

Produksi *Biofuel* dari Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis Au/HZSM-5 dan Kompositnya

Tillotama A S, Nurjannah, dan Danawati HP

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: itsa12@yahoo.com

Abstrak - Semakin meningkatnya kebutuhan dan konsumsi bahan bakar minyak menyebabkan cadangan minyak bumi semakin menipis sehingga perlu adanya pengembangan bahan lain sebagai sumber bahan bakar alternatif yang dapat menggantikannya. Salah satu produk energi alternatif yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui adalah *biofuel*. Perubahan minyak sawit menjadi *biofuel* salah satunya adalah dengan proses perengkahan katalitik. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah tersebut dimana dalam penelitian ini akan dipelajari kondisi operasi dan unjuk kerja katalis Au/HZSM-5 sintetis dan kompositnya pada reaksi perengkahan minyak sawit menjadi *biofuel*. Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan teknologi pembuatan katalis baru dan teknologi proses baru dalam proses produksi *biofuel* pada proses perengkahan katalitik asam palmitat dari minyak sawit. Pada penelitian ini *biofuel* telah berhasil diperoleh pada proses perengkahan minyak sawit menggunakan katalis Au/HZSM-5 sintetis dan kompositnya pada berbagai temperatur dan laju alir gas N₂. Penelitian dilakukan dengan tiga tahapan yaitu sintesa katalis, karakterisasi katalis dan proses perengkahan katalitik. Au/HZSM-5 disintesa dengan metode Plank dan katalis komposit disintesa berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Qjang Tang *et al.* Hasil yang telah berhasil disintesa dikarakterisasi dengan Energy Diffraction X-Ray (EDX), X-Ray Diffraction (XRD) dan Brunaur Emmet Teller (BET). Dari hasil karakterisasi dapat disimpulkan bahwa katalis yang telah disintesis telah memenuhi syarat untuk digunakan sebagai katalis pada proses perengkahan. Proses perengkahan katalitik dilakukan dalam suatu mikroreaktor fixed bed dengan berat katalis yang digunakan sebanyak 2 gram dan proses perengkahan dimulai saat gas N₂ dialirkan selama 60 menit. Proses perengkahan dilakukan pada variasi temperatur 350-550 °C dan laju alir gas N₂ 90-400 ml/min. Hasil perengkahan dianalisa dengan metode gas kromatografi. Hasil yang diperoleh untuk katalis Au/HZSM-5 yield tertinggi kerosene 25,24%, gasoline 15,69% dan diesel 10,71% pada temperatur reaktor 500 °C dengan laju alir gas N₂ 90 ml/min. Untuk katalis Komposit (HZSM-5/MCM-41) yield tertinggi diesel 26,53%, kerosene 19,26% dan gasoline 6,41% pada temperatur 450 °C laju alir 300 ml/min serta pada temperatur 350 °C dengan laju alir 90 ml/min dengan yield diesel tertinggi 24,38%, kerosene 18,84% dan gasoline 4,41%.

Kata Kunci : *Biofuel*; Katalis Au/HZSM-5, katalis komposit

I. PENDAHULUAN

BIOFUEL merupakan energi alternatif yang sangat menarik untuk diteliti, akan tetapi proses pembuatan

biofuel membutuhkan katalis yang tepat dan ekonomis. Penggunaan katalis berbasis zeolit diakui sangat efektif untuk proses perengkahan minyak sawit menjadi *biofuel*. Penelitian pembuatan katalis zeolit termodifikasi dari zeolit alam dari Blitar telah dilakukan oleh Budianto, A. dkk, 2005. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses pembuatan zeolit termodifikasi, dan menguji katalis ini untuk mengkonversi metana dan mengetahui selektivitas yang terbaik. Penelitian dilakukan dengan dua tahap umum yakni proses perubahan zeolit alam menjadi zeolit termodifikasi dan pengujian zeolit termodifikasi sebagai katalis dalam mengkonversi metana. Hasil percobaan menunjukkan bahwa karakteristik awal zeolit alam Blitar adalah jenis mordenit sedangkan jenis katalis yang dihasilkan setelah dimodifikasi adalah katalis jenis Cristobalit. Hasil pengujian katalis dengan mengkonversi metana pada temperatur 300°C adalah terbaik dengan konversi 15,78% dan selektivitas asetilen pada temperatur konversi 500°C adalah sebesar 1,1% [1].

Penelitian penggunaan katalis untuk perengkahan minyak sawit menjadi *biodiesel* tidak terbatas pada penggunaan katalis, akan tetapi juga jenis reaktor yang digunakan. Tamunaidu *et al.*, (2007) meneliti tentang bahan bakar berkualitas tinggi, bebas dari nitrogen dan belerang. Dalam penelitian ini, perengkahan katalitik minyak sawit untuk *biofuel* dipelajari katalis REY dalam reaktor *fixed bed* dengan *recycle* pada tekanan atmosfer. Efek temperatur reaksi (400-500 C), katalis / minyak sawit rasio (5 -10) dan waktu tinggal (10-30 s) dipelajari atas hasil biopremium dan gas sebagai bahan bakar. Desain eksperimen digunakan untuk mempelajari efek dari variabel operasi di atas konversi minyak sawit dan hasil bahan bakar hidrokarbon. Permukaan respon metodologi digunakan untuk menentukan nilai optimal variabel operasi untuk hasil maksimum bensin bio-fraksi dalam produk cair yang diperoleh [2].

Penelitian dari Sang Ooi Y dkk (2004) menghasilkan konversi katalitik minyak sawit berdasar pada residu campuran asam lemak dengan katalis HZSM-5 menggunakan reaktor fixed-bed pada tekanan atmosfer, hasil yang diperoleh fraksi gasoline 44,4% berat pada laju umpan 3,66 h⁻¹ dan suhu reaksi 440°C [3].

Peneliti lain mencoba membuat katalis nano size dari zeolit, hal ini disebabkan karena aluminosilikat zeolit merupakan bahan kristalin yang paling terkenal *microporous*-nya. Zeolite mempunyai kinerja yang sangat baik adalah karena mereka memiliki rongga dalam kisaran 3-15 Å. Jaringan dimensi *micropore molekuler* yang seragam dapat

menampung masuknya molekul secara selektif. Selektivitas bentuk dan saringan *molekuler* merupakan efek yang memainkan peran penting dalam aplikasi katalisis. Namun demikian, ukuran pori-pori *microporous* yang relatif kecil menyebabkan bahan-bahan yang tak dapat diterima dan terjadi difusi reaktan dan produk yang lambat ke dan dari situs aktif terletak di dalam zeolit kristal, sangat mencegah aplikasi praktis lanjut mereka. Katalis *nano size* memberikan jawaban yang tepat dalam masalah pori ini.

Peneliti yang lain juga mencoba melakukan impregnasi logam transisi (Ni, Cu, Zn) ke dalam HZSM-5 untuk meningkatkan *site active* dari katalis tersebut, dari penelitian ini diketahui Pada temperatur 450°C dan laju gas N₂ 130 ml/min untuk katalis HZSM-5 yield *gasoline* 17.11% *kerosene* 14.89% dan *diesel* 10.86%. Untuk katalis Ni/HZSM-5 yield *gasoline* 17.55% *kerosene* 13.48% dan *diesel* 5.84%. Untuk katalis Cu/HZSM-5 yield *gasoline* 18.05% *kerosene* 13.30% dan *diesel* 5.72%. Untuk katalis Zn/HZSM-5 yield *gasoline* 29.38% *kerosene* 12.86% dan *diesel* 4.78% [4].

Beberapa peneliti mencoba mengembangkan katalis diataranya adalah material komposit. Komposit digunakan sebagai katalis dalam proses perengkahan minyak sawit dan kinerjanya dibandingkan dengan yang diperoleh dari HZSM-5 dan MCM-41. Konversi kelapa sawit yang diperoleh adalah 80-100 wt.% dengan *yield* fraksional untuk bensin 38-47 wt.% yang diperoleh dari komposit katalis. Katalis yang dihasilkan selektif terhadap pembentukan aromatik di organik produk cair [5].

I. URAIAN PENELITIAN

A. Deskripsi Penelitian

Secara garis besar, penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh katalis Au/HZSM-5 dan katalis Komposit terhadap produk *biofuel* yang dihasilkan serta pengaruh laju alir dan temperatur terhadap *yield* dan selektivitas *biofuel*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi AuCl₃ 80%, water glass, butanol teknis, Al₂(SO₄)₃.18H₂O, gas hidrogen (HP Grade), nitrogen, serta aquades. Penelitian ini dilakukan dalam 4 tahapan proses yang meliputi tahap pembentukan Na-zeolit, perubahan H-zeolit, tahap pengembunan, tahap pembuatan katalis komposit.

B. Preparasi Katalis

Preparasi katalis dilakukan dengan pembuatan Na-zeolit menggunakan metode *plank* yang diawali dengan pelarutan Na silicate dengan H₂O dan Al₂(SO₄)₃.18H₂O dengan H₂SO₄ 98% dengan H₂O dan butanol. Lalu perubahan ke H-zeolit dengan larutan NH₄CL 1M, yang kemudian di impregnasi dengan logam AuCl₃ 80%. Sementara untuk pembuatan katalis komposit dengan melarutkan Na-zeolit dengan NaOH 1,5 M dan CTMA-Br yang kemudian dilakukan ion exchange dengan larutan NH₄CL 1M.

C. Karakterisasi Katalis

Karakterisasi katalis yang dihasilkan dilakukan melalui analisa XRD untuk mengetahui fase kristal katalis, analisa BET untuk mengetahui sifat fisik katalis, serta analisa EDX

untuk mengetahui komposisi logam yang terdapat dalam kristal katalis.

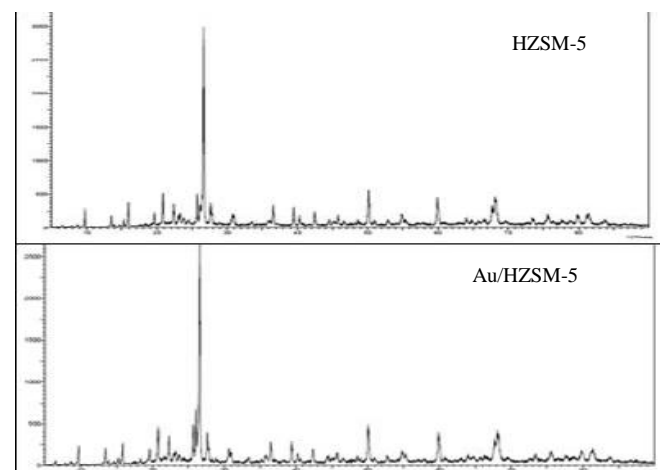
D. Karakterisasi Uji Aktivitas Katalis

Produk sampel hasil reaksi yang dihasilkan dianalisa kadar diesel, kerosene dan gasoline menggunakan *gas chromatography* (GC) FID jenis kolom *carbowax* 20 meter pada produk keluar reaktor dalam fase cair dengan kondisi operasi dari gas kromatografi adalah : temperatur kolom 50 – 250°C, laju alir gas 30 ml/menit, kecepatan pemanasan 5°C/menit, *initial time* 2 menit, temperatur *detector* 250°C dan temperatur *injector* 250°C.

II. HASIL DAN DISKUSI

A. Karakterisasi Katalis

Fase kristal dari katalis yang digunakan dalam reaksi ini diidentifikasi melalui analisa *X-ray diffraction* (XRD), dimana katalis disiapkan melalui proses impregnasi, kalsinasi, dan reduksi sesuai tahapan yang disebutkan pada bab sebelumnya.



Gambar 1. Pola difraksi katalis HZSM-5 dan Au/HZSM-5

Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa pola difraksi katalis HZSM-5 dan Au/HZSM-5 ditunjukkan oleh *peak* pada sudut 2 sebesar 26,59 (HZSM-5) dan sebesar 27,66; 28,35; 36,49 (Au/HZSM-5). Puncak tertinggi dari HZSM-5 standar dengan relative intensity tertinggi 100% adalah pada sudut 2 yaitu 23,08. Pada hasil HZSM-5 sintesa dan Au/HZSM-5 sintesa, puncak terdapat pada 26,64 dan 26,59. Puncak dari hasil XRD HZSM-5 dan Au/HZSM-5 ini memang tidak sesuai dengan karakter HZSM-5 standar yang puncaknya terletak pada sudut 2 antara 22,5 sampai 24,4. Akan tetapi dalam kristal HZSM-5 dan Au/HZSM-5 yang disintesa telah terdapat bibit kristal HZSM-5 standar, ditunjukkan dengan terdapatnya *peak* yang muncul pada sudut 2 antara 22,5 sampai 24,4.

Uji sifat fisik katalis yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi karakterisasi diameter pori katalis dan luas permukaan katalis yang diidentifikasi menggunakan analisa BET. Adapun data hasil analisa penelitian sebagaimana tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakterisasi sifat fisik katalis

Katalis	Diameter Pori (A ^o)	Luas Area (m ² /g)
HZSM-5	19,302	106,508
Au/HZSM-5	19,290	101,101
Katalis komposit	21,375	489,421

Berdasarkan data pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa katalis Au/HZSM-5 hasil impregnasi dalam penelitian ini memiliki ukuran diameter pori dan luas area lebih kecil bila dibandingkan dengan diameter pori dan luas area HZSM-5. Dari sini dapat disimpulkan bahwa logam Au hasil impregnasi telah berhasil terimpregnasi ke permukaan HZSM-5, sehingga mengakibatkan berkurangnya ukuran diameter pori dan luas area dari HZSM-5.

Uji sifat fisik katalis yang berikutnya dilakukan untuk mengetahui komposisi logam yang terdapat dalam kristal katalis yang diidentifikasi menggunakan analisa EDX. Adapun data hasil analisa penelitian sebagaimana tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakterisasi sifat fisik katalis

Katalis	Komposisi	%Berat	Katalis	Komposisi	%Berat
Au/HZSM-5	Al	1,10	Komposit	Al	0,06
	Si	2,05		Si	88,66
	O	44,96		Fe	0,47
	Fe	12,81		Ni	0,67
	Au	4,80		Br	10,13
	Ni	0,42			

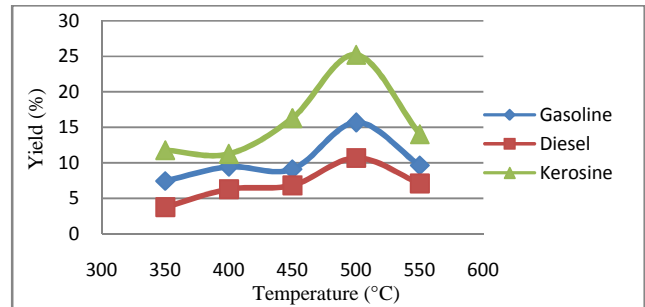
B. Parameter yang Dipelajari

Pengaruh temperatur reaktor terhadap yield dan selektivitas gasoline, kerosene dan diesel untuk katalis Au/HZSM-5 dan komposit, serta untuk mengetahui pengaruh laju alir gas N₂ terhadap yield dan selektivitas gasoline, kerosene dan diesel untuk katalis Au/HZSM-5 dan komposit dan hasilnya didiskusikan pada bagian berikut.

C. Pengaruh Temperatur Reaktor Terhadap Yield dan Selektivitas untuk Katalis Au/HZSM-5

Tujuan impregnasi logam aktif ke permukaan katalis akan meningkatkan luas permukaan spesifik katalis dan diharapkan aktifitas katalis akan meningkat. Semakin banyak logam terimpregnasi secara merata pada permukaan katalis diharapkan luas permukaan spesifik katalis akan semakin luas.

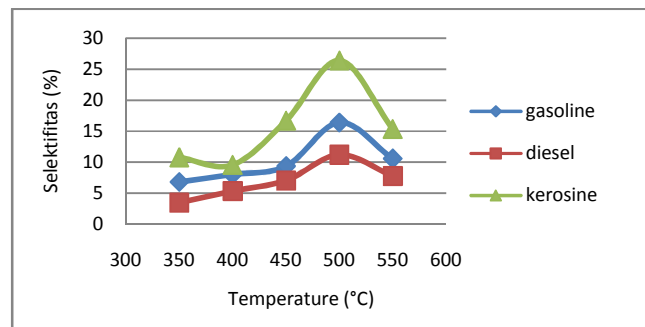
Adapun data hasil analisa pengaruh temperatur terhadap yield tertuang sebagaimana Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh temperatur terhadap yield pada laju alir N₂ 90 ml/min untuk katalis Au/HZSM-5.

Dari gambar 2 dapat dilihat yield tertinggi gasoline 15,69%, kerosene 25,24% dan diesel 10,71% pada suhu 500 °C laju alir N₂ 90 ml/min. Gambar 2 menunjukkan bahwa kondisi yang terbaik diperoleh yaitu pada temperatur 500 °C kemudian terjadi penurunan yield dengan naiknya temperatur.

Sementara data hasil analisa pengaruh temperatur terhadap selektivitas tertuang sebagaimana Gambar 3.

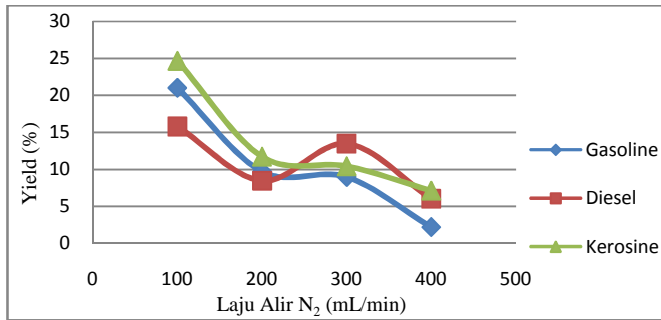


Gambar 3. Pengaruh temperatur terhadap selektivitas pada laju alir N₂ 90 ml/min untuk katalis Au/HZSM-5.

Pada gambar 3 selektivitas gasoline, kerosene dan diesel tertinggi berada pada suhu 500 °C yaitu gasoline sebesar 16,42%, kerosene sebesar 26,41% dan diesel sebesar 11,21 %. Pada temperatur 550 °C terjadi penurunan selektivitas, hal ini disebabkan karena pada temperatur yang tinggi terjadi peningkatan pada produk gas karena bertambahnya produk perengkahan.

D. Pengaruh Laju Alir Gas N₂ Terhadap Yield dan Selektivitas untuk Katalis Au/HZSM-5

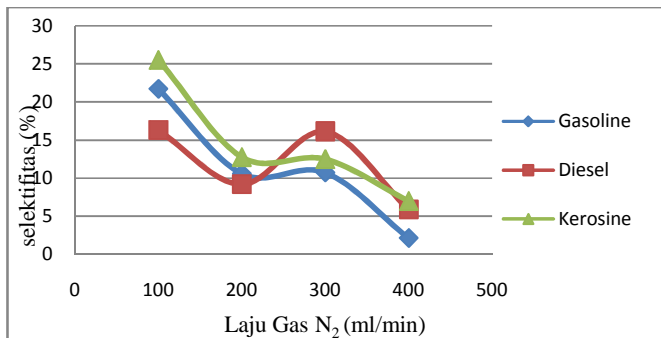
Laju gas N₂ berpengaruh terhadap laju uap minyak yang masuk ke reaktor dan laju pembentukan produk cair dimana laju uap minyak dan laju pembentukan produk berpengaruh terhadap yield biofuel. Adapun data hasil analisa pengaruh laju alir terhadap yield tertuang sebagaimana Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh laju alir N₂ terhadap yield katalis pada temperatur 500°C, untuk katalis Au/HZSM-5

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa *yield* tertinggi *gasoline* 21,01%, *diesel* 15,78%, dan *kerosene* 24,69% pada suhu 500 °C berada pada laju alir 100 ml/min. Dari gambar dapat diketahui bahwa semakin naiknya laju alir gas N₂ *yield* biofuel cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya laju alir gas N₂ maka waktu kontak antara reaktan dengan katalis semakin berkurang sehingga menyebabkan proses perengkahan reaktan oleh katalis tidak berlangsung secara optimal.

Sementara data hasil analisa pengaruh laju alir terhadap *selektivitas* tertuang sebagaimana Gambar 5.

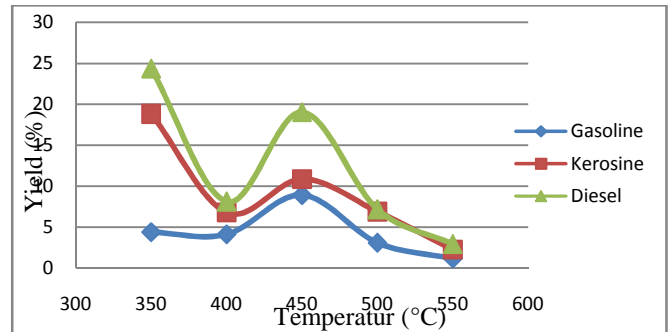


Gambar 5. Pengaruh laju alir N₂ terhadap selektivitas katalis pada temperatur 500°C, untuk katalis Au/HZSM-5

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa selektivitas tertinggi *gasoline* 21,72% *diesel* 16,31% dan *kerosene* 25,23% pada temperatur 500 °C diperoleh pada laju alir 100 ml/min. Dari gambar 5 menunjukkan bahwa semakin cepat laju alir gas N₂ sebagai gas pembawa selektivitas dari biofuel cenderung menurun, hal ini disebabkan karena dengan kenaikan laju alir gas N₂ maka waktu kontak antara umpan dengan katalis berkurang sehingga proses perengkahan oleh katalis tidak bekerja secara optimal.

E. Pengaruh Temperatur Reaktor Terhadap Yield dan Selektivitas untuk Katalis Komposit

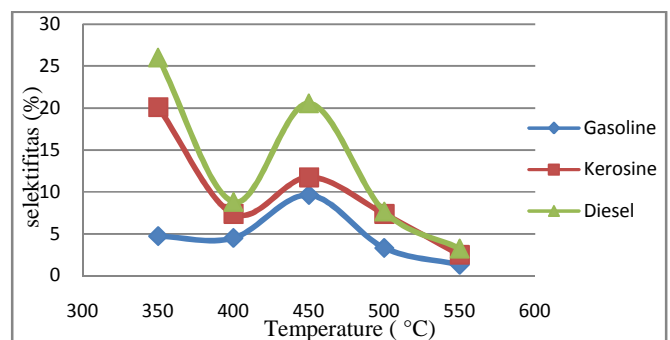
Zeolit dapat lebih menjadi efektif untuk molekul reaktan apabila zeolit dengan struktur mikroporus dikombinasikan dengan material mesoporus sebab akan meningkatkan kemampuan absorpsi dari zeolit tersebut (A Farouq *et al.*2004). Pada penelitian ini material komposit dibuat dari ZSM-5 yang di *treatment* dengan larutan alkali dan CTMA-Br sebagai mesoporous *molecular sieve* yang juga digunakan sebagai template.



Gambar 6. Pengaruh temperatur terhadap *yield* pada laju alir N₂ 90 ml/min, untuk katalis komposit.

Gambar 6 menunjukkan pengaruh temperatur terhadap *yield* biofuel dengan menggunakan katalis komposit. Dari gambar 6, *yield diesel* dan *kerosene* tertinggi diperoleh pada temperatur 350 °C, untuk 24,38% *diesel*, *kerosene* 18,84% dan *gasoline* 4,41%, setelah itu terjadi penurunan *yield* hal ini disebabkan karena aktivitas katalis pada temperatur 400 °C dapat merengkah rantai karbon asam palmitat dan asam oleat menjadi rantai hidrokarbon yang berada pada fraksi *kerosene* dan *diesel* dengan melepaskan gas CO₂ dan CO [6].

Sementara data hasil analisa pengaruh temperatur terhadap *selektivitas* tertuang sebagaimana Gambar 7.

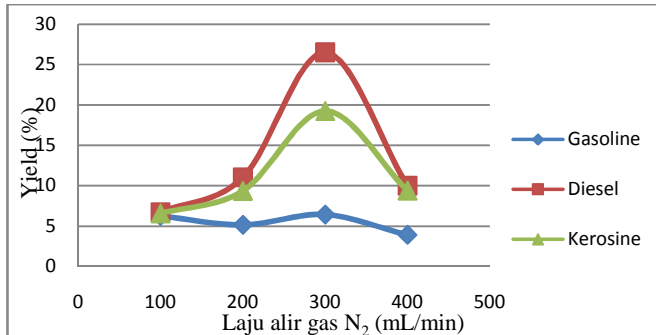


Gambar 7. Pengaruh temperatur terhadap *selektivitas* pada laju alir N₂ 90 ml/min, untuk katalis komposit.

Pada gambar 7 menunjukkan selektivitas *diesel* dan *kerosene* tertinggi diperoleh pada temperatur 350 °C dan laju alir N₂ 90 ml/min, yaitu *diesel* 26,028%, *kerosene* 20,12% dan *gasoline* 4,71%. Selanjutnya dengan terjadinya kenaikan temperatur, selektivitas biofuel mulai menurun. Hal ini disebabkan aktifitas katalis mulai menurun dengan naiknya temperatur, sebab pada temperatur yang tinggi keasamaan katalis meningkat sehingga konversi yang dihasilkan semakin besar, jika konversi meningkat maka selektivitas dari produk akan menurun. Pada gambar 7 dapat dilihat kembali terjadi kenaikan selektivitas pada suhu 450 °C, hal ini dikarenakan pengaruh teknis lapangan saat melakukan proses perengkahan dimana pada keadaan ini suhu pemanas dari minyak sawit yang digunakan tidak konstan sehingga berpengaruh terhadap uap minyak yang dihasilkan.

F. Pengaruh Laju Alir Gas N₂ Terhadap Yield dan Selektivitas untuk Katalis Komposit

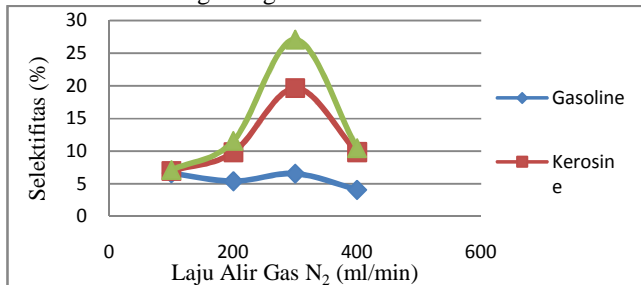
Laju gas N₂ tidak berpengaruh langsung terhadap *yield biofuel* akan tetapi laju gas N₂ berpengaruh terhadap laju minyak yang masuk kedalam reaktor dan laju pembentukan produk cair, dimana laju uap minyak dan laju produk inilah berpengaruh terhadap *yield biofuel*.



Gambar 8. Pengaruh laju alir gas N₂ terhadap yield katalis komposit pada temperatur 450°C, untuk katalis komposit.

Pada gambar 8 bahwa yield diesel, kerosene dan gasoline diperoleh pada laju alir 300 ml/min, yaitu *diesel* sebesar 26,53%, *kerosene* 19,26% dan *gasoline* 6,41%. Untuk laju alir yang lebih besar yield biofuel yang dihasilkan semakin kecil, hal ini dikarenakan semakin besar laju gas N₂ kontak antar katalis dan uap minyak semakin cepat sehingga produk yang dihasilkan semakin sedikit.

Sementara data hasil analisa pengaruh laju alir terhadap *selektivitas* tertuang sebagaimana Gambar 9.



Gambar 9. Pengaruh laju alir gas N₂ terhadap selektivitas katalis komposit pada temperatur 450°C, untuk katalis komposit.

Gambar 9 menunjukkan pengaruh laju alir gas N₂ terhadap selektivitas biofuel yang terbentuk. Pada gambar 4.16 diketahui bahwa selektivitas tertinggi *diesel*, *kerosene* dan *gasoline* pada temperatur 450 °C berada pada laju alir 300 ml/min, yaitu *diesel* 27,08%, *kerosene* 19,66% dan *gasoline* 6,54%. Selanjutnya terjadi penurunan selektivitas dengan besarnya laju alir gas N₂, hal ini disebabkan karena laju alir gas pembawa yang besar menyebabkan uap minyak yang terbawa juga akan cepat, sehingga kontak dengan katalis akan berkurang dengan demikian proses perengkahan oleh katalis tidak berjalan dengan baik.

III. KESIMPULAN/RINGKASAN

Katalis sintetis Au/HZSM-5 dan Katalis komposit *micro-mesoporous* HZSM-5/MCM-41 dapat digunakan dalam proses perengkahan dengan yield tertinggi untuk katalis Au/HZSM-5

adalah kerosene 25,24%, gasoline 15,69% dan diesel 10,71% dan yield tertinggi untuk katalis komposit diesel 24,38% dan kerosene 18,84%. Temperatur reaktor berpengaruh terhadap yield maupun selektivitas *gasoline*, *kerosene* dan *diesel* yang dihasilkan. Dari penelitian diketahui bahwa semakin tinggi temperatur reaktor maka yield dari produk akan menurun. Untuk katalis Au/HZSM-5 pada temperatur 500 °C dan laju alir 90 ml/min yield kerosene 25,24%, gasoline 15,69% dan diesel 10,71%. Untuk katalis komposit *micro-mesoporous* HZSM-5/MCM-41 pada temperatur 350°C dan laju alir 90 ml/min yield diesel 24,38% dan kerosene 18,84% serta pada temperatur 450 °C dan laju alir 90 ml/min yield diesel 19,06%, kerosene 10,88% dan gasoline 8,93%. Penggunaan katalis sintetis Au/HZSM-5 pada proses perengkahan minyak kelapa sawit mengarah ke fraksi kerosene dan gasoline. Katalis komposit *micro-mesoporous* HZSM-5/MCM-41 mengarah ke fraksi diesel dan kerosene.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium, Dosen Pembimbing dan Anggota Laboratorium Teknik Reaksi Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan dukungan dan bantuan dana dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budianto, A., Purwanti E., Marta M., dan Retta D.M., "Pengaruh Suhu Konversi Terhadap Proses Konversi Metana Dengan Katalis Zeolit Termofifikasi", Jurnal IPTEK, Media Komunikasi Teknologi, Volume 8 no 3 Mei 2005, ISSN No 1411-7010, hal. 111 – 122 (2002).
- [2] Tamunaidu P., and S Bhatia *et al.*, Catalytic Cracking Of Palm Oil For The Production Of *Biofuels*: Optimization Studies, Bioresource Technology 98 (2007) 3593–3601.
- [3] Ooi, Zakaria, R., Mohamed, A.R., Bhatia, S., Catalytic Conversion Of Palm Oil Based Fatty Acid Mixture To Liquid Fuel, Biomass and Bioenergy 27 (2004) 477-484.
- [4] Nurjannah, Irmawati, Roesyadi, A, Danawati,(2009b) "Perengkahan Katalitik Minyak Sawit Menjadi *Biofuel* Menggunakan Katalis HZSM-5 dengan Impregnasi Logam" Prosiding Seminar nasional Thermofluid, Universitas Gajah Mada Yogyakarta, 2009
- [5] Ooi, Twaq,A., Zakaria, R., Mohamed, A.R., Bhatia, S., *Biofuel* Production From Catalytic Cracking Of Palm Oil, Energy Sources 25 (2003) 859–869.
- [6] Bhatia s, Rahman Abdul M *et al.*, 2009. Composite As Cracking Catalysts In The Production Of Biofuel From Palm Oil: deactivation Studies. Elsevier. Chemical Engineering Journal 155 (2009) 347-354.