

Studi Aktivitas Katalis *Molecular Sieve 4a* pada Proses *Fluid Catalytic Cracking* Minyak Nabati

Hendriyana*, Bambang Hari Prabowo, Indra Jaya dan Syarah Nur Lathifah
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani Cimahi
*E-mail: hendriyana@lecture.unjani.ac.id

Abstrak -- Penelitian mengenai bahan bakar nabati terus berkembang sampai saat ini. Ketersediaan minyak sawit yang sangat melimpah di Indonesia masih belum optimal pemanfaatannya, sebagian besar minyak sawit yang dihasilkan dijual sebagai komoditas ekspor, kemiripan struktur rantai hidrokarbon minyak sawit dengan struktur rantai minyak yang berasal dari bahan bakar fosil memberikan peluang yang sangat besar untuk mengkonversi minyak sawit menjadi *biogasoline*. Pada penelitian ini, proses *fluid catalytic cracking* dilakukan dengan menggunakan molsieve 4A. Katalis diuji aktivitasnya melalui proses *fluid catalytic cracking*. Proses ini dilakukan selama ± 2 jam dengan variasi laju alir 100-150 ml/menit dan temperatur 350-400°C. Kondisi optimum untuk proses FCC ini yaitu pada laju alir 100 ml/menit dan temperatur 400°C sedangkan untuk katalis yang memiliki aktivitas terbaik yaitu molsieve 4A yang telah diprotonasi dengan larutan NH_4Cl . Produk yang dihasilkan berupa cairan, paraffin, gas, dan *coke*. Pengujian produk dilakukan dengan cara mengetahui *ignition point* produk lalu membandingkannya dengan *ignition point* umpan dan gasolin komersial.

Kata kunci -- minyak sawit, katalis, FCC, kondisi operasi, *ignition point*

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan data yang diperoleh dari BP Statistical Review of World Energy 2015 produksi minyak Indonesia sejak tahun 2004 hingga 2014 terus mengalami penurunan yang cukup signifikan, sebaliknya konsumsi minyak Indonesia disemua sektor pada rentang tahun yang sama terus mengalami peningkatan. Hal ini akan menjadi sebuah permasalahan yang cukup besar, di mana kapasitas produksi tidak mampu mengimbangi jumlah konsumsi minyak harian yang berdampak pada meningkatnya impor minyak untuk memenuhi kebutuhan minyak dalam negeri.

Kebutuhan bahan bakar terutama untuk bahan bakar transportasi terus mengalami peningkatan sebagai dampak dari semakin banyaknya jumlah penduduk, kemajuan sarana transportasi dan semakin berkembangnya industri. Peningkatan permintaan terhadap *gasoline*, kerosin dan diesel akan menjadi masalah yang besar karena bahan bakar tersebut bukan merupakan sumber energi terbarukan. Cadangan minyak bumi terus mengalami penurunan yang cukup cepat

bahkan lebih cepat dari proses pembentukan minyak bumi itu sendiri, sementara kebutuhan bahan bakar terus mengalami peningkatan sehingga sangat perlu dilakukan pencarian sumber energi alternatif. Gas alam tampaknya bisa dijadikan alternatif pengganti minyak bumi, namun penanganan keselamatan dan trasportasinya cukup sulit. Sumber energi lain seperti batu bara juga bisa dikonversi menjadi *gasoline*, namun biaya produksi dan kualitas produk yang dihasilkan kurang baik serta prosesnya relatif berbahaya dan membahayakan kesehatan (Siregar, 2005). Sementara sumber bahan bakar fosil yang merupakan sumber energi terbatas yang tidak dapat diperbaharui terus mengalami penurunan sehingga pada suatu saat keberadaannya akan habis. Untuk menanggulangi hal tersebut perlu dilakukan penelitian dan pengembangan sumber energi alternatif.

Indonesia merupakan negara yang sumber daya alamnya sangat melimpah. Ketersediaan sumber daya alam yang melimpah ini dapat dimanfaatkan untuk memproduksi bahan bakar nabati (BBN) yang bersumber dari minyak nabati salah satunya adalah minyak sawit. Minyak sawit merupakan sumber energi alternatif potensial yang mempunyai rantai hidrokarbon yang hampir sama dengan rantai hidrokarbon yang berasal dari bahan bakar fosil. Karena kemiripan tersebut dan ketersediaan minyak sawit yang melimpah, minyak sawit dapat diproses untuk memproduksi biofuel sebagai alternatif pengganti sumber bahan bakar fosil.

Indonesia merupakan negara penghasil minyak sawit terbesar ke-2 di dunia setelah Malaysia. Ketersediaan minyak sawit ini mencapai 30 juta ton pada tahun 2014. Sementara kebutuhan dalam negeri untuk minyak goreng, oleokimia dan biodiesel hanya mencapai enam juta ton. Selama ini sebagian besar minyak sawit diekspor, oleh sebab itu minyak sawit bisa menjadi bahan baku utama untuk produksi biodiesel (Wargadalam, dkk, 2015).

Produksi bensin di dalam kilang minyak bumi sebagian besar dilaksanakan dalam unit FCC (*Fluid Catalytic Cracking*). Unit FCC bekerja dengan merengkah umpan hidrokarbon berantai panjang menjadi hidrokarbon berantai pendek, terutama fraksi bensin. Prinsip ini memungkinkan diterapkan pada berbagai tipe umpan selama memiliki rantai hidrokarbon yang lebih panjang dari pada bensin. Pada awalnya FCC dikembangkan untuk merengkah VGO (Vacum Gas Oil) dan kemudian juga digunakan untuk merengkah residu destilasi atmosferik. Saat ini minyak nabati mendapat banyak perhatian untuk direngkah di dalam unit FCC, baik dalam campuran dengan minyak bumi (*co-*

processing) ataupun murni minyak nabati saja (Wargadalam, dkk, 2015).

Beberapa penelitian tentang teknologi perengkahan (*cracking*) bahan bakar nabati telah banyak dilakukan baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan minyak sawit dapat direngkah menjadi hidrokarbon melalui reaksi perengkahan katalitik dengan katalis asam, salah satunya adalah katalis γ -alumina (Wijanarko, dkk, 2006).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perengkahan katalitik minyak sawit menjadi *biogasoline* menggunakan katalis γ -alumina menghasilkan produk dengan yield 11,8% (v/v) dan konversi 28,0% (v/v) terhadap umpan minyak sawit dengan bilangan oktan produksinya sebesar 61,0. Hasil tersebut diperoleh dengan kondisi optimum reaksi pada variasi perbandingan berat minyak dengan berat katalis 100:1 dalam waktu 1,5 jam dan suhu 340°C menggunakan reaktor tumpak berpengaduk (Wijanarko, dkk, 2006).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Dahyaningsih, dkk. menggunakan katalis NiMo/Zeolit untuk perengkahan minyak nyamplung dengan metode hydrocracking menunjukkan bahwa yield solar paling optimum berada pada suhu 350oC dengan yield solar sebesar 62,58%, sedangkan yield gasolin dan kerosin mengalami kenaikan sampai suhu 375 oC dengan produk yield sebesar 19,27% dan 12,83% (Dahyaningsih & Ibrahim, 2013).

Penelitian yang dilakukan oleh (Nurjanah, 2010) dalam proses perengkahan minyak sawit dengan menggunakan katalis HZSM-5 menghasilkan yield *gasoline* sebesar 28,78% pada suhu 450oC akan tetapi mengalami penurunan pada suhu 500oC dengan yield *gasoline* sebesar 13,58%. Katalis HZSM-5 merupakan katalis yang baik untuk proses perengkahan dengan menghasilkan yield yang tinggi. Akan tetapi, katalis ini sangat mahal dan masih jarang di Indonesia sehingga harus di impor dari luar.

Katalis zeolit telah banyak digunakan dan menghasilkan perolehan *gasoline* yang cukup baik pada proses *fluid catalytic cracking*, sedangkan untuk molsieve 4A lebih banyak digunakan pada proses adsorpsi sebagai adsorben. Molsieve 4A merupakan katalis zeolit, memiliki ukuran pori yang cukup kecil, sehingga diharapkan mampu memotong rantai hidrokarbon umpan menjadi fraksi yang lebih pendek. Berdasarkan uraian di atas, maka kami mencoba menggunakan katalis molsieve 4A untuk mengkonversi minyak sawit menjadi *gasoline* melalui proses *fluid catalytic cracking*.

Katalis zeolit merupakan katalis yang paling banyak digunakan pada proses *fluid catalytic cracking*. Katalis molsieve 4A memiliki ukuran pori sebesar 4 Armstrong, sehingga memiliki potensi untuk memotong rantai minyak nabati menjadi produk yang memiliki rantai lebih pendek. Kekuatan asam molsieve 4A diperbaiki melalui protonasi dengan larutan NH₄Cl. Laju alir N₂ sebagai gas pembawa dan temperatur operasi menjadi faktor yang akan dilihat pula pengaruhnya. Sehingga kondisi optimum operasi dapat diperoleh dari penelitian yang dilakukan.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui aktivitas katalis molsieve 4A, mengetahui bahan bakar yang dihasilkan pada proses *fluid catalytic cracking*, mengetahui pengaruh laju alir N₂ dan temperatur terhadap perolehan paraffin, cairan, gas dan *coke*.

4. Mengetahui pengaruh protonasi larutan NH₄Cl pada molsieve 4A terhadap perolehan paraffin, cairan, gas dan *coke*.

II. METODE

Katalis yang akan dipakai pada penelitian ini merupakan katalis Molsieve 4A, γ -Al₂O₃, ZSM, dan HY-Zeolit. Katalis molsieve 4A yang akan digunakan adalah katalis dari Merck. Katalis molsieve 4A ada yang langsung digunakan dan adapula yang ditreatment terlebih dahulu melalui protonasi dengan larutan NH₄Cl. Sementara katalis γ -Al₂O₃ dibuat dengan metode presipitasi, karena metode ini paling banyak digunakan dan mampu menghasilkan γ -Al₂O₃ dengan karakteristik yang baik, mempunyai luas permukaan besar, dan mampu membentuk struktur katalis yang kompak. Katalis ini dibuat berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Kurniawan & Lestari, 2015). Untuk pembuatan katalis ZSM dibuat dengan metode yang digunakan oleh (Gharmaleki, dkk, 2004) sedangkan untuk pembuatan katalis HY-Zeolit menggunakan metode yang digunakan oleh (Win, 2004).

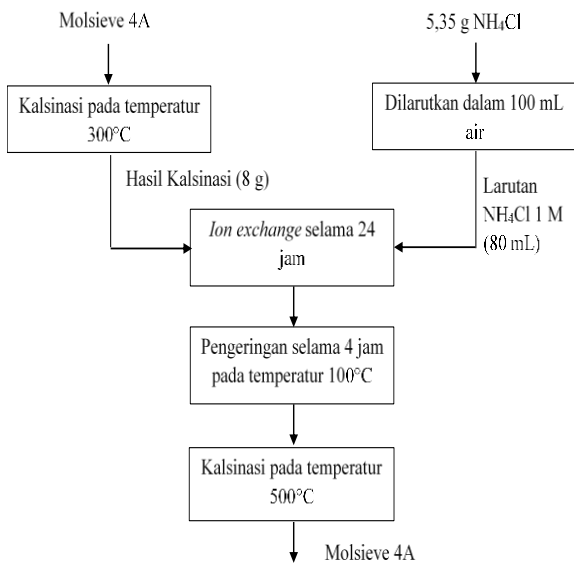
A. Proses Protonasi Molsieve 4A

Terlebih dahulu disiapkan bahan yaitu Molsieve 4A, NH₄Cl, dan air. Molsieve 4A dikalsinasi menggunakan furnace pada temperatur 300oC selama 1 jam. Untuk membuat larutan NH₄Cl 1 M yaitu dengan menimbang 5,35 g NH₄Cl lalu melarutkannya di dalam labu ukur 100 ml. Setelah itu, 8 g molsieve 4A yang telah dikalsinasi diprotonasi dengan cara ion exchange menggunakan 80 ml larutan NH₄Cl 1 M (1:10) selama 24 jam dan ditutup dengan aluminium foil. Selanjutnya, disaring dan dioven selama 4 jam dengan temperatur 100oC. Kemudian dikalsinasi menggunakan furnace dengan laju pemanasan 2°C/menit sampai mencapai temperatur 500oC dan ditahan selama 1 jam. Berikut ini merupakan diagram alir proses protonasi yang disajikan pada gambar 3.5.

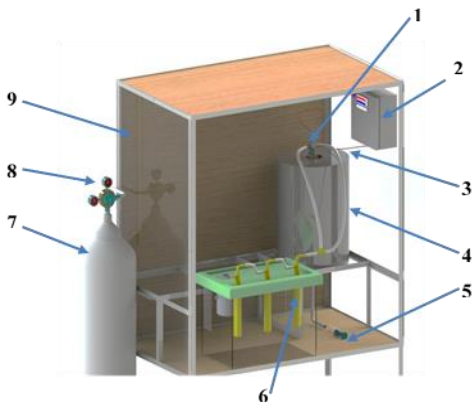
B. Proses Perengkahan Katalitik

Proses *fluid catalytic cracking* (FCC) dilakukan dalam sebuah mikro reaktor yang diisi katalis sebanyak 5 gram, kemudian reaktor tersebut ditempatkan dalam suatu electrical furnace. Minyak sawit (umpan) ditempatkan pada suatu suntikan dengan volume 25 ml yang dihubungkan pada bagian reaktor. Reaktor dipanaskan terlebih dahulu sampai temperatur operasi yang diinginkan. Setelah mencapai temperatur operasi dilakukan flashing terlebih dahulu selama 20-30 menit dengan cara mengalirkan gas nitrogen dengan laju alir tertentu. Umpan mulai diinjeksikan ke dalam reaktor sebanyak 2 ml dan dilakukan injeksi ulang 1ml/20 menit. Laju alir gas nitrogen dikalibrasi dengan menggunakan bubble soap. Output reaktor dihubungkan pada 3 buah impenjer yang berfungsi sebagai kondensor untuk

mengkondensasi produk yang dihasilkan dari proses *fluid catalytic cracking*. Operasi berlangsung kurang lebih selama 2 jam.



Gambar 1. Diagram alir protonasi



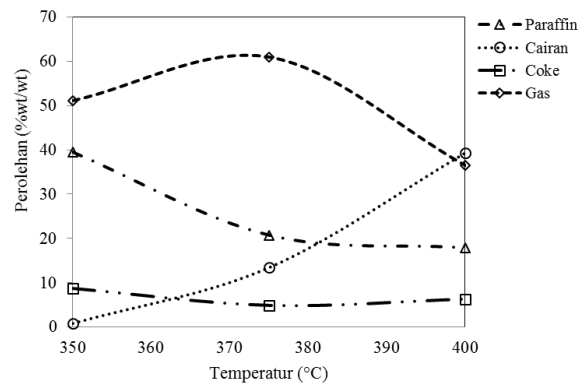
Gambar 2. Skema alat proses FCC

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. Reaktor | 6. Impenjer |
| 2. Panel kontrol | 7. Tabung N ₂ |
| 3. Termocouple | 8. Regulator & Flowmeter |
| 4. Electrical furnace | 9. Bubble soap |
| 5. Injector | |

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Temperatur

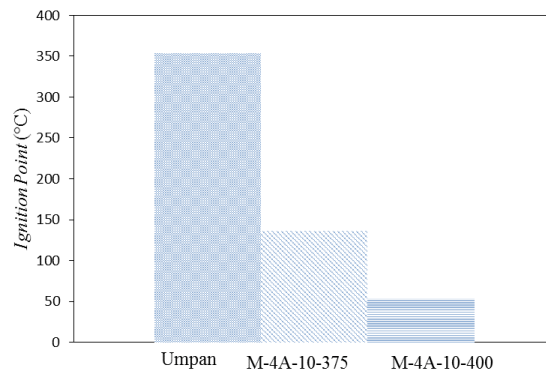
Temperatur reaksi memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap perolehan produk seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 di bawah.



Gambar 3. Pengaruh temperatur terhadap perolehan produk FCC pada laju alir N₂ konstan (100 mL/menit)

Semakin tinggi temperatur maka produk cairan yang dihasilkan akan semakin meningkat sedangkan produk gas, paraffin dan coke yang dihasilkan semakin menurun. Hal ini disebabkan reaksi cracking semakin meningkat karena reaksi yang terjadi bersifat endotermis dimana reaksi ini melibatkan proses pemutusan ikatan, untuk dapat memutuskan suatu ikatan diperlukan energi panas yang besar walaupun pada reaksi perengkahan juga terdapat sedikit reaksi yang bersifat eksotermis yaitu reaksi adisi pada ikatan rangkap baik molekul intermediet maupun oleh hidrogen dari katalis. Secara termodinamika, kesetimbangan kimia akan lebih cepat tercapai apabila temperatur yang digunakan tinggi dan laju reaksi akan meningkat dengan naiknya temperatur secara kinetika (Fitria & Setiadi, 2006).

Pada temperatur tinggi, difusi reaktan ke dalam katalis juga akan lebih baik karena temperatur tinggi akan meningkatkan laju kinetika molekul. Jika difusi lebih baik maka reaktan yang dapat masuk ke pori katalis lebih banyak sehingga reaktan yang terengkahkan juga lebih banyak dan produknya lebih variatif dan juga energi aktivasi untuk menembus intrakristal mikropori, tempat di mana inti aktif katalis berada relatif cukup tinggi. Tahanan pada makropori molekul katalis juga menurun dengan meningkatnya temperatur sehingga reaktan lebih mudah masuk ke pori (Fitria & Setiadi, 2006).



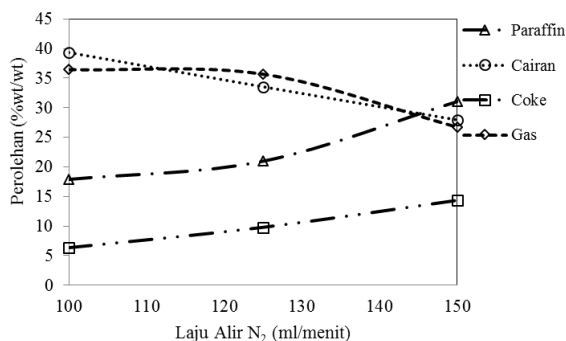
Gambar 4. Hasil uji *ignition point* produk pada variasi temperatur

Temperatur operasi memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap ignition point produk cairan yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2 di atas. *Ignition point* produk cairan pada temperatur operasi 375°C adalah sebesar 136°C dan mengalami penurunan pada temperatur operasi 400°C menjadi 53,67°C. Penurunan *ignition point* menunjukkan bahwa temperatur operasi menyebabkan produk cairan yang dihasilkan kemungkinan memiliki rantai yang lebih pendek dibandingkan produk cairan hasil operasi pada temperatur 375°C. Dengan demikian operasi pada temperatur lebih tinggi akan menghasilkan produk yang memiliki rantai yang lebih pendek.

B. Pengaruh Laju Alir N₂

Untuk mengetahui pengaruh laju alir gas nitrogen, temperatur operasi yang digunakan adalah temperatur yang menghasilkan perolehan produk yang paling tinggi yaitu temperatur 400°C. Dengan adanya kenaikan laju alir gas nitrogen maka produk gas dan cairan yang dihasilkan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena dengan adanya peningkatan laju alir nitrogen, maka waktu tinggal reaktan di dalam reaktor akan semakin singkat, sehingga proses perengkahan berjalan kurang sempurna dan semakin memperkecil probabilitas terjadinya secondary cracking (perengkahan lanjutan), oleh karena itu produk gas dan cairan yang dihasilkan juga semakin menurun. Namun, pada laju alir tinggi *coke* akan lebih cepat terbentuk. *Coke* yang menutupi inti aktif katalis akan mengakibatkan penurunan kereaktifan katalis, sehingga fungsi katalis tidak optimum.

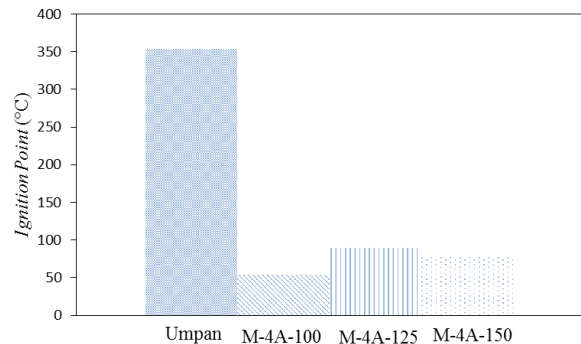
Laju alir yang terlalu cepat akan mengakibatkan interaksi antara umpan dengan katalis relatif sedikit dan singkat, sehingga umpan belum sampai terengah sudah terbawa oleh gas, dan mengalir menuju tempat produk. Laju alir gas nitrogen terlalu pelan maka kemungkinan terjadinya interaksi antara umpan dengan katalis besar, tetapi karena lajunya terlalu lambat maka produk belum sampai tempat produk, reaksi sudah dihentikan, sehingga hasil reaksinya juga tidak akan baik.



Gambar 5. Pengaruh laju alir N₂ terhadap perolehan produk pada temperatur konstan (400 °C)

Pada variasi laju alir gas N₂ seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 di bawah dapat diketahui bahwa kenaikan laju alir N₂ menyebabkan kenaikan *ignition point* produk cairan, meskipun mengalami nilai yang fluktuatif. Peningkatan nilai *ignition point* produk cairan mengindikasikan bahwa produk cairan memiliki rantai

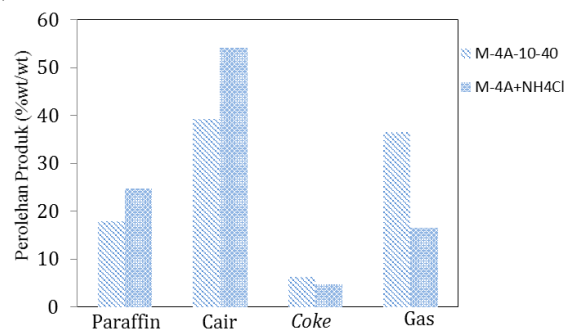
yang lebih panjang hal ini terjadi karena waktu kontak antara reaktan dengan katalis tidak cukup, sehingga sebelum reaksi selesai reaktan terdorong keluar oleh aliran gas N₂.



Gambar 6. Hasil uji *ignition point* produk pada variasi laju alir N₂

C. Pengaruh Protonasi NH₄Cl

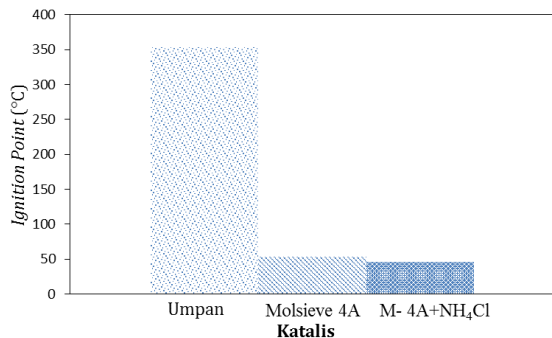
Protonasi molsieve 4A oleh larutan NH₄Cl kemungkinan besar memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap reaktivitas katalis. Sebelumnya pada laju alir N₂ 100 ml/menit, temperatur operasi 400°C menghasilkan perolehan produk cairan sebesar 39,31 %wt/wt dengan temperatur flash point sebesar 53,67°C, sementara dengan katalis molsieve yang telah diprotonasi dengan larutan NH₄Cl menghasilkan perolehan produk cairan sebesar 54,1 %wt/wt dengan temperatur flash point sebesar 45,67°C. Artinya ada peningkatan perolehan yang cukup signifikan sebesar 14,79%. *Coke* yang dihasilkan sebesar 4,72 %wt/wt sementara sebelumnya sebesar 6,29 %wt/wt. Begitupun untuk pembentukan gas mengalami penurunan, dihasilkan gas sebesar 16,53 %wt/wt sementara sebelumnya sebesar 36,48 %wt/wt.



Gambar 7. Perolehan produk pada kondisi optimum

Pada gambar 4.6 di bawah ini menunjukkan bahwa protonasi molsieve 4A dengan larutan NH₄Cl menghasilkan produk yang memiliki *ignition point* lebih rendah dibandingkan dengan *ignition point* produk yang dihasilkan dari molsieve 4A tanpa protonasi. Hal ini disebabkan karena protonasi dengan larutan NH₄Cl meningkatkan keasaman dari katalis molsieve 4A dan dengan tingkat keasaman katalis yang tinggi menghasilkan katalis yang memiliki aktivitas yang baik sehingga pada proses *fluid catalytic cracking*

menghasilkan produk yang memiliki rantai hidrokarbon yang lebih pendek.

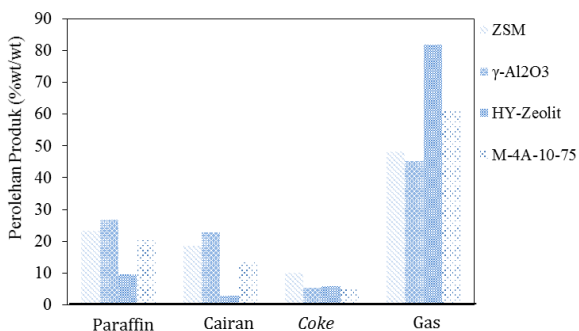


Gambar 8. Hasil uji *ignition point* produk pada kondisi optimum

D. Operasi Fluid Catalytic Cracking pada Berbagai Katalis

Proses *fluid catalytic cracking* juga dilakukan dengan menggunakan beberapa katalis lain sebagai upaya dalam mencari katalis alternatif. Katalis yang digunakan adalah ZSM, γ -Al₂O₃, HY-Zeolit yang disintesis sendiri berdasarkan beberapa sumber literatur seperti yang dijelaskan pada bab 3 subbab 3.2. Katalis tersebut digunakan pada kondisi operasi yang sama yaitu pada temperatur 375°C dan laju alir N₂ sebesar 100 ml/menit.

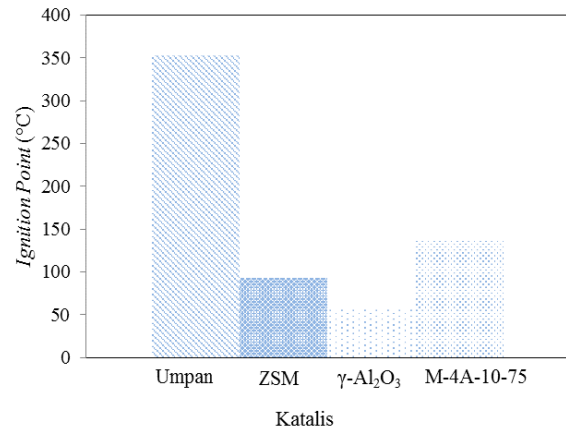
Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7 di bawah, dapat diketahui bahwa setiap katalis menghasilkan perolehan yang berbeda-beda. Baik perolehan untuk produk paraffin, cairan, *coke*, maupun gas. Setiap katalis memiliki sifat yang berbeda-beda. Dapat dilihat bahwa katalis yang paling banyak menghasilkan produk cairan adalah γ -Al₂O₃ dengan perolehan cairan sebesar 22,80 % wt/wt.



Gambar 9. Perolehan produk dengan berbagai katalis

Berdasarkan hasil uji *ignition point* setiap produk cairan yang dihasilkan dapat diketahui bahwa *ignition point* produk cairan sangat jauh berbeda nilainya dengan *ignition point* umpan, dapat dilihat pada gambar 4.8 di bawah hasil cracking katalis γ -Al₂O₃ memiliki *ignition point* sebesar 57,67°C lebih rendah dibandingkan hasil cracking katalis ZSM sebesar 93°C dan molsieve 4A sebesar 136°C sementara *ignition point* umpan sendiri sebesar 353,33°C. Dengan demikian dapat diketahui bahwa selama operasi terjadi reaksi pemotongan rantai hidrokarbon menjadi produk yang memiliki rantai

hidrokarbon yang lebih pendek dibandingkan rantai umpan.



Gambar 10. Hasil uji *ignition point* produk dengan berbagai katalis

Ignition point semua produk memiliki nilai yang jauh lebih besar dibandingkan *ignition point* gasoline komersial (-43°C), namun jika dibandingkan dengan *ignition point* umpan nilainya jauh lebih kecil. *Ignition point* produk menunjukkan penurunan nilai yang cukup signifikan yang artinya terjadi perubahan struktur/pemotongan rantai selama proses *fluid catalytic cracking* berlangsung.

Hasil proses dengan katalis γ -Al₂O₃ menghasilkan temperatur *auto-ignition* sebesar 285°C sementara temperatur *auto-ignition* gasoline komersial sebesar 280°C. Namun nilai *ignition point*nya masih jauh lebih besar dibandingkan *ignition point* gasoline komersial. Temperatur *auto-ignition* produk pada kondisi optimum adalah 232°C.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Katalis molsieve 4A memberikan perolehan produk yang baik pada proses *fluid catalytic cracking*. Produk yang dihasilkan berupa paraffin, cairan, *coke* dan gas. Semakin tinggi temperatur operasi perolehan produk semakin banyak pula karena kenaikan temperatur mempercepat terjadinya reaksi. Protonasi molsieve 4A oleh larutan NH₄Cl meningkatkan perolehan produk yang dihasilkan.

B. Saran

- 1) Perlu dilakukan karakterisasi katalis sebelum dilakukan uji aktivitas katalis agar bisa membandingkan aktivitasnya.
- 2) Pemilihan kondisi operasi yang optimum sangat penting dalam menjalankan operasi *fluid catalytic cracking*.
- 3) Pengujian produk hasil *fluid catalytic cracking* terutama produk cairan perlu dilakukan lebih komprehensif.
- 4) Mengingat bahwa kebutuhan bahan bakar terutama bensin terus mengalami peningkatan sementara

sumber cadangan minyak bumi yang terbatas dan semakin menipis, maka penelitian tentang konversi minyak nabati akan semakin penting dan memiliki prospek yang cukup bagus di masa depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Hendriyana, ST., MT yang telah membimbing kami pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Albahri, T. A. (2003). Flammability characteristics of pure hydrocarbons. Kuwait: Chemical Engineering Dept. Kuwait University.
- Buchori, W. L. (2007). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Proses Catalytic Cracking. Teknik-Universitas Diponegoro.
- Dahyaningsih, E., & Ibrahim, R. (2013). Pembuatan Biofuel dari Minyak Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L) Melalui Proses hydrocracking dengan Katalis Ni-Mo/Zeolit. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Fitria, & Setiadi. (2006). Proses Katalitik Sintesis Hidrokarbon Fraksi Bensin dari Minyak Sawit Menggunakan Katalis B2O3/Zeolit. Depok: Universitas Indonesia.
- Gharamaleki, J. A., Farzaneh, F., & M, G. (2004). The Role of Ethanol, Methyltriphenylphosphonium Bromide and Cetyltrimetilammonium Bromide as Directing Agents in Hydrothermal Synthesis of Aluminosilicate Molecular Sieve (ZSM-5) and Its Morphologies. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 39-46.
- Hudec, P. (2011). FCC catalyst- key element in refinery technology. 45th International Petroleum Conference. Bratislava.
- Hui, Y. (1996). *Bailey's Industrial Oil and Fat Product. Fifth Edition Volume 3. Edible Oil and Fat Product: Products and Application Technology*. New York: John Wiley & Son, Inc.
- Keshavarz, M. H. (2012). Estimation of the flash points of saturated and unsaturated hydrocarbons. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 269-278.
- Kurniawan, A. F., & Lestari, T. N. (2015). Persiapan Alumina Sebagai Penyangga Katalis TiO₂ pada Reaksi Dehidrasi Etanol. Cimahi: Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik-Universitas Jenderal Achmad Yani.
- Leng, T. Y., Mohammed, A. R., & Bhatia, S. (1999). Catalytic Conversion of Palm Oil to Fuels and Chemical. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 156-162.
- Moestika, A. (2004). Perengkahan Biogasoline dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Reaksi Perengkahan dengan Menggunakan Katalis Alumina. Depok: Program Studi Teknik Kimia-Universitas Indonesia.
- Nurhayati. (2008). Reaksi Katalis Oksidasi. Universitas Indonesia, 1-22.
- Richardson, J. (1989). *Principles of Catalyst Development*. New York: Plenum Press.
- Samadhi, T. W., Subagjo, & Nurfahmiawati, T. (2007). Sintesis Gamma Alumina Sebagai Penyangga Katalis. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, 571-580.
- Sang, S., & dkk. (2004). Difference of ZSM-5 Zeolites Synthesizes with Various Templates. *Catalysis Today*, 93-95.
- Sari, Y. A. (2013). Penentuan Kadar Nikel dalam Mineral Laterit Melalui Pemekatan dengan Metode Kopesipitasi Menggunakan Cu-Pirolidin Dithiokarbamat. Semarang: Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam-Universitas Negeri Semarang.
- Setiadi, & Benny, A. W. (2006). Kinerja Katalis Zeolit Sintetik ZSM-5 -Al₂O₃ dalam Reaksi Perengkahan Minyak Sawit Menjadi Hidrokarbon Fraksi Gasoline. *Jurnal Zeolit Indonesia*.
- Setiadi, & Fitria. (2006). Proses Katalitik Sintesis Hidrokarbon Fraksi Bensin dari Minyak Sawit Menggunakan Katalis B2O3/Zeolit. Depok: Universitas Indonesia.
- Sirajudin, N., Jusoff, K., Yani, S., Ifa, L., & Roesyadi, A. (2013). Biofuel Production from Catalytic Cracking of Palm Oil. *World Applied Sciences Journal* 26, 67-71.
- Siregar, T. B. (2005). Catalytic Cracking of Palm Oil to Gasoline Using Zeolite Catalysts. Tarikh: Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering Universiti Teknologi Malaysia.
- Sunarno, Bahri, S., & Utama, P. S. (2011). Catalytic Slurry Cracking Cangkang Sawit Menjadi Crude Bio-Fuel dengan Katalis Ni/ZSM-5 dan NiMo/ZSM-5. Universitas Riau.
- Sunarno, Bahri, S., & Utami, P. S. (2011). Catalytic Slurry Cracking Cangkang Sawit Menjadi Crude Bio-Fuel dengan Katalis Ni/ZSM dan NiMo/ZSM-5. Riau: Universitas Riau.
- Tan, Y.L., Mohamed, A. R. and Bhatia, S. (1999). Catalytic Conversion of Palm Oil to Fuels and Chemicals. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 77: 156-162.
- Togar, Y. M. (2012). Preparasi Katalis Praseodimium Oksida/Zeolit Klipnotilolit Aktif Untuk Meningkatkan Bilangan Oktana Pada Gasolin. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 1-114.
- Topsoe, H., Clausen, B., & Massoth, F. (1996). *Hydrotreating Catalysis: Science and Technology*. Berlin: Springer.
- Trisunaryanti, W., Mudasir, & Saroh, S. (2002). Study of Matrix Effect on the Analysis of Ni and Pd by AAS in the Destruats of Hydrocracking Catalysts Using Aqua Regia and H₂SO₄. *Indonesian Journal of Chemistry*, 177-185.
- Wargadalam, V. J., & dkk. (2015). *Peta Jalan Litbang Bahan Bakar Nabati: Menuju Mandiri Energi*. Jakarta: PT Penerbit IPB Press.
- Wijanarko, A., Mawardi, D. A., & Nasikin, M. (2006). Produksi Biogasoline dari Minyak Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik dengan Katalis γ -Alumina. *Makara Teknologi*, 51-60.
- Win, P. P. (2004). Preparation of Synthetic Zeolites from Myanmar Clay Mineral. Myanmar: Technical Report. Ceramic Research Department. Myanmar Scientific and Technological Research Department.