromatogram untuk sampel umpan (larutan tofen dalam n-heksana) dapat diketahui komposisi dari senyawa-senyawa penyusun. Analisis GC-MS untuk larutan umpan memberikan informasi bahwa umpan terdiri atas 3 komponen yaitu 52,97% n-heksana, metil-siklopentana 0,25% dan sisanya tofen 46,78%.

Dari pengukuran massa jenis untuk sampel adalah 0,7350 g/mL. Pengujian menggunakan umpan sebanyak 5 mL, jadi massa n-heksana dalam umpan adalah 1,9466 gram dan massa tiofen sebesar 1,7192 gram.

Kromatogram GC untuk kondensat pada proses HDS tanpa katalis memberikan data sebagai berikut. Kandungan n-heksana 54,18% dan tiofen 36,83% sedangkan sisanya adalah 4 komponen yang merupakan produk gas terlarut. Kondensat yang berhasil ditampung sebanyak 3,71 mL dengan massa jenis 0,6185. Jadi dalam kondensat terdapat n-heksana sebanyak 1,4720 gram dan tiofen sebanyak 1,0006 gram. Dengan mengabaikan kondensat yang hilang selama proses, maka konversi *hidrocracking*(HC) n-heksana adalah 24,38% dan untuk konversi HDS tiofen sebesar 41,80%. Jadi persentase konversi HDS tiofen hampir dua kali lipat dari persentase konversi HC n-heksana. Tingginya konversi tiofen dibandingkan n-heksana disebabkan tiofen memiliki gugus fungsi tiol yang lebih reaktif dibandingkan n-heksana yang tidak memiliki gugus fungsi (alifatis).



Gambar 2. Persentase Konversi HDS Tiofen dan HC n-Heksana

Kromatogram GC untuk kondensat pada proses HDS dengan katalis zeolit alam memberikan data sebagai berikut. Kandungan n-heksana 71,60% dan tiofen 27,97% sedangkan sisanya adalah 5 komponen yang merupakan produk gas terlarut. Kondensat yang berhasil ditampung sebanyak 2,48 mL dengan massa jenis 0,7323. Jadi dalam kondensat terdapat n-heksana sebanyak 1,2432 gram dan tiofen sebanyak 0,8741 gram. Dengan mengabaikan kondensat yang hilang selama proses, maka konversi n-heksana adalah 33,20% dan untuk tiofen sebesar 70,45%. terdapat peningkatan yang signifikan persentase konversi untuk proses HDS terkatalisis zeolit alam yaitu 19,61% sedangkan proses HC menurun sebesar 2,93%. Kenaikan persentase konversi HDS

dimungkinkan karena katalis yang bersifat asam mengimobilisasi molekul tiofen yang bersifat basa sehingga memungkinkan terjadi kontak antara molekul tiofen molekul hidrogen. Sedangkan n-heksana tidak terlalu terpengaruh oleh keasaman zeolit sehingga hampir tidak mengalami perubahan persentase konversi.

Sedangkan dari kromatogram GC untuk kondensat pada proses HDS dengan katalis Ni-Mo/zeolit alam memberikan data sebagai berikut. Kandungan n-heksana 61,94% dan tiofen 34,95% sedangkan sisanya adalah 3 komponen yang merupakan produk gas terlarut. Dari analisis data kondensat yang berhasil ditampung diperoleh data volum kondensat 1,56 mL dengan massa jenis 0,7062. Jadi dalam kondensat terdapat n-heksana sebanyak 0,6823 gram dan tiofen sebanyak 0,3850 gram. Dengan mengabaikan kondensat yang hilang selama proses, maka konversi n-heksana adalah 64,94% dan untuk tiofen sebesar 77,60%. Terdapat peningkatan yang signifikan persentase konversi untuk proses HDS terkatalisis zeolit alam yaitu 26,76% dan proses HC untuk n-heksana meningkatkan sebesar 28,81% untuk tiofen. Kenaikan persentase konversi HC jauh lebih besar dari HDS tetapi tidak menurunkan proses HDS, yang berarti kedua proses berjalan tanpa saling berkompetisi. Dengan demikian imregnasi logam Ni-Mo pada zeolit alam bisa berperan sekaligus sebagai HDS maupun HC. Grafik selengkapnya persentase konversi HC n-heksana dan HDS tiofen terlihat pada gambar 2.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari hasil dan pembahasan diperoleh gambaran yang komprehensif mengenai proses HDS tiofen terkatalisis Ni-Mo/Zeolit alam. Secara umum dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Ni-Mo/Zeolit alam dapat digunakan katalis HDS untuk tiofen. Konversi HDS tiofen pada temperatur 35oC dengan laju alir gas hidrogen 25 mL/menit secara bruto adalah sebesar 77,60% dan secara netto adalah sebesar 26,76%. Peningkatan ini secara signifikan dapat mengurangi dampak peracunan katalis oleh sulfur sehingga meningkatkan umur pakai katalis HC.
2. Perbandingan kinerja HDS tiofen tanpa katalis, dengan katalis H-Zeolit Alam dan Ni-Mo/Zeolit Alam secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut. Ni-Mo/Zeolit Alam berperan efektif sebagai katalis katalis HDS tiofen, dengan peningkatan konversi relatif sebesar 26,76% terhadap proses HDS tanpa katalis dan kenaikan relatif sebesar 7,15% terhadap HDS dengan katalis zeolit alam. Walaupun eningkatan terhadap proses HDS dengan katalis zeolit hanya sebesar 7,15% namun dari sisi lain terjadi Ni-Mo/zeolit alam mampu meningkatkan proses HC n-heksana sebesar 31,74%. Karena proses HDS dimaksudkan untuk proses sebelum HC maka penigkatan HC merupakan keuntungan yang tersendiri yaitu mengurangi pemrosesan minyak bumi secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Gasser, R.P.H., 1985, *An Introduction To Chemisorption and Caalysis by Metals*, Clarendon Press-Oxford, New York.
- Harjito, 2009, Pengaruh Temperature Terhadap Aktivitas Katalitik Ni-Mo/USY Pada Proses HDS Tiofen, *Proceeding*.
- Steiner, P., 2002, Kinetic and deactivation studies of hydrodesulfurization catalyst, *Dissertation, The Norwegian University of Science and Technology*, Norwegia.
- Sugioka, M., Kanda, Y., Kobayashi, T., Uemichi, Y., 2004, Development of Highly Active New Hydrodesulfurization Catalysts for Prevention of Acid Rain, *J. Mem. Muroran Inst. Tech.*, vol. 54, p. 41-46