

Pemanfaatan Zeolit Alam sebagai Komponen Penyangga Katalis untuk Reaksi Hidrogenasi CO₂ & Perengkahan Minyak Sawit

Setiadi, Yanes Darmawan, R. Melisa Fitria

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus UI, Depok-16424; E-mail : setiadi@che.ui.edu

ABSTRAK

Penelitian ini diawali dengan pembuatan katalis CuO/ZnO/ZSM-5 dengan metode kopresipitasi menggunakan garam-garam nitrat Cu dan Zn pada penyangga zeolit ZSM-5 pada *loading* (berat CuO dan ZnO di dalam penyangganya) 10%, 20%, 30% , 40% dan ZSM-5 murni. Katalis yang dihasilkan kemudian diuji keaktifannya dalam reaksi hidrogenasi gas CO₂ menjadi metanol dengan cara mereaksikan CO₂ dan H₂ dalam reaktor unggun tetap pada kondisi operasi: tekanan 25 bar, temperatur 250°C, rasio umpan CO₂/H₂ = 1 : 3. Pembuatan katalis CuO/ZnO/Zeolit Alam masing-masing dengan metode impregnasi dan *physical mixing* pada *loading* terbaik hasil uji aktifitas dari semua katalis CuO/ZnO/ZSM-5 hasil preparasi metode kopresipitasi. Hasil pengujian katalis menunjukkan bahwa metanol (CH₃OH) dapat dibuat dari umpan utama gas CO₂ dan H₂ dengan katalis CuO/ZnO/ZSM-5 dan katalis CuO/ZnO/Zeolit Alam hasil preparasi kopresipitasi, impregnasi dan *physical mixing*. Pengujian terhadap katalis CuO/ZnO/ZSM-5 hasil preparasi kopresipitasi menunjukkan bahwa katalis dengan *loading* 30% dengan yield metanol (0.1359%). Metode kopresipitasi adalah yang terbaik di antara ketiganya. Didapatkan pula penyangga zeolit alam Malang juga mampu memberikan yield produk metanol walaupun tidak setinggi yang didapat dengan penyangga ZSM-5. Sedangkan untuk reaksi perengkahan katalitik minyak sawit menggunakan berpenyangga Zeolit Alam untuk memproduksi senyawa hidrokarbon fraksi bensin dipelajari dalam suatu reaktor fixed bed pada bertekanan atmosferik dan suhu 350-500°C. Zeolit Alam dengan penambahan kadar B₂O₃ 0-20% digunakan sebagai katalis dengan variabel temperatur, jenis umpan dan penambahan B₂O₃. Karakteristik untuk melihat luas permukaan dengan metode BET dan keberadaan/kristalinitas B₂O₃ dengan metode XRD. Penambahan B₂O₃ optimum adalah 5% memberikan yield 52,3% untuk umpan POME dan 38% minyak sawit dan metanol.

Kata Kunci : Fraksi bensin, metanol, zeolit alam, reaksi hidrogenasi, reaksi perengkahan.

ABSTRACT

APPLICATION OF NATURAL ZEOLITE AS A COMPONENT OF CATALIST BUFFER FOR HYDROGENATION REACTION OF CO₂ AND CRACKING OF PALM OIL. *This research was started with making a catalyst of CuO/ZnO/ZSM-5 with coprecipitation method which using nitrate salts of Cu and Zn at buffer of zeolite ZSM-5 with loading (weight CuO and ZnO into their buffer) 10%, 20%, 30%, 40% and the pure of ZSM-5. The product of catalyst is then activated tested by hydrogenation reaction, where CO₂ gas become the methanol by reacting of CO₂ dan H₂ into unggun reaction in operation condition: the pressure of 25 bar, with temperature at 250°C, feeding ratio CO₂/H₂ = 1 : 3. The making catalyst of CuO/ZnO/ natural zeolite each with impregnation method and physical mixing at the best loading in the result of activities test from all of catalyst CuO/ZnO/ZSM-5 by the results of preparation of coprecipitation methods. The result of catalyst test indicate that the methanol (CH₃OH) can be made of the main feeding of CO₂ and H₂ gas with catalyst of CuO/ZnO/ZSM-5 and catalyst of CuO/ZnO/ natural zeolite from the result of coprecipitate preparation, impregnation and physical mixing. The test of CuO/ZnO/ZSM-5 catalyst resulting of preparation coprecipitation indicate that catalyst with loading 30% yielding methanol (0.1359%). The method of coprecipitation is the best among the other methods. We also obtained the buffer of natural zeolite from Malang can also give yield of methanol product although it's not as high as with buffer of ZSM-5. The cracking reaction of oil palm using a natural zeolite to*

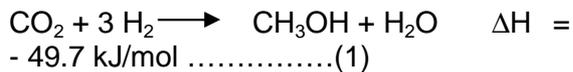
produce gasoline fraction of hydrocarbon compound in fixed bed reactor in atmospheric pressure and the temperature at 350-500°C. The natural zeolite with addition of B₂O₃ 0-20% is used as catalyst with variabel temperature, type of feeding and B₂O₃ addition. The characteristic for seeing the surface area with BET method and crystalization of B₂O₃ with XRD method. Addition of B₂O₃ optimum of 5% gave the yield 52.3% for feeding POME and 38% oil palm and methanol.

Keyword: Natural zeolite, hydrogenation reaction, cracking reaction, methanol, gasoline fraction

PENDAHULUAN

Reaksi Hidrogenasi CO₂

Salah satu alternatif pemanfaatan CO₂ saat ini adalah proses reaksi katalitik hidrogenasi CO₂ menjadi metanol yang reaksinya sebagai berikut:



Metanol merupakan salah satu produk petrokimia yang dalam jumlah besar digunakan sebagai bahan baku bermacam-macam industri petrokimia lainnya seperti formaldehida, klorometana, asam asetat. Perkembangan baru di bidang energi yakni konversi metanol menjadi *gasoline* menambah kebutuhan metanol dalam jumlah yang relatif besar.

Berdasar persamaan reaksi (1) diatas, reaksi hidrogenasi bersifat eksotermis sedang dan reversible. Ditinjau aspek termodinamisnya, maka kesetimbangan konversi reaksi ke arah pembentukan metanol akan berlangsung baik pada suhu rendah baik. Namun dari aspek kinetisnya, suhu rendah reaksi ke arah metanol menjadikan laju akan rendah pula dan sebaliknya laju pembentukan metanol akan bertambah besar pada suhu tinggi pada suhu reaksi yang tinggi pula. Untuk mengatasi kendala-kendala tersebut diperlukan suatu pengembangan katalis yang efektif dapat bekerja pada suhu cukup rendah, namun dapat memacu berlangsungnya reaksi kinetiknya.

Penelitian tentang fase komposisi katalis untuk sintesa metanol telah dilakukan secara intensif. Kristal CuO yang berbentuk tetragonal kelarutannya hanya dibatasi oleh kristal ZnO yang kristalnya berbentuk heksagonal. Mehta et.al telah melakukan penelitian secara detail tentang hubungan antara komposisi katalis dengan aktivitasnya. Untuk Cu/ZnO dengan rasio antara 2/98 sampai 30/70, memperlihatkan adanya ion Cu⁺ larut ke dalam ZnO. Disimpulkan bahwa sistem katalis Cu/ZnO mempunyai 2 fase Cu, yakni Cu yang terlarut kedalam ZnO dan Cu yang terdispersi, berfungsi sebagai elektron yang lemah. Hasil penelitian oleh Klier dan Parris juga menemukan adanya kelarutan Cu dalam ZnO pada sistem katalis CuO/ZnO. Disimpulkan bahwa kombinasi CuO dan ZnO merupakan katalis yang baik untuk reaksi sintesa metanol.

Perengkahan Minyak Sawit

Pemilihan minyak kelapa sawit sebagai sumber energi alternatif sangat tepat dilakukan di Indonesia karena Indonesia merupakan negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar kedua di dunia. Pembuatan bahan bakar yang dihasilkan dari minyak sawit telah diteliti lebih ramah lingkungan karena bebas dari nitrogen dan sulfur. Konversi minyak kelapa sawit menjadi senyawa hidrokarbon setaraf bensin telah berhasil dilakukan melalui proses perengkahan katalitik dengan menggunakan katalis zeolit sintetis yaitu H-ZSM-5. Dengan menggunakan katalis H-ZSM5 yield senyawa hidrokarbon setaraf bensin yang dihasilkan sekitar 49.3% tetapi selektivitasnya pada produk yang

sama masih rendah. Selain itu, katalis H-ZSM-5 ini harganya mahal dan pembuatannya sulit. Oleh karena itu, pada penelitian ini untuk melakukan konversi minyak sawit menjadi bensin akan digunakan katalis zeolit alam jenis *mordenite* yang harganya relatif lebih murah dan mudah diperoleh. Selain itu, penggunaan zeolit *mordenite* juga didasarkan karena rasio Si/Al yang tinggi yaitu sebesar 8 sampai 25. Rasio Si/Al yang tinggi dapat meningkatkan stabilitas termal, kekuatan asam dan konversi hidrokarbon yang sangat berpengaruh pada proses katalis.

Aktivitas katalis zeolit dalam reaksi perengkahan katalitik dalam konversi minyak kelapa sawit menjadi senyawa hidrokarbon setaraf bensin dipengaruhi oleh keasamannya. Katikeni telah melaporkan bahwa impregnasi kalium ke katalis HZSM-5 mempengaruhi reaksi aromatisasi dan oligomerisasi [Katikaneni dkk., 1995] [1]. Selain itu, Prasad (1986) [2] juga melaporkan bahwa reaksi primer perengkahan terjadi pada sisi asam lemah dan reaksi sekunder seperti aromatisasi dan isomerisasi terjadi pada sisi atom kuat. Reaksi sekunder ini cukup penting untuk menghasilkan senyawa hidrokarbon setaraf bensin dengan bilangan oktan yang tinggi.

Keasaman katalis zeolit dapat ditingkatkan dengan mengganti atom Si dengan atom yang memiliki valensi lebih kecil, misalnya boron. Maka untuk meningkatkan keasaman katalis dalam reaksi perengkahan pada penelitian ini katalis zeolit diimpregnasi dengan B_2O_3 . Selain itu, dengan ditambahkan B_2O_3 pada katalis zeolit diharapkan terbentuk suatu ikatan peroksida dalam katalis yang akan membantu dalam pemutusan ikatan antara atom karbon (Setiadi, 2005, [3]; Sudirman 2000 [4]).

Minyak sawit memiliki dua gugus reaktif yaitu gugus karbonil dan ikatan rangkap. Ketika minyak sawit dipanaskan maka molekulnya akan mengalami polimerisasi

dan polikondensasi. Oleh karena itu, pada penelitian ini minyak kelapa sawit terlebih dahulu diberikan perlakuan awal dengan oksidasi, transesterifikasi dan penambahan sumber metil.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempersiapkan material katalis dengan penyangga Zeolit Alam dengan Cu dan Zn sebagai fase aktif katalis dengan berbagai komposisi serta melakukan karakterisasi katalis tersebut dengan menggunakan AAS, XRD, Autosorb-BET serta FTIR. Sedang tujuan penelitian reaksi perengkahan adalah mengujicobakan desain katalis B_2O_3 /Zeolit alam sehingga didapat hidrokarbon setaraf fraksi *gasoline*. Sedang penggunaan zeolit sintetik ZSM-5 komersial dimaksudkan sebagai pembanding kinerja katalis dengan zeolit alam. Apabila desain katalis dengan menggunakan zeolit alam ternyata bisa sama dan melebihi kinerja ZSM-5, maka akan sangat menguntungkan.

METODOLOGI PENELITIAN

Preparasi Katalis Cu-Zn/Zeolit Alam

Katalis logam Cu berperan sebagai inti aktif katalis reaksi hidrogenasi CO_2 menjadi metanol, sedangkan Zn berfungsi untuk mendispersikan serta menstabilkan partikel kristal Cu yang terdispersi/tersebar pada permukaan penyangga. Katalis (selanjutnya diberikan notasi CuO/ZnO/Zeolit Alam) yang dipreparasi mempunyai komposisi dengan rasio $Cu/Zn = 1$ (*atomic ratio*) serta kandungan oksida (*loading*) CuO+ZnO adalah 10, 20, 30, 40% berat. Preparasi katalis yang digunakan adalah dengan metode pengendapan (*Coprecipitation*). Bahan kimia katalis yang dipergunakan dari garam nitrat dari Cu, Zn dan Al, masing-masing dengan konsentrasi 1,0 Molar. Sebagai *precipitating agent* digunakan larutan NaOH 1,5 M.

Preparasi Katalis B₂O₃ /Zeolit Alam untuk Reaksi Perengkahan

Katalis zeolit yang digunakan diperoleh dari PT. Pertamina Indonesia. Sementara itu, B₂O₃ digabungkan dengan zeolit dengan metode impregnasi basah menggunakan larutan asam borat sebagai sumber B₂O₃. Katalis diimpregnasi dengan kandungan B₂O₃ sebanyak 0-20% berat. Metode impregnasi dilakukan pada temperatur 80°C dalam air bebas mineral sebanyak 50 ml. Katalis yang diperoleh dikeringkan pada 100°C lalu dikalsinasi pada 300°C dan 600°C, masing-masing selama 2 jam. Untuk selanjutnya katalis dengan kandungan 0% disebut B0/H-NZ, 5% disebut B5/H-NZ, 10% disebut B10/H-NZ, 15% disebut B15/H-NZ dan 20% disebut B20/H-NZ.

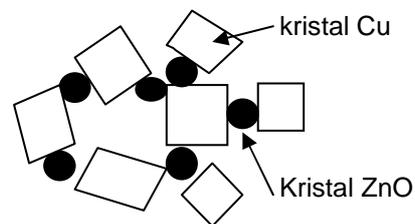
HASIL DAN PEMBAHASAN

Katalis berbasis Cu-Zn untuk Reaksi Hidrogenasi CO₂

Preparasi katalis Cu-Zn dimaksudkan untuk mencapai dispersi katalis Cu yang tinggi dan *intimate mixing* antar fase logam Cu dengan Zn. Stabilitas kristal Cu dapat dipertahankan dengan adanya komponen Zn. Hal ini sesuai dengan tujuan metode preparasi dengan *coprecipitation* yakni bertujuan menghasilkan suatu *intimate mixing* dari komponen-komponen katalis dan penyangga dengan pembentukan kristal berukuran mikro serta kristal-kristal campuran yang menyusun katalis (Perego dan Villa, 1997), sehingga memberikan *high surface area* kristal Cu yang nantinya mudah terjangkaunya oleh molekul reaktan.

Problem utama kristal katalis Cu yang terdispersi pada permukaan penyangga, adalah mudahnya mengalami *sintering* dan hal ini akan mempengaruhi stabilitas katalis selama digunakan dalam reaksi. Mobilitas kristal Cu akan semakin besar dan akan saling bertumbukan dan

berkontak akibat pergerakannya (*surface migration*). Berdasar Huttig Temperatur sebesar 0,3 T_m (T_m adalah melting temperatur dalam Kelvin), atom-atom permukaan akan bersifat *mobile* karena mempunyai energi untuk melakukan pergerakan yakni *surface migration*, kristal-kristal akan mengalami penggabungan membentuk ukuran partikel yang lebih besar. Karena logam Cu yang berperan sebagai inti aktif katalis memiliki *melting point* sebesar 1083 °C, maka akan bersifat *mobile* pada Huttig temperatur pada 325°C. Oleh karena itu dalam desain katalis ini, Zn yang fase oksidanya (ZnO) mempunyai melting temperatur > 1800 °C berperan sebagai stabilizer yakni dapat menstabilkan kristal-kristal katalis Cu. dan sebagai dispersan, sehingga mencegah terjadinya sintering kristal-kristal mikro logam Cu yang terdispersi di permukaan penyangga. Oksida Zn akan mencegah terjadinya pergerakan dan tumbukan antar partikel Cu. (James T. Richardson, 1982)



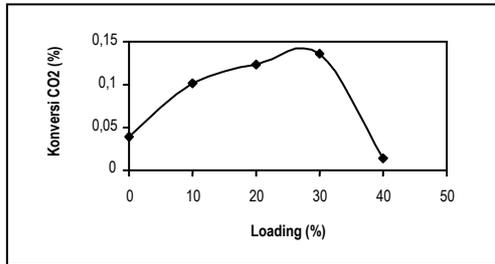
Gambar 1. Pencegahan migrasi Kristal-kristal Cu oleh ZnO

Berdasar uraian diatas dapat disimpulkan bahwa agar sesuai desain katalis yang berbasis Cu-Zn untuk reaksi hidrogenasi CO₂ ini, metode preparasi katalis yang sesuai adalah dengan metode preparasi (*co-precipitation*). Sebagai ilustrasi pencegahan terjadinya *surface migration* kristal-kristal Cu oleh ZnO dapat dilihat pada gambar 1.

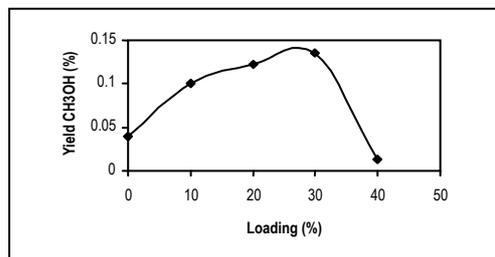
Hasil Uji reaksi katalitik CO₂ hidrogenasi

Gambar 2 menggambarkan hubungan antara konversi dengan persentase *loading* CuO dan ZnO. Perhitungan

konversi berdasar pada *material balance* elemen karbon. Terlihat konversi maksimumnya berada pada katalis dengan *loading* 30%.



Gambar 2 Konversi vs Loading CuO-ZnO



Gambar 3 Yield metanol vs Loading CuO-ZnO

Hal ini memperlihatkan bahwa katalis dengan *loading* 30%, atom-atom Cu-nya lebih banyak berkontak dengan reaktan, dalam hal ini adalah Cu permukaannya. Aktivitas katalis pada daerah (interval) *loading* 0–30% memperlihatkan peningkatan, yang dapat dipastikan bahwa luas kontak /jumlah atom Cu permukaan semakin besar. Katalis ZSM-5 murni (*loading* 0%) juga memperlihatkan aktivitasnya dengan konversi 0.0396%.

Tabel 1 Perbandingan kinerja katalis CuO/ZnO/ZSM-5 dengan katalis CuO/ZnO/ZC-1 hasil preparasi Impregnasi

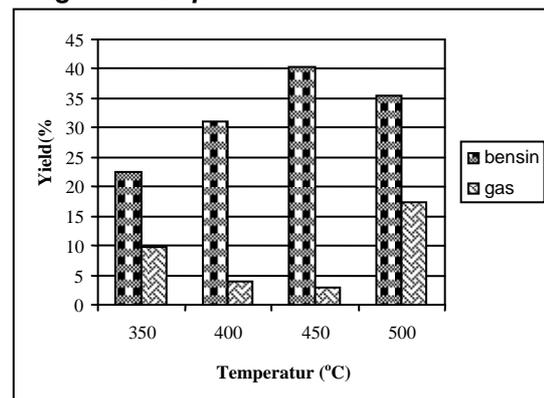
Katalis	Berat produk cair (gr)
Cu/ZnO/ZSM-5	0.0017
Cu/ZnO/Zeolit alam	0.0008

Yield yang akan diperlukan adalah produk metanol, yakni jumlah metanol yang dihasilkan dari gas CO₂ sebagai sumber atom karbon (Gambar 3). Seperti terlihat

pada Gambar 2 bahwa pola kurva *yield* menunjukkan kemiripan pola kurva konversi terhadap % *loading*. Hal ini karena selektivitas CH₃OH 100%. *Yield* maksimum didapat sebesar 0.1359% pada katalis dengan *loading* CuO+ZnO sebesar 30%. Seperti penjelasan di atas, beratnya produk cair dapat mewakili kinerja katalis yang tidak dapat dianalisa di GC, maka akan diperbandingkan kinerja katalis CuO/ZnO/ZSM-5 dengan katalis CuO/ZnO/ZC-1 yang dipreparasi dengan metode impregnasi pada *loading* 30%. Terlihat pada Tabel 1, katalis dengan kinerja terbaik di antara keduanya adalah katalis CuO/ZnO/ZSM-5

Perengkahan Minyak Sawit dengan Boron Oksida/Zeolit Alam

Pengaruh Temperatur



Gambar 4. Pengaruh temperatur terhadap *yield* hidrokarbon setaraf bensin dengan katalis Zeolit Alam *loading* boron oksida 10%

Temperatur ternyata memiliki pengaruh yang cukup penting, pada temperatur yang terlalu rendah yaitu 350°C fraksi bensin yang dihasilkan akan kecil di bawah 25% dan fraksi bensin yang dihasilkan juga meningkat seiring dengan naiknya temperatur. Kenaikan temperatur reaksi dari 350°C menjadi 500°C menyebabkan *yield* bensin dalam produk meningkat sampai pada 20%. Fraksi bensin dalam produk cair yang tertinggi diperoleh pada temperatur 500°C yaitu 42%.

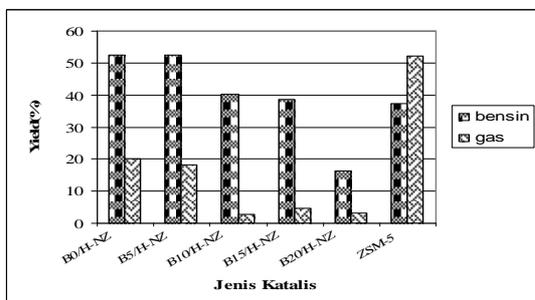
Kenaikan *yield* bensin dalam produk cair dapat diartikan sebagai meningkatnya

reaksi perengkahan yang terjadi. Suatu reaksi perengkahan adalah reaksi 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 produk intermediet maupun oleh hidrogen dari katalis. Secara termodinamika, kesetimbangan kimia akan lebih cepat tercapai apabila temperatur yang digunakan tinggi dan juga laju reaksi secara kinetika akan meningkat dengan naiknya temperatur.

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 zeolit lebih banyak sehingga reaktan yang terengkahkan juga lebih banyak dan produknya lebih variatif dan juga temperatur tinggi, energi aktivasi untuk menembus intrakristal mikropori, tempat di mana inti aktif katalis berada, relatif cukup tinggi. Tahanan pada makropori molekul zeolit juga menurun dengan meningkatnya temperatur sehingga reaktan lebih mudah masuk ke pori.

Pengaruh Penambahan B₂O₃

Pada umpan POME pengaruh penambahan B₂O₃ dapat dilihat pada Gambar 5.

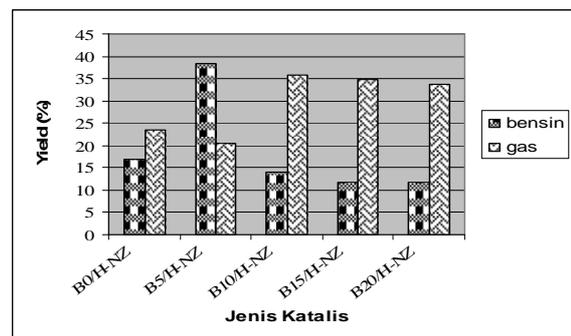


Gambar 5. Pengaruh penambahann B₂O₃ terhadap yield bensin pada umpan POME

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa *yield* bensin yang dihasilkan akan menurun seiring dengan meningkatnya penambahan boron oksida pada katalis zeolit. *Yield* bensin yang terbaik diperoleh pada katalis zeolit yang belum diimpregnasikan boron oksida yaitu sebesar 52,5%. Penambahan boron oksida sebesar 5% tidak terlalu mempengaruhi hasil reaksi ini karena *yield* bensin yang dihasilkan tidak jauh berbeda yaitu 52,3%.

Berkurangnya *yield* bensin yang cukup tajam mencapai 36% (besar pengurangannya) untuk penambahan 20% boron oksida pada katalis zeolit menunjukkan bahwa ion boron oksida telah menutupi dan menyumbat pori-pori zeolit sehingga reaktan tidak dapat berdifusi ke dalamnya dan tidak dapat mengalami reaksi permukaan. Hal ini disebabkan karena tidak sempurnanya dispersi boron dalam katalis zeolit.

Berkurangnya *yield* bensin pada penambahan B₂O₃ juga disebabkan karena pada keasaman yang tinggi reaksi cenderung membentuk produk aromatik, pada tingkat keasaman yang berlebihan produk aromatik akan mengalami polimerisasi menjadi molekul hidrokarbon yang lebih besar sehingga akhirnya membentuk *coke* yang dapat mendeaktivasi katalis.



Gambar 6 Pengaruh penambahann B₂O₃ terhadap yield bensin pada umpan minyak metanol

Pada umpan minyak dan metanol *yield* bensin tertinggi ternyata diperoleh oleh

katalis B5-HZ yaitu sebesar 36% bensin. *Yield* bensin ini meningkat sekitar dua kali lebih besar daripada *yield* yang diperoleh oleh katalis zeolit alam murni, hanya 16%. Naiknya *yield* bensin dari B0-HZ ke B5-HZ menunjukkan bahwa untuk reaksi perengkahan pada umpan ini spesi peroksida berfungsi untuk membantu reaksi perengkahan. Spesi peroksida yang terbentuk pada permukaan katalis ini akan membentuk inti aktif sendiri serta membantu inti aktif asam pada katalis zeolit. Spesi peroksida dapat membantu untuk memutuskan ikatan C-C pada rantai minyak kelapa sawit.

Peningkatan *yield* bensin dan konversi pada katalis B5-HZ dibandingkan dengan zeolit murni juga menunjukkan bahwa keasaman katalis meningkat dengan adanya B_2O_3 , akibatnya reaksi perengkahan yang terjadi lebih baik. Reaksi perengkahan merupakan reaksi yang dikatalisis dengan katalis asam dan berjalan dengan lebih baik jika keasaman meningkat sampai kadar keasaman tertentu. Akan tetapi, ketika penambahan boron oksida menjadi 10% pada katalis B10-HZ, besarnya *yield* bensin kembali menurun menjadi 14%. Hal ini disebabkan karena penambahan boron oksida sampai 10%, menyebabkan keasaman katalis menjadi terlalu tinggi sehingga mengakibatkan laju pembentukan *coke* yang lebih cepat dan pori-pori katalis tertutup oleh *coke* dan reaktan jadi tidak mengalami reaksi perengkahan karena tidak dapat masuk ke dalam permukaan pori. *Coke* pada umumnya terdiri dari struktur cincin poliaromatik terkondensasi yang memiliki sifat mirip dengan grafik.

Pengaruh Umpan

Untuk umpan minyak dan metanol katalis yang baik adalah B5/H-NZ dengan *yield* 38%, sedangkan untuk umpan metil ester katalis yang baik adalah zeolit *mordenite* murni dengan *yield* bensin yang dihasilkan adalah 52%. *Yield* yang dihasilkan oleh minyak sawit yang ditambahkan metanol

lebih rendah daripada *yield* bensin dengan umpan POME, karena jumlah karbon yang dimiliki oleh POME lebih rendah sekitar 30% daripada yang dimiliki oleh minyak kelapa sawit.

Perengkahan katalitik POME lebih mudah karena kemampuan akses molekulnya ke dalam pori katalis lebih tinggi. Akan tetapi, proses pembuatan POME lebih rumit daripada hanya mencampur minyak dan metanol secara fisik saja, pembuatan POME memerlukan tahap pemisahan gliserol terlebih dahulu. Sehingga lebih efektif jika umpan yang digunakan adalah minyak dan metanol, memperpendek jalur, dalam reaksi katalitik ini dengan katalis B5/H-NZ. Sementara itu, untuk umpan hasil oksidasi produk yang dihasilkan berwarna hitam pekat, kental dan berbau tengik. Hal ini disebabkan mungkin terjadinya dimerisasi karena laju dimerisasi lebih cepat daripada laju perengkahannya.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang ditarik dari tulisan ini,

1. Katalis berbasis Cu dan Zn dengan penyangga zeolit alam telah dapat dilakukan preparasi dengan metode *co-precipitation*. Metode terpilih karena mempunyai keunggulan yakni dapat menciptakan *intimate mixing* antar komponen katalis serta terbentuk kristal-kristal yang mikro, sehingga memberikan Cu *surface area* yang tinggi.
2. Katalis dengan *loading* 30% menunjukkan *yield* & konversi **maksimum** dan mempunyai laju pembentukan metanol tertinggi (0.08117 mmol/gkat./jam).
3. Konversi katalitik minyak sawit menggunakan katalis B_2O_3 /zeolit alam telah berhasil dilakukan dengan menghasilkan produk senyawa hidrokarbon setaraf fraksi bensin.
4. Pada hasil uji aktivitas katalis diperoleh temperatur optimum untuk reaksi

perengkahan katalitik minyak kelapa sawit adalah 450 °C.

5. *Yield* bensin yang dihasilkan mencapai optimum pada umpan POME dan temperatur 450 °C yaitu sebesar 52.5 % dengan katalis B0/H-NZ.
6. Jenis umpan yang menghasilkan *yield* bensin yang tinggi adalah POME (*Palm Oil Methyl Ester*). Perbedaan *yield* bensin yang tidak terlalu tinggi antara umpan POME dan minyak metanol, jalur preparasi umpan dapat diperpendek tanpa melalui reaksi transesterifikasi yang memerlukan pemisahan gliserol dengan cara langsung menambahkan metanol ke dalam reaktor.

DAFTAR PUSTAKA

1. Katikaneni, S. P. R., Adjaya, J. D., Bakhshi N. N. (1995), "Performance of Aluminophosphate Molecular Sieve Catalysts for Production of Hydrocarbons from Wood-Derived and Vegetable Oils", *Energy Fuels* 9, 1065-1078.
2. Prasad, Yuriagada, S, Hu Y. L., Bakhshi N. N. (1986),"Effect of Hydrothermal Treatment of HZSM-5 Catalyst on Its Performance for Conversion of Canola and Mustard Oils to Hydrocarbons", *Ind. and Eng. Che. Production Research* 25:251-257.
3. Setiadi, (2005),"Oxidative dehydrogenasi Etana menjadi Etilen Menggunakan B₂O₃ : Pengaruh Kandungan Boron Oksida", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia*, Jakarta
4. Sudirman (2000), "*Pengaruh Rasio B/(B+A) terhadap Aktivitas Katalis Alumina-Alumina Borat pada Reaksi Dehidrasi Etanol*", Skripsi. Departemen TGP, FTUI, Depok