

# Rekayasa Katalis Ni/Zn-HZSM-5 untuk Memproduksi Biofuel dari Minyak Bintaro

Muhammad Iqbal, Victor Purnomo dan Danawati Hari Prajitno  
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Surabaya 60111 Indonesia  
e-mail: itsa12@yahoo.com

**Abstrak** — Sumber energi alternatif terbarukan sangat diperlukan pada masa kini, sebab penggunaan sumber energi fosil tidak dapat menjadi andalan untuk masa depan. Hal ini karena sumber energi fosil semakin menipis dan penggunaannya menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> yang tidak ramah lingkungan. Salah satu sumber energi alternatif yang menjanjikan adalah biofuel. Biofuel merupakan sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh katalis berpromotor ganda Ni/Zn-HZSM-5 dan suhu terhadap proses perengkahan minyak bintaro untuk memproduksi biofuel. Variabel yang digunakan adalah perbandingan massa Ni terhadap Zn, perbandingan massa logam terhadap katalis total serta suhu. Parameter kualitas biofuel dapat dilihat dari nilai selektivitas. Selektivitas maksimum gasoline sebesar 52,42% tercapai pada suhu 350°C dan selektivitas maksimum kerosene sebesar 86,72% tercapai pada suhu 400°C pada penggunaan katalis dengan perbandingan Ni:Zn sebesar 1:1 dengan logam 2% massa total katalis. Diperlukan penelitian yang lebih lanjut untuk memproduksi biofuel yang lebih berkualitas pada suhu yang lebih tinggi dan massa katalis yang lebih besar.

**Kata Kunci**— biofuel, minyak bintaro, katalis Ni/Zn-HZSM-5, double promotor

## I. PENDAHULUAN

Pertambahan populasi penduduk dan peningkatan kebutuhan manusia seiring dengan berkembangnya zaman, mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan energi yang tidak dapat diperbarui. Selama ini sebagian besar sumber energi menggunakan bahan bakar fosil yang jumlahnya semakin menipis. Hal ini mendorong kita mencari berbagai cara untuk menghemat penggunaan minyak bumi serta menciptakan energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil.

Minyak nabati dapat dijadikan *feedstock* untuk produksi biodiesel karena merupakan sumber energi yang dapat diperbarui, dapat diproduksi skala besar dan ramah lingkungan. Minyak nabati terdiri dari *edible oil* dan *non-edible oil*. Lebih dari 95% bahan baku untuk produksi biodiesel berasal dari *edible oil* yang diproduksi secara besar di beberapa wilayah. Sifat dari biodiesel yang dihasilkan oleh *edible oil* ini lebih cocok digunakan sebagai bahan bakar pengganti minyak diesel. Akan tetapi, hal ini menyebabkan beberapa permasalahan seperti meningkatnya kompetisi di pasar *edible oil*, sehingga menyebabkan meningkatnya harga *edible oil* dan meningkatnya biaya produksi biodiesel. Selain

itu, hal ini menyebabkan pembukaan hutan untuk dijadikan lahan penanaman biodiesel. Kekurangan ini mendorong beberapa penelitian pembuatan biodiesel yang berbasis *non-edible oil* [1].

Penelitian di bidang biodiesel sejauh ini terus berkembang dengan memanfaatkan beragam minyak nabati dan hewani untuk mendapatkan bahan bakar hayati (biofuel) dan dapat diperbaharui (*renewable*). Biofuel merupakan bahan bakar baik cair, padat, maupun gas, hasil konversi dari material material biologis yang disebut sebagai biomassa yang ketersediaannya sangat melimpah, murah, sehingga dapat terus diperbaharui dan ramah terhadap lingkungan. Biodiesel merupakan salah satu biofuel yang bahan bakunya berasal dari biomassa. Memiliki sifat menyerupai minyak diesel/solar. Bahan bakar ini ramah lingkungan karena menghasilkan emisi gas buang yang jauh lebih baik dibandingkan dengan diesel/solar, yaitu bebas sulfur, bilangan asap (*smoke number*) yang rendah, memiliki bilangan setana yang tinggi, pembakaran lebih sempurna, memiliki sifat pelumasan terhadap piston mesin dan dapat terurai (biodegradable) sehingga tidak beracun.

Bintaro yang memiliki nama latin *Cerbera manghas* adalah buah beracun yang belum banyak dimanfaatkan. Bintaro adalah bagian dari ekosistem hutan mangrove yang tingginya dapat mencapai 12 m. Tanaman bintaro merupakan salah satu tanaman yang bijinya mengandung kadar minyak sebesar 46-64% dan dapat diolah menjadi sumber energi yang ramah lingkungan. Dari biji bintaro yang telah melalui proses pengeringan dan pengepresan akan diperoleh minyak mentah yang disebut *crude cerbera oil (CCO)*. Ampas hasil proses pengepresan biji bintaro dapat dibuat briket bahan bakar dan dapat dibuat kompos untuk pupuk tanaman, sehingga dalam pengembangan sumber energi biji bintaro tidak menghasilkan sampah (*zero waste*).

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Sintesa Katalis HZSM-5

Na-ZSM-5 diubah menjadi bentuk NH<sub>4</sub>-ZSM-5 dengan cara mencampur larutan NH<sub>4</sub>Cl 1 M dengan perbandingan Na-ZSM-5 terhadap larutan NH<sub>4</sub>Cl sebesar 1:10 sebanyak tiga kali.[1] NH<sub>4</sub>-ZSM-5 yang terbentuk disaring, dicuci hingga mencapai pH 4-7.[2] Kemudian dikeringkan pada suhu 110°C selama 6 jam yang diikuti kalsinasi dengan mengalirkan nitrogen pada suhu 550 °C selama 5 jam. [3] Hasil yang diperoleh adalah HZSM-5. [4]

**B. Impregnasi Ni dan Zn ke dalam HZSM-5**

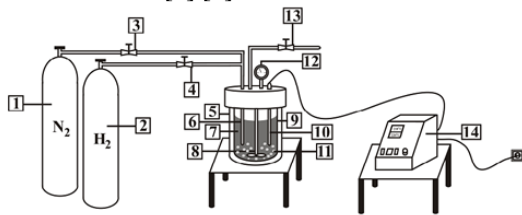
HZSM-5 diimpregnasi dengan larutan yang mengandung logam aktif yaitu ZnSO<sub>4</sub> dan NiCl<sub>2</sub>. [5] Larutan tersebut ditambahkan secara perlahan-lahan ke dalam HZSM-5 pada suhu 30°C. [4] Campuran tersebut kemudian dikeringkan pada suhu 110°C selama 14 jam. Setelah itu, dilakukan proses oksidasi pada suhu 550°C selama 4 jam dan proses reduksi 450°C selama 3 jam. [6] Hasil dari tahap ini adalah katalis Ni/Zn-HZSM-5. Produk disimpan di dalam desikator untuk didinginkan sebelum digunakan untuk tahap perengkahan.

**C. Preparasi Katalis**

Preparasi katalis dilakukan dengan melakukan reduksi ulang pada suhu 450°C selama 1 jam sebelum perengkahan.

**D. Proses Perengkahan**

Perengkahan minyak bintaro dimulai dengan memasukkan 120 ml minyak bintaro dan 0,6 gram katalis ke dalam reaktor batch, kemudian nitrogen dialirkan ke dalam reaktor untuk menghilangkan oksigen melalui *purging*. Setelah itu hidrogen dialirkan ke dalam reaktor untuk memulai *hydrocracking* pada suhu sesuai variabel. [3] [7]



Keterangan gambar:

- 1. Tabung gas N<sub>2</sub>
- 2. Tabung gas H<sub>2</sub>
- 3. Valve tube gas N<sub>2</sub>
- 4. Valve tube gas H<sub>2</sub>
- 5. Heater
- 6. Tube reaktor gas N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>
- 7. Minyak bintaro
- 8. Pengaduk
- 9. Reaktor
- 10. Thermocouple
- 11. Katalis
- 12. Indikator tekanan reaktor
- 13. Gas outlet valve
- 14. Panel kontrol heater-reaktor

Gambar 1. Rangkaian alat proses perengkahan minyak nabati

**III. HASIL DAN DISKUSI**

**A. Hasil Analisa Bahan Baku**

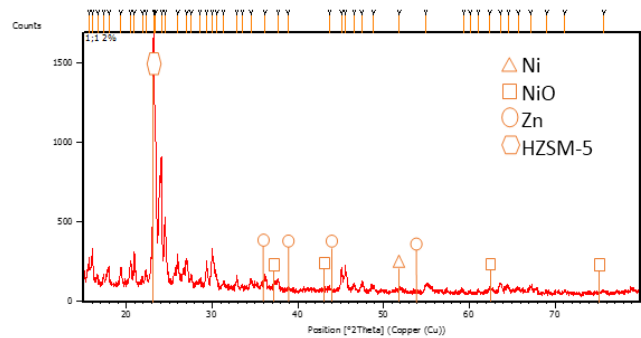
Minyak bintaro berwarna kuning jernih. Berdasarkan hasil analisa *Gas Chromatography Mass Spectrometry (GCMS)* dapat diketahui bahwa komposisi minyak bintaro terdiri dari asam palmitat, asam tridesilik, asam margarik dan asam oleat seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Minyak Bintaro

Kandungan	Kadar (%)
Asam Palmitat	20,29
Asam Tridesilik	1,95
Asam Margarik	4,29
Asam Oleat	73,47

**B. Karakterisasi Katalis**

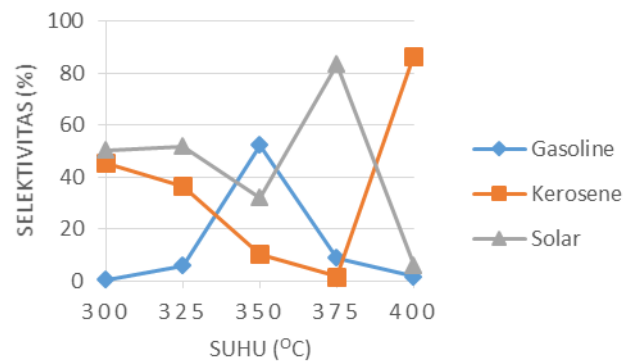
Katalis dianalisa dengan menggunakan metode *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk mengetahui tipe katalis yang disintesa. Dari hasil yang diperoleh berdasarkan difraktogram yang ada, katalis yang disintesa adalah Ni/Zn-HZSM-5.



Gambar 2. Difraktogram katalis Ni/Zn-HZSM-5

**C. Hasil Analisa Produk**

Analisa komposisi produk biofuel yang telah didapat dari proses *hydrocracking* dilakukan dengan metode *Gas Chromatography (GC)*. Ada tiga kandungan utama yang dalam produk biofuel yaitu kandungan gasoline, kerosene dan solar. Berikut adalah grafik selektivitas terhadap suhu untuk setiap variabel katalis yang diperoleh dari analisa GC.



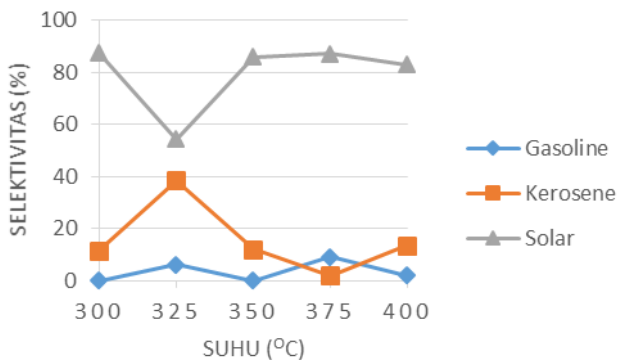
Gambar 3. Grafik Selektivitas Terhadap Suhu *Hydrocracking* untuk Katalis Ni/Zn-HZSM-5 dengan Perbandingan Ni:Zn Sebesar 1:1 dan Kandungan Logam Sebesar 2% Katalis Total

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa selektivitas gasoline terus naik seiring dengan kenaikan suhu hingga mencapai nilai maksimal sebesar 52,42% pada suhu 350°C, kemudian selanjutnya terus menurun. Selektivitas kerosene pada suhu 300°C mencapai nilai 45,48% dan selanjutnya turun hingga suhu 375°C, lalu naik drastis pada suhu 400°C mencapai nilai 86,72%. Sementara selektivitas solar dan bahan sisa lainnya menunjukkan sedikit kenaikan dari 50,35% menjadi 51,75% pada kenaikan suhu dari 300°C ke 325°C, kemudian turun ke 32,01% pada suhu 350°C lalu naik menjadi 83,48% pada suhu 375°C dan turun menjadi 6,03% pada suhu 400°C.

Dari hasil analisa tersebut dapat dilihat bahwa suhu 350°C adalah suhu yang paling optimal untuk mendapatkan selektivitas gasoline yang maksimal. Sementara itu selektivitas kerosene dan solar yang maksimal tercapai pada suhu 400°C dan 375°C secara berturut-turut. Dapat disimpulkan bahwa untuk katalis Ni/Zn-HZSM-5 dengan Ni:Zn sebesar 1:1 dan massa logam 2% dari massa katalis total, suhu reaksi tidak boleh kurang dari 350°C untuk mendapatkan selektivitas yang optimal.

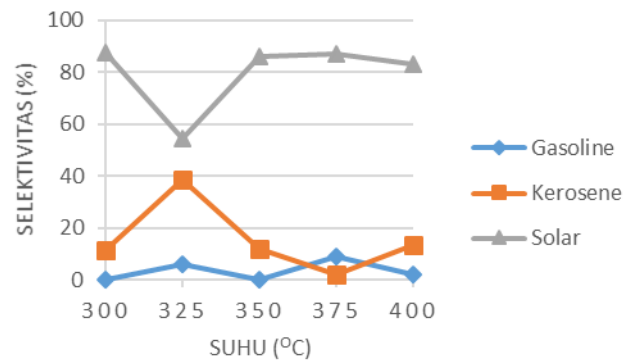
Fluktuasi nilai selektivitas yang terjadi dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada variabel suhu pertama sebesar 300°C, kerosene dan solar sudah mulai terbentuk namun gasoline belum muncul sebagai produk perengkahan karena belum mencapai suhu optimalnya. Hal ini karena kerosene dan solar memiliki rantai ikatan karbon yang lebih panjang daripada gasoline sehingga pembentukan kedua kandungan ini terjadi pada variabel suhu yang lebih rendah.

Kemudian pada suhu 350°C, terbentuk gasoline sebagai produk perengkahan minyak bintang. Pada variabel suhu ini, bukan hanya minyak nabati yang terengkah, melainkan kerosene dan solar yang lebih panjang rantai ikatan karbonnya juga ikut terengkah. Inilah yang menyebabkan terjadinya penurunan persentase selektivitas kedua kandungan tersebut. Selanjutnya pada suhu 375°C seluruh kerosene telah terengkah menjadi gasoline sehingga keduanya mengalami penurunan nilai selektivitas, namun kandungan solar kembali terengkah dari minyak bintang dan mengalami kenaikan dengan drastis karena ikatan rantai karbonnya yang lebih panjang. Lalu pada suhu 400°C selektivitas kerosene naik kembali karena terjadinya perengkahan solar menjadi kerosene. Hal ini dibuktikan dengan turunnya selektivitas solar pada suhu 400°C.



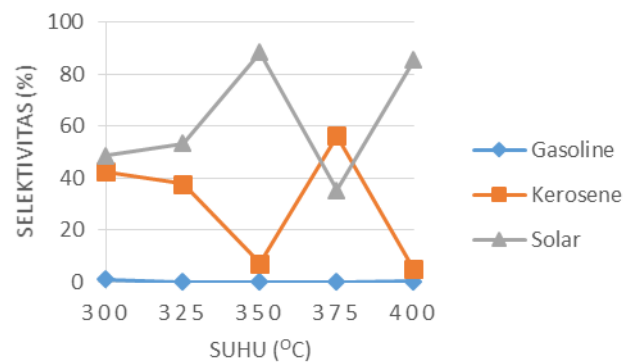
Gambar 4. Grafik Selektivitas Terhadap Suhu Hydrocracking untuk Katalis Ni/Zn-HZSM-5 dengan Perbandingan Ni:Zn Sebesar 1:1 dan Kandungan Logam Sebesar 4% Katalis Total

Gambar 4 menunjukkan terjadinya kenaikan selektivitas solar pada suhu 300°C hingga suhu 350°C dari 48,64% menjadi 88,37%, kemudian terjadi penurunan pada suhu 375°C menjadi 35,37% lalu naik kembali menjadi 85,47% pada suhu 400°C. Sementara nilai selektivitas kerosene turun dari 42,34% menjadi 6,98% pada suhu 300°C hingga 350°C, kemudian naik menjadi 56,18% pada 375°C dan turun menjadi 4,95% pada suhu 400°C. Sementara nilai selektivitas gasoline hampir mendekati 0% pada semua titik, dan baru terbentuk sebesar 0,236% pada suhu 400°C. Dengan demikian dapat dilihat bahwa pada suhu 375°C sebagian solar terengkah menjadi kerosene, sedangkan gasoline baru mulai terbentuk pada suhu 400°C. Literatur menyebutkan bahwa suhu 450°C adalah suhu optimal untuk terengkahnya minyak nabati membentuk biofuel yang mengandung gasoline.



Gambar 5. Grafik Selektivitas Terhadap Suhu Hydrocracking untuk Katalis Ni/Zn-HZSM-5 dengan Perbandingan Ni:Zn Sebesar 1:2 dan Kandungan Logam Sebesar 2% Katalis Total

Pada gambar 5, selektivitas solar turun dari 87,49% menjadi 54,26% pada suhu 300°C hingga 325°C, lalu naik menjadi 86% pada suhu 350°C, menjadi 87,28% pada 375°C dan akhirnya turun menjadi 83,06% pada suhu 400°C. Selektivitas kerosene mencapai nilai maksimum sebesar 38,38% pada suhu 325°C dan nilai minimum sebesar 1,78% pada suhu 375°C. Sementara nilai selektivitas gasoline mencapai nilai maksimum pada suhu 375°C sebesar 9,14%. Dapat terlihat bahwa pada suhu 325°C solar terengkah menjadi kerosene dan gasoline dengan fraksi yang lebih kecil, sedangkan pada suhu 375°C kerosene terengkah menjadi gasoline. Selektivitas gasoline turun pada suhu 400°C oleh karena adanya penguapan yang terjadi pada reaktor, sedangkan gasoline yang dihasilkan masih sedikit walaupun mencapai nilai maksimumnya pada suhu tidak lebih dari 400°C. Berdasarkan penelitian terdahulu, penurunan selektivitas solar pada suhu 400°C disebabkan oleh dominasi kinerja katalis Ni-HZSM-5. Sebaliknya kenaikan selektivitas kerosene dipicu oleh pengaruh katalis Zn-HZSM-5.

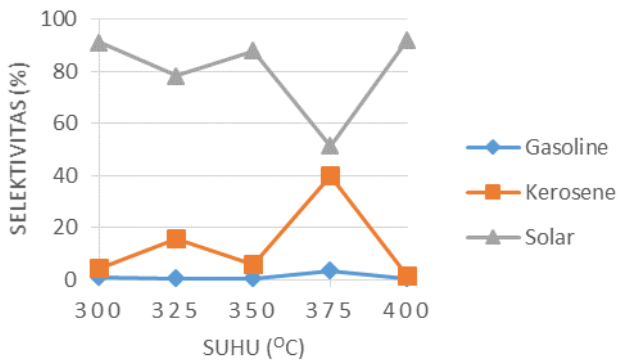


Gambar 6. Grafik Selektivitas Terhadap Suhu Hydrocracking untuk Katalis Ni/Zn-HZSM-5 dengan Perbandingan Ni:Zn Sebesar 1:2 dan Kandungan Logam Sebesar 4% Katalis Total

Gambar 6 menunjukkan bahwa selektivitas gasoline maksimal untuk variabel katalis ini tercapai pada suhu 325°C sebesar 16,89%. Sedangkan pada variabel suhu lainnya, selektivitas gasoline sangat kecil mendekati 0%, kecuali pada suhu 375°C mencapai 12,45%. Sementara itu selektivitas kerosene turun dari 32,63% menjadi 0% pada rentang variabel suhu 300°C hingga 325°C, kemudian naik kembali pada suhu 350°C menjadi 14,94%, lalu turun menjadi 0% pada 375°C hingga mencapai 76,51% pada suhu 400°C.

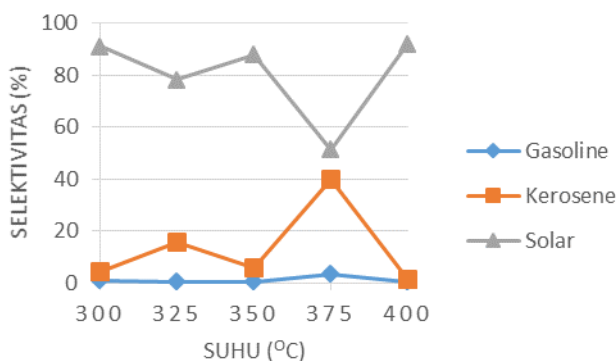
Sedangkan selektivitas solar naik dari 63,29% menjadi 81,71% pada rentang suhu 300°C hingga 325°C, kemudian naik menjadi 84,64% pada suhu 350°C dan 85,78% pada suhu 375°C hingga akhirnya turun menjadi 21,14% pada suhu 400°C.

Dengan demikian dapat terlihat bahwa pada suhu 325°C dan 375°C, terjadi perengkahan kerosene menjadi gasoline, sementara pada suhu 400°C terjadi perengkahan solar menjadi kerosene. Rendahnya nilai selektivitas gasoline pada suhu yang lebih tinggi disebabkan oleh cukup tingginya kenaikan selektivitas solar dan menguapnya sebagian gasoline pada suhu tersebut.



Gambar 7. Grafik Selektivitas Terhadap Suhu Hydrocracking untuk Katalis Ni/Zn-HZSM-5 dengan Perbandingan Ni:Zn Sebesar 1:3 dan Kandungan Logam Sebesar 2% Katalis Total

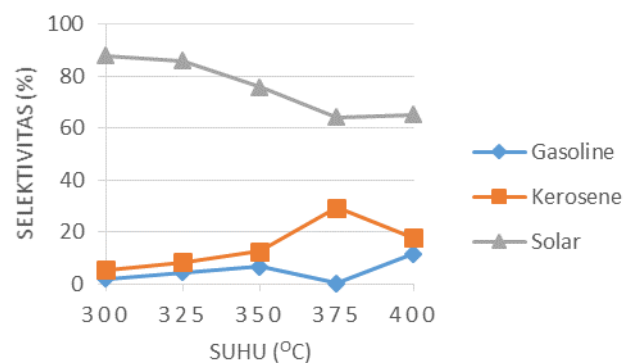
Pada gambar 7, selektivitas solar cenderung menurun, sedangkan selektivitas gasoline dan kerosene cenderung naik. Dapat terlihat bahwa dari suhu 300°C hingga suhu 400°C; selektivitas gasoline naik dari 1,98% hingga 11,59%, selektivitas kerosene naik 5,24% hingga 17,72%, sedangkan selektivitas solar turun dari 88,03% hingga 65,1% secara berturut-turut. Hanya saja terdapat nilai minimum untuk solar dan gasoline sebesar 64,19% dan 0,21% secara berturut-turut serta nilai maksimum pada kerosene sebesar 29,22% yang terjadi seluruhnya pada suhu 375°C. Dapat terlihat bahwa pada suhu 375°C solar terengkah menjadi kerosene, sedangkan hasil perengkahan gasoline baru nampak pada suhu 400°C. Gasoline pada suhu 400°C terbentuk dari hasil perengkahan kerosene. Terlihat bahwa selektivitas kerosene turun sebanyak 11,5%, sedangkan selektivitas gasoline naik sebesar 11,32%.



Gambar 8. Grafik Selektivitas Terhadap Suhu Hydrocracking untuk Katalis Ni/Zn-HZSM-5 dengan Perbandingan Ni:Zn Sebesar 1:3 dan Kandungan Logam Sebesar 4% Katalis Total

Pada gambar 8, kecenderungan nilai selektivitas solar dan gasoline adalah terus naik dari suhu 300°C hingga 400°C, sedangkan nilai selektivitas kerosene cenderung turun. Selektivitas gasoline pada suhu 300°C bernilai 0% dan mencapai 22,08% pada suhu 400°C sebagai nilai maksimalnya. Selektivitas solar naik dari 58,45% menjadi 68,62% pada rentang suhu yang sama. Sedangkan selektivitas kerosene yang bernilai 32,58% pada 300°C turun menjadi 28,63% pada 350°C dan menjadi 0% pada suhu 400°C.

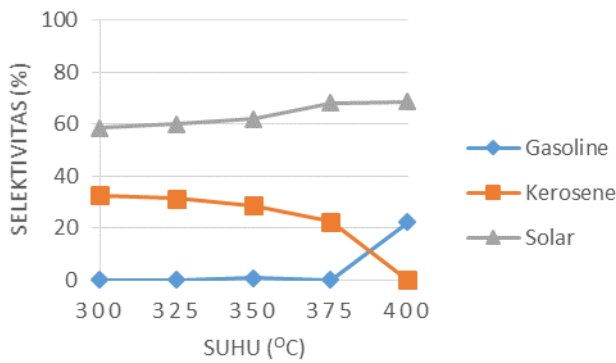
Hal ini menunjukkan bahwa kerosene pada suhu 400°C telah mengalami perengkahan menjadi gasoline, sementara solar mulai terbentuk lagi dari perengkahan minyak nabati. Pada suhu yang lebih tinggi, kecenderungan naik dan turunnya Selektivitas ini menunjukkan bahwa kerosene masih bisa mencapai Selektivitas yang lebih tinggi saat solar akan mengalami perengkahan kembali. Pada variabel katalis ini, perengkahan dominan terjadi pada kerosene.



Gambar 9. Grafik Selektivitas Terhadap Suhu Hydrocracking untuk Katalis Ni/Zn-HZSM-5 dengan Perbandingan Ni:Zn Sebesar 1:4 dan Kandungan Logam Sebesar 2% Katalis Total

Pada gambar 9, selektivitas solar turun dari 91,23% menjadi 78,38% pada suhu 300°C hingga 325°C, kemudian naik menjadi 87,85% pada suhu 350°C dan turun menjadi 51,42% pada suhu 375°C dan naik menjadi 92,19% pada suhu 400°C. Nilai selektivitas kerosene dan gasoline mencapai nilai maksimum sebesar 39,94% dan 3,31% pada suhu 375°C secara berturut-turut.

Kecenderungan pada grafik tersebut menyatakan bahwa pada suhu 375°C, solar mengalami perengkahan menjadi kerosene dan gasoline sehingga selektivitas kerosene dan gasoline naik mencapai nilai maksimum masing-masing. Namun kenaikan selektivitas gasoline ini tidak signifikan apabila dibandingkan dengan kenaikan selektivitas kerosene. Hal ini karena sebagian gasoline mengalami penguapan pada suhu ini.



Gambar 10. Grafik Selektivitas Terhadap Suhu *Hydrocracking* untuk Katalis Ni/Zn-HZSM-5 dengan Perbandingan Ni:Zn Sebesar 1:4 dan Kandungan Logam Sebesar 4% Katalis Total

Pada gambar 10 terlihat bahwa selektivitas gasoline maksimum tercapai pada suhu 300°C sebesar 22,98% dan turun secara signifikan pada suhu yang lebih tinggi, sedangkan untuk kerosene pada suhu 375°C sebesar 57,58% dan untuk solar pada suhu 400°C sebesar 87,24%. Grafik yang diperoleh menunjukkan fluktuasi nilai selektivitas pada ketiga komponen.

Dari kecenderungan tersebut, dapat dilihat bahwa gasoline telah terbentuk pada suhu di bawah 300°C dan turun pada suhu yang lebih tinggi akibat penguapan ataupun oksidasi karena *purging* yang kurang sempurna di awal reaksi. Sedangkan solar terengah menjadi kerosene pada suhu 375°C, dan gasoline terbentuk lagi dengan selektivitas sebesar 2,94% pada suhu 400°C sebagai hasil perengkahan dari kerosene.

Meninjau hasil perhitungan yang diperoleh dari seluruh percobaan dengan berbagai variabel, selektivitas gasoline tertinggi adalah sebesar 52,42% diperoleh pada penggunaan katalis dengan Ni:Zn sebesar 1:1 dan logam 2% massa total katalis pada suhu 350°C, sedangkan selektivitas kerosene tertinggi diperoleh pada penggunaan katalis yang sama pada suhu 400°C sebesar 86,72%. Kerosene juga mencapai nilai selektivitas yang cukup tinggi pada variabel katalis lainnya dan mencapai nilai maksimum pada kisaran suhu 375-400°C.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Katalis Ni/Zn-HZSM-5 dengan perbandingan Ni:Zn sebesar 1:1 dengan persentase logam 2% massa katalis total akan memberikan selektivitas maksimum pada produksi biofuel.
2. Selektivitas maksimum gasoline sebesar 52,42% tercapai pada suhu 350°C, sedangkan selektivitas maksimum kerosene sebesar 86,72% pada suhu 400°C dengan penggunaan variabel katalis di atas.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh biofuel dengan kualitas yang lebih baik pada suhu yang lebih tinggi dan massa katalis yang lebih besar.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh anggota Laboratorium Teknik Reaksi Kimia Jurusan Teknik Kimia FTI ITS.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budianto, A., Purwanti E., Marta M., dan Retta D.M., (2005), "Pengaruh Suhu Konversi Terhadap Proses Konversi Metana Dengan Katalis Zeolit Termodifikasi", Jurnal IPTEK, Media Komunikasi Teknologi, Volume 8 no 3 Mei 2005, ISSN No 1411-7010, hal. 111-122
- [2] Ødegaard, H. (1992). *Rensing av avløpsvann*, Tapir forlag, Trondheim, Norway (in Norwegian).
- [3] Atkins, P. F., Jr., and Scherger, D. A. (1997). "A review of physicalchemical methods for nitrogen removal from wastewaters." *Progress in Water Technol.*, 8(4-5), 713-719.
- [4] Koon, J. H., and Kaufmann, W. J. (1975). "Ammonia removal from municipal wastewaters by ion exchange." *J. WPCF*, 47(3), 448-464
- [5] Lahav, O., and Green, M. (1998). "Ammonium removal using ion exchange and biological regeneration." *Water Res.*, 32(7), 2019-2028.
- [6] 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
- [7] Nurjannah, Irmawati, Roesyadi, A, Danawati (2009a) "Perengkahan Katalitik Minyak Sawit untuk Menghasilkan Biofuel" *Prosiding Seminar Nasional Waste Based Energy And Chemicals*, Department of Chemical Engineering, Industrial Technology Faculty UPN "VETERAN EAST JAVA"