

PEMBUATAN KATALIS H-ZEOLIT DENGAN IMPREGNASI KI/KIO₃ DAN UJI KINERJA KATALIS UNTUK PRODUKSI BIODIESEL

Lukman Hakim Firdaus, Adit Rizky Wicaksono, Dr. Widayat, ST, MT

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

Abstrak

Katalis H-Zeolit disintesa dari zeolit alam meliputi tahapan proses perlakuan kimia, penyaringan, pencucian, impregnasi KI/KIO₃ dan perlakuan fisik. Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik katalis yang telah diimpregnasi KI/ KIO₃ dengan analisa luas permukaan, X-Ray Diffraction (XRD) dan uji kinerja katalis untuk produksi biodiesel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas permukaan katalis sebesar 27,236 m²/g pada konsentrasi KI sebesar 5%. Pada analisa XRD didapatkan nilai peak 2-θ zeolit pada 23,627° yang mengindikasikan bahwa KI telah terimpregnasi pada katalis H-zeolit. Katalis diujikan untuk produksi biodiesel menggunakan minyak kelapa sawit dengan metode konvensional selama 3 jam suhu 70-80°C. Hasil konversi Fatty Acid Methyl Ester (FAME) maksimum sebesar 87,91% pada variabel dengan konsentrasi katalis impregnasi KIO₃ 5%.

Kata kunci : H-zeolit, impregnasi KI/KIO₃, luas permukaan, XRD, biodiesel, yield Fatty Acid Methyl Ester

Abstract

H-Zeolite catalysts synthesized from natural zeolite include chemical treatment process stages, screening, washing, impregnation KI/KIO₃ and physical treatment. The objective of this research is to study characteristics of catalyst that was impregnated KI / KIO₃ with surface area analysis, X-Ray Diffraction (XRD) and performance test of catalyst for production of biodiesel. The results showed that the surface area of the catalyst by 27.236 m²/ g at a concentration of 5% KI. XRD analysis of the value obtained at 2-θ peak at 23.627° zeolite indicating that KI was impregnated on H-zeolite catalyst. The catalyst was tested for production of biodiesel using palm oil with conventional methods for 3-hour temperature of 70-80°C. The Result for conversion Fatty Acid Methyl Ester (FAME) had maximum value on 87.91% at a concentration of catalyst impregnation variable KIO₃ 5%.

Keywords : H-zeolite, KI/KIO₃ impregnation, surface area, XRD, biodiesel, Fatty Acid Methyl Ester yield

1. Pendahuluan

Konsumsi minyak bumi yang terus menerus menyebabkan penipisan cadangan minyak bumi di Indonesia. Tak heran, sejak 2004 Indonesia sudah menjadi negara pengimpor minyak netto (*net oil importer*) karena kemampuan produksi dalam negeri tidak dapat mengimbangi pertumbuhan konsumsi (Djauhari, 2012). Beberapa keuntungan biodiesel adalah menurunkan efek rumah kaca, *biodegradable*, tidak toksik, serta secara spesifik menurunkan kadar CO 65%, CO₂ 78%, SO₂ 90% dan karbon tidak terbakar 50% jika dibandingkan bahan bakar fosil.

Proses Produksi biodiesel selama ini menggunakan katalis homogen berupa NaOH atau KOH. Proses pembuatan biodiesel cara ini memiliki beberapa kelemahan, diantaranya terbentuknya produk samping berupa sabun, rumitnya pemisahan produk biodiesel yang dihasilkan dengan katalis. Untuk mengatasi kelemahan tersebut di atas, mulai dikembangkan penggunaan katalis heterogen (padat) untuk menggantikan katalis homogen (basa). Katalis heterogen sangat mudah dipisahkan dari sistem di akhir proses atau reaksi dan dapat digunakan kembali. Di samping itu dengan penggunaan katalis heterogen ini maka tidak akan ada pembentukan sabun melalui netralisasi asam lemak bebas atau saponifikasi trigliserida (Leung *et al.*, 2009).

Zeolit adalah mineral aluminosilikat mikroporous dengan rasio Si/Al sebesar 1,23 yang umum digunakan sebagai adsorben untuk pemurniaan air dan limbah, namun dalam perkembangannya pada akhir – akhir ini dikembangkan sebagai katalis heterogen untuk sintesa biodiesel. Zeolit bervariasi pada struktur permukaan pori dan medan listriknya, hal tersebut yang menyebabkan zeolit memiliki perbedaan sifat katalisnya (Yizhou et al., 2004).

Zeolit telah dilakukan uji coba sebagai katalis untuk konversi minyak kaya akan *Free Fatty Acid* (FFA) untuk dikonversi menjadi *Fatty Acid Metil Ester* (FAME). Menurut Marchetti pada tahun 2008, zeolit alam dapat digunakan sebagai alternatif potensial untuk esterifikasi katalitis dengan meminimalkan keberadaan air yang memiliki pengaruh kandungan air pada yield hasil konversi.

Perlakuan kimia dimaksudkan untuk mengontrol aktivitas keasaman maupun selektivitas zeolit. Perbandingan antara silika dan alumina yang tinggi menyebabkan aktivitas adsorpsi meningkat. Jumlah situs asam Bronsted dari zeolit akan bertambah dengan bertambahnya kandungan alumunium didalamnya. Perlakuan kimia aktivasi katalis pada zeolit dapat dilakukan salah satunya dengan cara mereaksikannya dengan larutan asam, misalnya HNO₃, HCl, atau H₂SO₄. Perlakuan asam pada dasarnya untuk meningkatkan rasio Si/Al.

Aktivitas dan selektivitas katalis dipengaruhi oleh karakteristik katalis dimana karakteristik tersebut tergantung pada metode preparasi dan karakterisasi bahan penyangga. Salah satu metode yang sering digunakan dalam preparasi katalis adalah metode impregnasi, karena ditinjau dari proses pembuatannya lebih praktis dibanding metode preparasi yang lain (sol-gel dan ko-presipitasi) (Krishnan dan Richard, 1993).

Kalsinasi merupakan proses pemanasan suatu benda hingga temperaturnya tinggi, tetapi masih di bawah titik lebur untuk menghilangkan kandungan yang dapat menguap. Proses aktivasi zeolit melalui kalsinasi menyebabkan pelepasan air sehingga luas permukaan pori-pori zeolit bertambah yang meningkatkan kemampuan untuk adsorpsi. Kalsinasi zeolit dimaksudkan untuk meningkatkan sifat-sifat zeolit dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori kristal zeolit.

Luas permukaan merupakan sifat yang penting dalam aplikasi katalis. Istilah tekstur merujuk pada struktur pori partikel secara umum meliputi luas permukaan, distribusi ukuran pori dan bentuk pori. Dalam hal ini, luas permukaan merupakan parameter penting yang erat kaitannya dengan katalis heterogen. Luas permukaan total merupakan kriteria krusial untuk katalis padat karena menentukan jumlah situs aktif didalam katalis kaitannya dengan aktivitas katalis. Pengukuran luas permukaan menggunakan teknik adsorpsi fisik dengan prinsip gaya van der Waals. Isoterm keseimbangan dapat digambarkan dimana volume yang teradsorpsi diplotkan terhadap p/po (p:tekanan, po: tekanan jenuh pada temperature pengukuran). Metode teoritis untuk menyatakan keseimbangan dalam adsorpsi adalah model *Brunauer Emmett Teller* yang lebih dikenal dengan persamaan BET :

$$\frac{V}{V_m} = \frac{cp}{[p_0 - p] \left[1 + \frac{(c-1)p}{p_0} \right]} \quad (1)$$

Dalam hubungan ini, V_m adalah volume lapis tunggal dan c adalah panas adsorpsi dan pencairan yang konstan untuk beberapa bahan dengan nilai kurang dari 100. Persamaan (1) hanya valid pada p/po ≤ 0,3. Diatas harga tersebut, kondensasi cairan terjadi di mikropori hingga mesopori pada kondisi dimana p/po mendekati satu. Persamaan (2) sedemikian rupa diubah agar dapat dibuat plot antara p/po vs p/[V(p/po)] yang pada akhirnya V_m dan luas permukaan dapat ditentukan. Metode *Brunauer Emmett Teller* berasal dari persamaan dengan melanjutkan persamaan isothermal Langmuir untuk diterapkan pada adsorpsi multilayer (Smith, 1970).

$$\frac{p}{V(p_0 - p)} = \frac{1}{V_m c} + \frac{(c-1)}{V_m c} \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (2)$$

Indikator penentuan dengan menentukan berapa banyak molekul yang diperlukan untuk membentuk sebuah mono layer. Seperti molekul N₂ menempati 0,162 nm² pada 77,2 K berdasarkan adsorpsi *isotherm* nitrogen dengan interval equilibrium 30 detik yang dihitung dengan menggunakan BET (*Brunauer Emmett Teller*) model yang dianjurkan pada sampel katalis dilakukan *degassed* pada suhu 200^oC selama 5 jam sebelum dianalisa. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan molekul – molekul yang teradsorpsi dari pori – pori permukaan katalis (Chorkendorff dan Niemantsverdriet, 2003).

Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) dimaksudkan untuk mengidentifikasi fase bulk suatu katalis untuk menentukan sifat kristal atau kristalinitas dari suatu katalis. Kebanyakan dari katalis yang memiliki bentuk padatan kristal seperti oksida logam, zeolite dan logam yang berpenyangga. XRD merupakan teknik untuk mengevaluasi sifat fase kristal dan ukuran kristal (Leofanti *et al.*, 1997).

Pada analisa XRD, kristal katalis akan memantulkan sinar X yang dikirim pada sumber dan diterima oleh detector. Berdasarkan sudut kedatangan sinar X, spectrum pantulan yang spesifik akan berhubungan langsung dengan *lattice spacing* dari kristal yang dianalisa. Pola difraksi diplotkan berdasarkan intensitas peak yang menyatakan peta parameter kisi kristal (indeks Miller) sebagai fungsi 2θ dimana θ menyatakan sudut

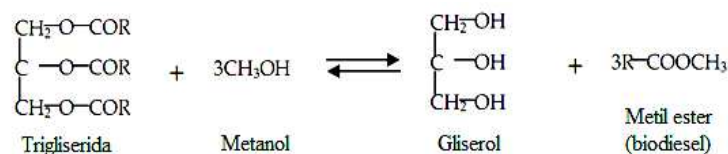
difraksi berdasarkan persamaan Bragg pada persamaan (2.3). Interpretasi hukum Bragg dilakukan berdasarkan asumsi bahwa permukaan sinar X dipantulkan secara mendatar.

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (3)$$

dimana d menyatakan jarak antarlapisan atom atau ion yang berdekatan, λ yang menyatakan panjang gelombang radiasi sinar X dan n adalah urutan pantulan (Richardson, 1989).

Minyak kelapa sawit tersusun atas lemak dan minyak alam yang terdiri atas trigliserida, digliserida dan monogliserida, asam lemak bebas, *moisture*, pengotor dan komponen-komponen minor bukan minyak/lemak yang secara umum disebut dengan senyawa yang tidak dapat tersabunkan (Ketaren, 1986).

Biodiesel adalah bahan bakar substitusi terbarukan yang *biodegradable*, ramah lingkungan, hemat energi, serta dapat memenuhi kebutuhan keamanan energi tanpa mengorbankan mesin operasional kinerja (van Gerpen, 2005). Produksi Biodiesel dilakukan dengan mekanisme reaksi kimia dari minyak nabati dengan metanol yang menghasilkan *Fatty Acid Metil Ester* (FAME) dan gliserol sebagai produk samping (Intarapong *et al.*, 2011). Cara yang paling sering digunakan untuk memproduksi biodiesel adalah dengan transesterifikasi trigliserida dari bahan yang mengandung minyak dan direaksikan menggunakan alkohol dengan penambahan adanya katalis. Berikut adalah mekanisme Reaksi Transesterifikasi.



(Sivasamy *et al.*, 2009)

Metode *mechanical stirrer* atau metode konvensional telah banyak digunakan sebagai metode yang digunakan untuk transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi metil ester (biodiesel). Metode ini kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh MPOB (Malaysian Palm Oil Board) yang merupakan suatu badan riset pemanfaatan kelapa sawit yang juga memiliki teknologi proses produksi biodiesel. Proses ini memproduksi metil ester melalui tahap esterifikasi dan transesterifikasi dengan menggunakan natrium hidroksida (NaOH) sebagai katalis dan metanol sebagai reaktannya sehingga dapat dikatakan sebagai reaksi metanolisis. Pada tahap esterifikasi, minyak mentah direaksikan dengan metanol berlebih, dengan perbandingan molar 6:1 dengan jumlah minyak, dan katalis asam yang berupa padatan. Reaksi dilakukan dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan kontrol suhu dan adanya siklus kondensasi menggunakan pendingin balik. Kondisi operasi pada proses ini dengan suhu 70 hingga 80°C dan tekanan atmosferik. Proses ini dilengkapi dengan adanya *magnetic stirrer* yang digunakan untuk menghomogenkan larutan. Produk tahap ini yang berupa metil ester dan gliserol yang selanjutnya akan dipisahkan menggunakan prinsip perbedaan densitas dengan menggunakan dekanter (Destianna dkk., 2007).

Katalis yang pernah diteliti sebelumnya adalah katalis CaO/KI/ γ -Al₂O₃ dan didapatkan yield biodiesel dari reaksi transesterifikasi pada suhu 75°C sebesar 86,94% (Hartanto, 2009). Dengan capaian yield yang belum maksimal, perlu pengembangan teknologi katalis. Di Indonesia berpotensi untuk pengembangan katalis, di mana zeolit alam deposit cukup besar. Zeolit alam sendiri mempunyai kandungan Si dan Al. komponen Si dan Al ini dapat berperan sebagai katalis. Kerja katalis ini belum maksimal, sehingga dalam penelitian ini akan ditingkatkan dengan impregnasi KI / KIO₃.

Penelitian ini mempunyai keterbaruan dalam pembuatan katalis zeolit dengan impregnasi KI dan KIO₃. Adanya impregnasi KI dan KIO₃ diharapkan dapat mengisi situs aktif pada katalis H-zeolit sehingga memberikan konversi maksimum pada produksi biodiesel.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik katalis H-zeolit impregnasi KI/KIO₃ dengan analisa luas permukaan, X-Ray Diffraction (XRD) dan kinerja katalis pada produksi biodiesel.

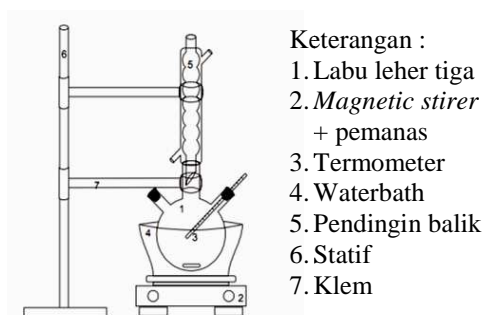
2. Metode Penelitian

Bahan :

Bahan baku utama dalam penelitian ini adalah zeolit alam yang diperoleh dari Gunung Kidul. Bahan lain yang digunakan adalah KI dan KIO₃ p.a. MERCK, minyak goreng 2 kali penyaringan, aquades, dan methanol untuk analisis.

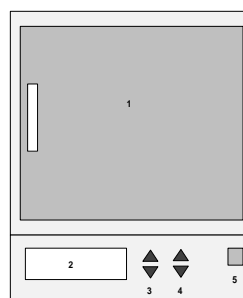
Peralatan :

Peralatan untuk pembuatan katalis terdiri dari tiga yaitu alat untuk proses dealuminasi, impregnasi dan kalsinasi. Alat untuk proses dealuminasi (perlakuan kimia) dan impregnasi terdiri dari labu leher tiga, *magnetic stirrer*, thermometer, pendingin balik, statif, klem, dan penangas. Alat uji kalsinasi terdiri dari furnace dan cawan porselin. Peralatan untuk produksi biodiesel terdiri dari labu leher tiga, *magnetic stirrer*, thermometer, pendingin balik, statif, klem, dan penangas. Rangkaian alat untuk proses dealuminasi, impregnasi dan pembuatan biodiesel tersaji pada gambar 1 sedangkan alat untuk perlakuan kalsinasi tersaji pada gambar 2.



Gambar 1. Rangkaian alat perlakuan kimia, impregnasi dan produksi biodiesel

- Keterangan :
1. Labu leher tiga
 2. *Magnetic stirrer* + pemanas
 3. Termometer
 4. Waterbath
 5. Pendingin balik
 6. Statif
 7. Klem



Gambar 2. Alat proses kalsinasi (*furnace*)

- Keterangan :
1. Ruang pemanasan
 2. Layar digital
 3. Tombol pengendali suhu
 4. Tombol pengendali waktu
 5. Panel *on/off*

Prosedur pembuatan katalis H-zeolit impregnasi KI dan KIO₃

Proses pembuatan katalis yang digunakan adalah perlakuan kimia (HCl), pencucian, pengeringan, proses impregnasi KI/ KIO₃ dan proses kalsinasi. Proses perlakuan kimia dengan menggunakan larutan asam klorida 4N dengan perbandingan antara zeolit alam : HCl = 1:20 dipanasi pada magnetic stirrer pada suhu 90°C selama 10 jam. Selanjutnya disaring dengan saringan penghisap dan dicuci dengan aquades sampai bersih. Endapan hasil penyaringan dikeringkan jntuk selanjutnya dilakukan impregnasi KI dan KIO₃. Langkah awal proses impregnasi dilakukan dengan melarutkan KI/ KIO₃ dalam aquades 50 ml pada konsentrasi 1-5%. Selanjutnya, H-zeolit 50 gram dicampurkan dalam larutan KI/ KIO₃ pada labu leher tiga untuk diaduk dan dipanaskan selama 2 jam suhu 90°C. campuran disaring dengan saringan penghisap untuk selanjutnya endapan hasil penyaringan dikeringkan. Langkah selanjutnya adalah kalsinasi, katalis H-zeolit hasil impregnasi dimasukkan ke dalam *furnace* selama 4 jam pada suhu 600°C. selanjutnya katalis diuji BET untuk mengetahui luas permukaan katalis dan uji XRD.

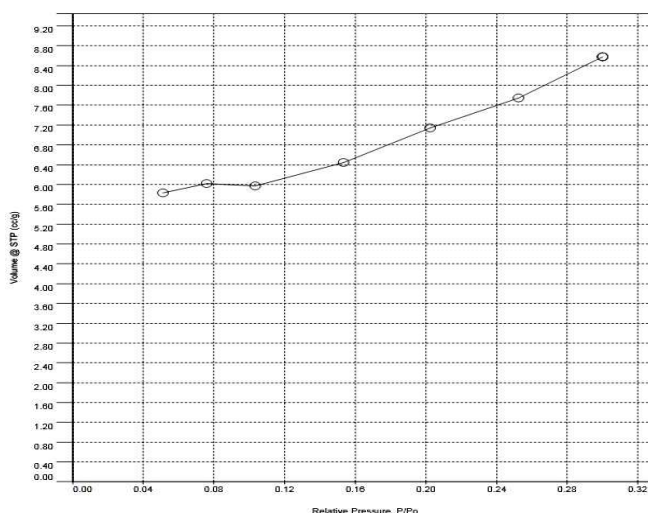
Prosedur uji katalis pada produksi biodiesel minyak kelapa sawit

Proses produksi biodiesel yang digunakan adalah reaksi transesterifikasi dengan metode konvensional. Langkah awal untuk produksi biodiesel adalah minyak goreng, methanol, dan katalis dicampur dalam labu leher tiga. Perbandingan mol minyak dengan methanol adalah 1 : 6, campuran diaduk dan dipanaskan pada temperatur 70-80°C selama 3 jam. Selanjutnya hasil reaksi transesterifikasi dipisahkan menggunakan dekanter untuk memisahkan antara biodiesel dengan gliserol yang terbentuk. Kemudian hasil produksi biodiesel dihitung konversinya dalam mol.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa Brunauer Emmett Teller

Pada karakterisasi katalis dilakukan dengan menggunakan instrument *Brunauer Emmett Teller* (BET). Analisa ini dimaksudkan untuk mengetahui luas permukaan aktif pada katalis yang diimpregnasi dengan menggunakan KI. Sampel yang dianalisa BET pada sampel 5 dengan konsentrasi KI 5% wt sesuai dengan gambar 3 tentang hubungan *relative pressure* dengan volume pada kondisi standar (STP). Volume pada kondisi tersebut menentukan jumlah molekul gas yang teradsorpsi oleh katalis padat, dalam hal ini gas yang digunakan adalah nitrogen 28,013 g.



Gambar 3. Analisa KI dengan Brunauer Emmett Teller

Data yang diperoleh dengan analisa BET didapat luas permukaan aktif katalis H-Zeolit pada konsentrasi KI 5% sebesar 27,236 m²/g. Jumlah luas permukaan masih relatif sedikit karena konsentrasi impregnasi KI hanya sebesar 5%. Data tersebut kemudian dibandingkan pada beberapa penelitian yang dilakukan dengan menggunakan jenis katalis lain diperoleh data seperti pada tabel 1. Pada penelitian terdahulu, katalis zeolit alam mempunyai luas permukaan sebesar 172,92 m²/g (Widayat, dkk, 2010). Penelitian kami dengan menggunakan jenis katalis yang sama yaitu berasal dari Gunung Kidul diperoleh luas permukaan sebesar 27,236 m²/g. Pengaruh jumlah KI dan kekuatan pada situs aktif berpengaruh pada aktivitas dan luas permukaan aktif dalam katalis tersebut (Xie dan Li, 2006).

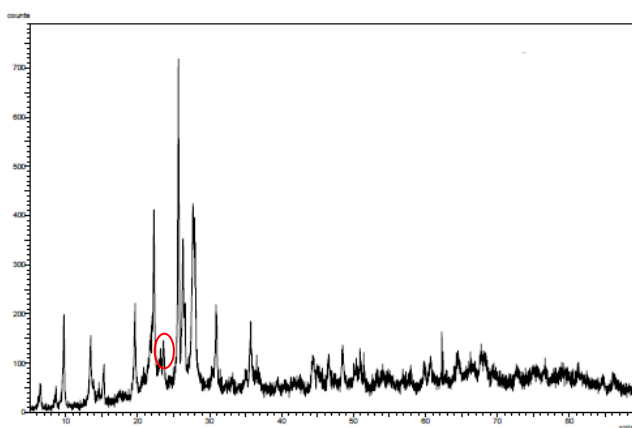
Zeolit alam umumnya mempunyai luas permukaan sekitar 20 m²/gram. Dengan adanya proses dealuminasi dan kalsinasi mengalami perubahan luas permukaan dan volume pori. Proses dealuminasi menyebabkan peningkatan perbandingan Si/Al dan pelarutan impuritas CaO. Kenaikan perbandingan SiO₂/Al₂O₃ menyebabkan terjadinya perubahan kerangka dari zeolit akibat adanya reaksi hidrolisis dan proses kalsinasi. Perubahan kerangka zeolit akan menyebabkan perubahan pori-pori dari zeolit yang berakibat pada perubahan luas permukaan dan volume pori. Perlakuan asam akan meningkatkan luas permukaan (Widayat, dkk., 2010).

Tabel 1. Perbandingan Luas Permukaan pada Jenis Katalis

Katalis	Luas Permukaan (m ² /g)	Referensi
Zeolit Alam	172,9295	Widayat, dkk. 2010
Sodium Silicate (Na ₂ O.nSiO ₂)	5,91	Gou, dkk. 2009
Kalsium Aluminate	21,29	Tang, dkk. 2011
Ca/Al/Fe ₂ O ₃	25,89	Tang, dkk. 2011

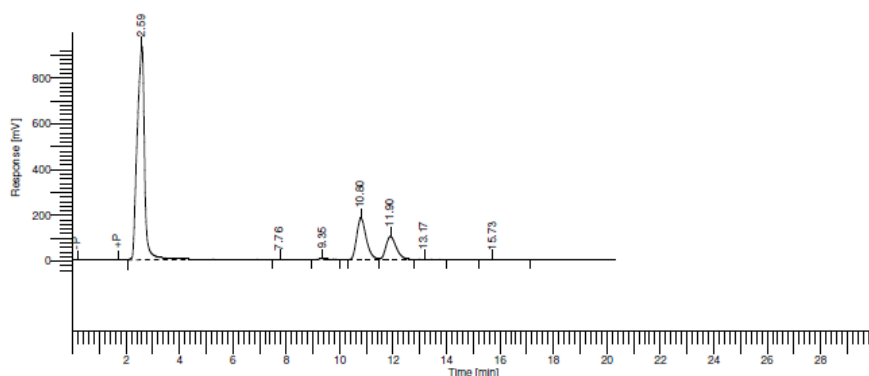
Analisa XRD (X-Ray Diffraction) pada Katalis H-Zeolit

Analisa XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak – puncak yang spesifik. Pada analisa ini dianalisisakan untuk sampel 5 dengan konsentrasi impregnasi 5% wt sesuai pada gambar 4. Adanya pengaruh impregnasi KI pada proses katalis padat untuk transesterifikasi biodiesel terdeteksi pada 2-θ dengan nilai peak 22-24 (Jairam, et. al, 2011).

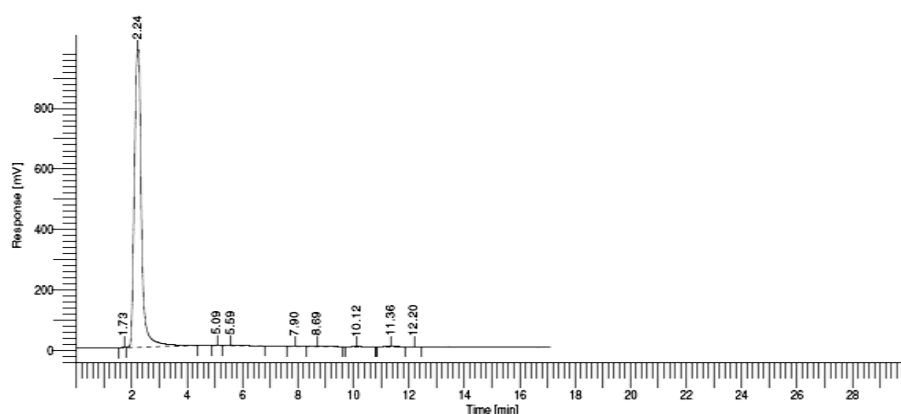


Gambar 4. Analisa XRD pada Katalis H-Zeolit Impregnasi KI 5%

Penelitian yang dilakukan oleh Xie dan Li (2006) meneliti tentang katalis heterogen dengan impregnasi KI sebagai katalisator biodiesel dari *soybean oil*. Penelitian tersebut menunjukkan nilai 2-θ terletak pada peak antara 22-24°. Hal ini sesuai dengan penelitian yang kami lakukan, di mana nilai 2-θ terletak pada peak 23,627° dengan *relative intensity* sebesar 15,75%. Nilai tersebut didominasi dengan peak tertinggi yaitu peak 2-θ pada 25,67° yang merupakan senyawa SiO₂ sebagai komponen utama pada zeolit alam dari Gunung Kidul. Data peak 23,627° mengindikasikan bahwa KI telah terimpregnasi pada pori H-Zeolit.



Gambar 5. Analisa GC Biodiesel Standar



Gambar 6. Analisa GC Biodiesel (Katalis H-Zeolit Impregnasi KIO_3 3%)

Dari hasil analisa GC biodiesel standar dapat dilihat bahwa kandungan FAME biodiesel standar mempunyai waktu retensi pada 7,76 hingga 15,73. Sedangkan kandungan FAME dari penelitian kami mempunyai waktu retensi 7,90 hingga 12,20 seperti pada tabel 4.2. Sesuai data di atas yang diperoleh dari laboratorium, penelitian yang kami lakukan pada metode konvensional selama 2 jam dan suhu 50°C diperoleh persentase terbentuknya FAME kurang dari 10%.

Hal tersebut menjadi masukan kami untuk melakukan penelitian selanjutnya menggunakan metode sama pada suhu $70\text{--}80^\circ\text{C}$ dan volume minyak lebih banyak dari sebelumnya dengan tujuan untuk memperoleh konversi FAME lebih tinggi. Setelah dilakukan penelitian pada suhu $70\text{--}80^\circ\text{C}$ dengan volume minyak 300 ml serta perbandingan minyak dan methanol 1:6 didapat FAME lebih tinggi. Hasil konversi FAME maksimum sebesar 87,91% pada variabel ke 10 dengan konsentrasi katalis impregnasi KIO_3 5%. Hasil yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan standar nilai uji pada SNI 04-7182-2006 untuk analisa biodiesel.

4. Kesimpulan

Katalis H-Zeolit dengan impregnasi KI diperoleh luas permukaan sebesar $27,236\text{ m}^2/\text{g}$. Hasil analisa XRD terhadap katalis zeolit dengan impregnasi KI mengindikasikan bahwa KI telah terimpregnasi pada pori H-Zeolit. Biodiesel yang diperoleh sudah sesuai dengan SNI. Hal ini ditunjukkan dengan sifat fisik dan sifat kimia biodiesel. Hasil analisa dengan menggunakan *Gas Chromatography* (GC) menunjukkan telah terbentuknya FAME namun persentasenya masih dibawah 10%. Setelah dilakukan perubahan suhu dan volume minyak pada metode pembuatan biodiesel yang sama, didapatkan konversi maksimum sebesar 87,91%.

Daftar Pustaka

- Chorkendorff, I.; Niemantsverdriet, J. W., 2003. *Concepts of Modern Catalysis and Kinetics*. Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- Destiana, M., Agustinus Zandy; Nazef; Soraya Puspani. 2007. *Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel*. Handout Lomba Karya Tulis Ilmiah Bidang Energi Penghargaan PT. Rekayasa Industri.

- Djauhari, A.T, 2012. *Minyak Bumi yang Melenakan - Jurnal Nasional*. Jakarta. <http://www.jurnas.com/halaman/6/2012-03-29/203915>. Diakses tanggal : 15 Mei 2012
- Hartanto, Ferdy., Ramadhan, Rachmad., 2009. *Studi Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Padat Cao/Ki/ γ -Al₂O₃*. Teknik Kimia FTI-ITS. Surabaya
- Intarapong, P. K. Noiroj, A. Luengnaruemitchai, S. Jai-In. 2009. *A comparative study of KOH/Al₂O₃ and KOH/NaY catalysts for biodiesel production via transesterification from palm oil*, *Renew. Energy*, vol. 34, pp. 1145–1150.
- Jairam, S., Kolar, P., Sharma-Shivappa, R., Osborne, J. A., Davis, J. P., 2012. *KI-impregnated oyster shell as a solid catalyst for soybean oil transesterification*. *Bioresource Technology* 104 (2012) 329–335
- Ketaren, S. 1986. *Minyak dan Lemak Pangan*. UI Press : Jakarta.
- Krishnan B., Richard D. Gonzalez. 1993. *Journal of Catalysis*, 144, 395.
- Leofanti, G., Tozzola, G., Padovan, M., Petrini, G., Bordiga, S. and Zecchina, A. 1997a. *Catalyst characterization: characterization techniques*. *Catal. Today*. 34:307-327.
- Leung, Dennis Y.C., Xuan Wu, M.K.H. Leung, 2009. *A Review on Biodiesel Production Using Catalyzed Transesterification*. *Applied Energy* 87 (2010) 1083–1095
- Marchetti JM, Errazu AF. 2008. *Comparison of different heterogeneous catalysts and different alcohols for the esterification reaction of oleic acid*. *Fuel* 2008;87:3477–80
- Richardson, J.T. 1989. *Principles of Catalyst Development*. New York: Plenum Press.
- Sivasamy, Arumugam. Kien Yoo Cheah. Paolo Fornasiero. Francis Kemausuor. Sergey Zinoviev. Stanislav Miertus. 2009. *Catalytic Applications in the Production of Biodiesel from Vegetable Oils*. *ChemSusChe* 2, 278 – 300
- Smith, J. M. 1970. *Chemical Engineering Kinetics 2nd Edition*. California : McGraw-Hill, Inc.
- Van Gerpen, J. H., 2005. *Biodiesel processing and production*. *Fuel Processing Technology*, 86 (10), 1097-1107 (11 pages).
- Widayat, Roesyadi, A., dan Rachimoallah, M., 2010. *Pengaruh Waktu Dealuminasi dan Jenis Sumber Zeolit Alam terhadap Kinerja H-Zeolit untuk Proses Dehidrasi Etanol*. *Reaktor*, Vol. 13 No. 1, Juni 2010, Hal. 51-57 : Semarang.
- Xie, W., Li, Haitao., 2006. *Alumina-supported potassium iodide as heterogeneous catalyst for biodiesel production from soybean oil*. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 255: 1–9.
- Yizhou H., Rongxian B., Yisheng T. 2004. *Study on the carbon dioxide hydrogenation to iso-alkanes over Fe–Zn–M/zeolite composite catalysts*. *Fuel Process Technol* ; 86:293–301.