

# Sintesis Katalis NiMo/ZSM-5 dari Abu Sawit untuk Proses Catalytic Cracking Tandan Kosong Sawit (TKS) menjadi Bahan Bakar Cair

Sunarno<sup>1</sup> dan Silvia Reni Yenti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Teknik Reaksi Kimia  
Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293

<sup>2</sup>Laboratorium Teknologi Produk  
Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293  
E-mail : narnounri@yahoo.com

## Abstract

Petroleum is unrenewable energy. Reducing dependence on petroleum, we need renewable energy alternatives, one of which is bio-oil. Bio-oil can be obtained by cracking catalytic biomass (especially palm empty fruit bunches) using a catalyst. The number of factory CPO (crude palm oil) in Indonesia generate solid waste in the form of oil palm empty fruit bunches and palm ash (fly ash). Fly ash can be used in the manufacture of silica precipitation. Silica can be used in the manufacture of ZSM-5. This research is a synthesis of catalysts for catalytic cracking NiMo/ZSM-5 palm empty fruit bunches into liquid fuels. In this research, nickel molybdenum entrusted to the ZSM-5 (the ratio / Al = 30, ratio = 7.4 NiO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> by impregnation method and then produce a solid product. Solids are dried at 120 °C for 2 hours, calcined at temperatures 500 °C with time-varying calcination is 2.4 hours and 6 hours, oxidized at a temperature of 400 °C for 2 h, and reduced at a temperature of 400 °C for 2 hours to obtain a catalyst and the ratio of NiMo/ZSM-5 with a total weight of metal by 5% by weight of the catalyst and the ratio of NiMo = 1/2. catalyst was analyzed by the BET method (Brunauer Emmett Teller) to determine the surface area and catalytic performance test conducted by the catalytic cracking of palm empty fruit bunches into liquid fuels. derived liquid fuels characterized density, viscosity and flash point. The results of the study, the largest surface area of the catalyst obtained by calcining time of 4 hours is 42.26 m<sup>2</sup> / g and the largest yield obtained using a catalyst with calcination time of 2 hours is 36.8%, yield known characterization density = 1.035 g / ml , viscosity = 10.48 cSt and flash point 51 °C. This yield belonging to the standard characterization of bio-oil

*Key words: BET, calcination, catalytic cracking, NiMo/ZSM-5*

## 1. Pendahuluan

Pada tahun 2010, konsumsi bahan bakar di Indonesia diperkirakan hampir mencapai 2 juta barel/hari jauh melampaui kapasitas produksi nasional 1 juta barel/hari (Hardayanto, 2011). Riau memiliki perkebunan kelapa sawit yang cukup luas. Luas area perkebunan kelapa sawit Indonesia 7,3 juta hektar lebih, sekitar 35% dari luas tersebut ada di daerah Riau kira-kira 2 juta hektar lebih (Mukhtar, 2010). Luasnya lahan kebun kelapa sawit akan menghasilkan biomassa limbah padat sawit. Limbah padat sawit yang dihasilkan berupa cangkang, batang, pelepah

dan lain-lain merupakan sisa dari industri sawit yang belum dimanfaatkan secara optimal (Padil, 2005). Tandan kosong sawit (TKS) merupakan limbah terbesar yang dihasilkan oleh perkebunan kelapa sawit. Jumlah tandan kosong mencapai 30–35% dari berat tandan buah segar (TBS) setiap pemanenan (Hambali dkk, 2007). *Bio-oil* diperoleh melalui proses *pyrolysis*. Proses *pyrolysis* katalitik selektif mampu mengubah secara langsung selulosa ke dalam senyawa yang dapat dipakai untuk membuat bensin. Pada proses pembuatan bahan bakar cair ini, penggunaan katalis ZSM-5 memperlihatkan hasil yang

lebih baik dibanding jenis katalis lainnya (Carlson dkk, 2008).

Penggunaan katalis ZSM-5 (*zeolite socony mobile-5*) memperlihatkan hasil yang lebih baik dibandingkan jenis katalis lainnya. Namun, *yield* yang diperoleh pada penelitian ini masih rendah, yaitu dibawah 50 persen. Carlson menyarankan agar dilakukan kombinasi katalis untuk memperoleh hasil yang lebih baik. Pada penelitian ini dilakukan sintesis katalis NiMo/ZSM-5. Katalis ini diharapkan dapat memiliki aktivitas yang baik. Langkah pertama yang akan dilakukan yaitu sintesis ZSM-5 dengan prosedur yang sama dilakukan Misidian (2009). Kemudian dilanjutkan dengan impregnasi logam Ni-Mo dengan variabel waktu kalsinasi 2, 4, 6 jam, oksidasi dan reduksi. Katalis NiMo/ZSM-5 akan dianalisa luas permukaannya dengan *Brunauer Emmet Teller* (BET) dan diuji kinerjanya pada *pyrolysis* tandan kosong sawit. *Bio-oil* yang diperoleh akan diuji sifat fisiknya.

## 2. Bahan dan Metode

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu *fly ash* PTPN V Sei Galuh, larutan HCl 10 N, NaOH, Al(OH)<sub>3</sub>, aquadest, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O, Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, tandan kosong sawit, gas nitrogen, gas oksigen, gas hidrogen, silinap 280M (PERTAMINA).

### 2.1. Pembuatan silika presipitasi

Bahan baku pembuatan silika yaitu abu terbang sawit (*fly ash*) yang di furnace terlebih dahulu pada suhu 400 °C. Abu terbang sawit diayak (40 dan 60 mesh) untuk mendapatkan abu dengan diameter partikel yang lebih kecil. Pencampuran padat (abu) dan cair (larutan NaOH) dilakukan dengan perbandingan 1:6 (perbandingan massa). Sebanyak 178,33 gram abu dicampurkan dengan larutan NaOH 2N. Campuran tersebut dimasak selama 4 jam di dalam reaktor 2 liter yang dirangkai dengan pengaduk dan kondenser. Suhu reaktor 105 °C dan kecepatan pengadukan 500 rpm. Setelah dipanaskan, campuran dibiarkan dingin dan disaring untuk memisahkan filtrat dan *cake*. Filtrat yang dihasilkan yaitu natrium silikat dan digunakan sebagai sampel untuk tahap presipitasi. Larutan natrium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dipanaskan dalam *waterbath*. Suhu yang digunakan 95 °C, kecepatan pengadukan 100 rpm, dan dengan penambahan HCl 10 N hingga mencapai pH 8,5. Pada pH 8,5 larutan membentuk endapan. Endapan yang terbentuk tersebut dicuci dengan aquadest dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 200 °C, diperoleh silika presipitasi.

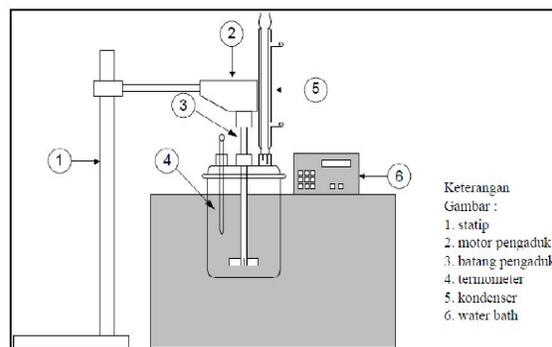
### 2.2. Pembuatan ZSM-5

Sintesis ZSM-5 dilakukan dengan kondisi suhu 175 °C, Si/Al = 30 selama 18 jam. Bahan baku yang digunakan adalah silika presipitasi dan natrium aluminat. Sumber Alumina berupa Natrium Aluminat yang merupakan campuran Al(OH)<sub>3</sub> dan NaOH. Tahapnya adalah sebagai berikut, NaOH dilarutkan dalam 1000 ml aquades, diperoleh larutan NaOH. Al(OH)<sub>3</sub> dimasukkan ke dalam larutan tersebut dan diaduk. Setelah semua Al(OH)<sub>3</sub> larut kemudian larutan didiamkan hingga terbentuk endapan.

Endapan disaring dan dikeringkan dalam oven sampai kadar airnya konstan (Zahrina dkk, 2006 dalam Misidian, 2009). Sintesis ZSM-5 dilakukan dengan cara sebagai berikut, natrium aluminat dilarutkan dengan jumlah tertentu dicampur dengan aquades (suspensi 1). Silika terpresipitasi dengan jumlah tertentu (sesuai nisbah molar SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 30) dicampur dengan aquadest (suspensi 2). Suspensi 3 diperoleh dengan mencampurkan suspensi 1 dan suspensi 2. Selanjutnya, NaOH ditambahkan ke dalam suspensi 3 dengan jumlah tertentu sehingga diperoleh nisbah Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7,4. Suspensi 3 diaduk dan dimasukkan kedalam autoclave selama 18 jam pada suhu 175 °C. Padatan yang terbentuk dicuci dengan aquadest, disaring, dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 110 °C selama 6 jam.

### 2.3. Impregnasi logam Mo dan Ni

Pengembangan dilakukan dengan cara yang sama dilakukan Rodiansono dkk (2007). Pengembangan logam sebesar 5 % dari berat katalis dengan rasio Ni/Mo adalah 1/2. Impregnasi logam dilakukan secara bertahap, yang pertama impregnasi logam molybdenum. Ammonium heptamolybdate dilarutkan dalam aquadest pada labu alas bulat, diperoleh larutan (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O. ZSM-5 ditambahkan kedalam larutan tersebut dan direfluks dalam *waterbath* sambil diaduk selama 12 jam pada temperatur 90 °C. Kemudian larutan disaring untuk mendapatkan padatannya dan dicuci. Padatan yang diperoleh dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 110 °C selama 3 jam dan diperoleh padatan A. Tahap yang kedua adalah impregnasi logam nikel. Nikel nitrat dilarutkan dalam aquadest, diperoleh larutan Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O. Padatan A yang diperoleh pada tahap pertama dilarutkan seluruhnya kedalam larutan Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O. Larutan direfluks dalam *waterbath* sambil diaduk selama 12 jam pada temperatur 90 °C. Larutan kemudian disaring untuk mendapatkan padatannya dan dicuci. Padatan yang diperoleh dikeringkan menggunakan oven selama 3 jam dengan suhu 110 °C dan diperoleh padatan B.

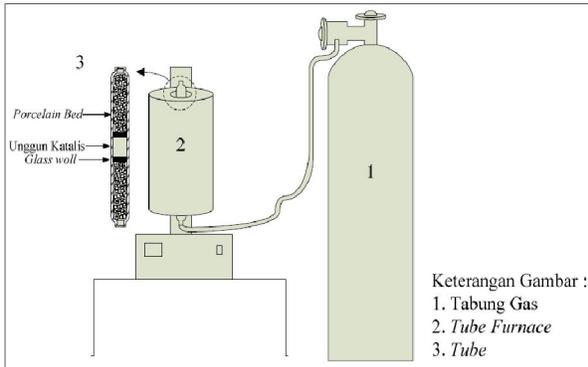


Gambar 1. Skema alat impregnasi logam Ni-Mo

### 2.4. Kalsinasi, oksidasi, dan reduksi

Padatan B yang diperoleh dikalsinasi pada temperatur 500 °C dengan mengalirkan gas N<sub>2</sub>. Waktu kalsinasi divariasikan, yaitu 2, 4 dan 6 jam. Kemudian dioksidasi

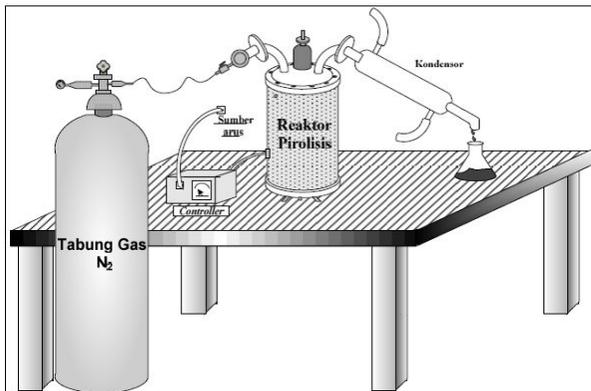
dengan gas O<sub>2</sub> pada temperatur 400 °C selama 2 jam, dan direduksi dengan gas H<sub>2</sub> pada temperatur 400 °C selama 2 jam.



**Gambar 2.** Skema alat kalsinasi, oksidasi dan reduksi

### 2.5. Uji kinerja katalis NiMo/ZSM-5

Untuk mengetahui kinerja katalis, NiMo/ZSM-5 diuji dengan melakukan *pyrolysis* tandan kosong sawit (TKS) yang mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Irfan (2010). Langkah pengujiannya adalah sebagai berikut, pertama tandan kosong sawit yang telah dipotong kecil-kecil ± 5 mm ditimbang dan dimasukkan ke dalam reaktor. *Thermal oil* sebanyak 500 ml (silinap 280 M) dan katalis NiMo/ZSM-5 1%-wt dari berat tandan kosong sawit ditambahkan kedalamnya. Suhu alat dihidupkan pada temperatur 320 °C dan kecepatan pengadukan 400 rpm. Gas Nitrogen dialirkan ke dalam reaktor. Hasil dari proses tersebut diperoleh uap organik, gas dan arang. Uap organik dan gas dikondensasi menjadi *bio-oil*. *Bio-oil* yang diperoleh dicatat massanya. Persentase jumlah massa yang tercatat dibanding jumlah tandan kosong sawit yang dimasukkan kedalam reaktor disebut *yield bio-oil*. Kemudian langkah pengujian ini diulangi dengan variasi NiMo/ZSM-5 lainnya.

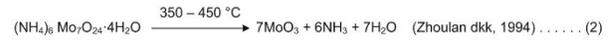


**Gambar 3.** Rangkaian alat cracking tandan kosong sawit dengan proses *pyrolysis*

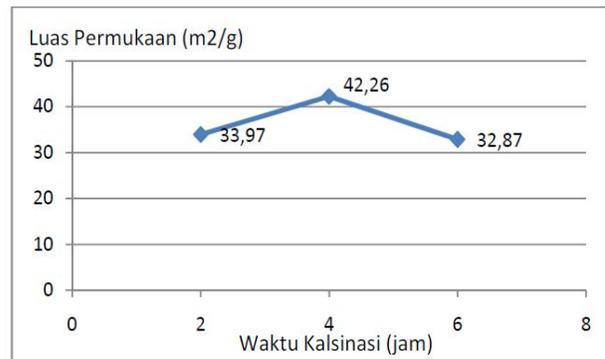
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Pengaruh waktu kalsinasi terhadap luas permukaan

Kalsinasi adalah proses pemanasan dengan suhu tinggi. Tujuan kalsinasi pada katalis untuk mendekomposisi garam menjadi bentuk oksidanya, menaikkan stabilitas mekanik dan menghilangkan kadar air yang masih tersisa (Lestari, 2006). Pada penelitian ini, suhu kalsinasi yang digunakan 500 °C, hal ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Rodiansono dkk (2007). Lestari dalam tesisnya melaporkan bahwa suhu kalsinasi optimal pada rentang 673-873 K, suhu dibawah 673 K tidak memberikan hasil yang baik terhadap aktivitas katalis, sedangkan suhu diatas 873 K, dapat mengakibatkan sintering yang akan merusak fasa aktif katalis. Proses kalsinasi mendekomposisikan garam logam menjadi logam oksida. Dibawah ini reaksi yang terjadi selama proses kalsinasi :

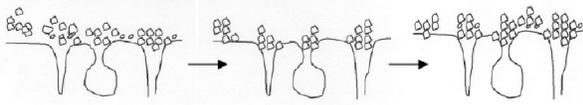


Pada grafik dibawah ini kita dapat melihat hubungan waktu kalsinasi terhadap luas permukaan dari katalis.



**Gambar 4.** Hubungan waktu kalsinasi terhadap luas permukaan

Pada waktu kalsinasi 2 jam, luas permukaan katalis 33,97 m<sup>2</sup>/g. Pada waktu kalsinasi 4 jam, luas permukaan katalis meningkat mencapai 42,26 m<sup>2</sup>/g. Hal ini menjelaskan bahwa pengotor dan air keluar dari katalis. Sedangkan pada waktu kalsinasi 6 jam, luas permukaan katalis turun menjadi 32,87 m<sup>2</sup>/gr. Ada beberapa alasan yang dapat menjelaskan hal ini. Menurut peneliti, kemungkinan terjadi penyebaran logam nikel-molibdenum yang tidak merata pada permukaan ZSM-5 dan menutupi mulut pori atau saluran pori yang menyebabkan luas permukaan aktif katalis menurun. Akumulasi atau penumpukan logam pada saluran pori disebut *sintering* (Handoko, 2002). Handoko mengilustrasikan peristiwa ini pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Peristiwa sintering

Aglomerasi atau peristiwa penggumpalan partikel kecil membentuk partikel besar. Pada penelitian ini, kemungkinan terjadi aglomerasi pada saat pendistribusian logam. Aglomerasi tidak diinginkan terjadi karena akan mengurangi luas fasa aktif katalis. Hal yang mungkin terjadi yang menyebabkan penurunan luas permukaan ini adalah semakin lama waktu kalsinasi dapat menyebabkan deaktivasi fasa aktif atau bahkan penyanga (ZSM-5). Temperatur *elevation* mendorong  $N_2$  bereaksi dengan chromium, silicon, titanium, aluminium, boron, calcium, strontium, beryllium, magnesium dan lithium membentuk *nitrides* (Othmer, 1998). Selain itu, pada temperatur yang tinggi,  $N_2$  dan  $O_2$  bereaksi membentuk NO. ZSM-5 yang memiliki komposisi  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  dan  $Na_2O$ , seiring meningkatnya waktu kalsinasi, kemungkinan sebagian dari Si, Al, dan O bereaksi dengan  $N_2$  setelah terjadi dekomposisi nikel nitrat dan ammonium heptamolybdate.

Menurut peneliti, waktu kalsinasi yang terlalu lama dapat mengurangi luas permukaan sehingga berakibat pada aktivitas dan selektivitas dari katalis. Waktu kalsinasi yang baik untuk luas permukaan katalis adalah waktu kalsinasi 4 jam sehingga diperoleh luas permukaan yang besar yaitu  $42,26 \text{ m}^2/\text{g}$ .

### 3.2. Pengaruh luas permukaan dengan *yield*

Perlu pengujian untuk mengetahui aktivitas katalis. Pengujian dilakukan dengan *cracking* tandan kosong sawit menjadi bahar bakar cair dengan proses pirolisis. Hasil dari proses tersebut diperoleh uap organik, gas dan arang. Uap organik dan gas dikondensasi menjadi *bio-oil*. *Bio-oil* yang diperoleh dicatat massanya. Persentase jumlah massa yang tercatat dibanding jumlah tandan kosong sawit yang dimasukkan kedalam reaktor disebut *yield bio-oil*. Tabel 1 menunjukkan hubungan waktu kalsinasi katalis terhadap *yield bio-oil*.

**Tabel 1.** Hubungan luas permukaan terhadap *yield bio-oil*

Waktu Kalsinasi (jam)	Luas Permukaan ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Yield (%)
2	33,97	36,8
4	42,26	34,2
6	32,87	32,8

Dari Tabel 1 menunjukkan *yield* pirolisis biomassa tandan kosong sawit menjadi *bio-oil* menggunakan katalis NiMo/ZSM-5. *Yield* yang diperoleh sebesar 36,8 %, 34,2 %, dan 32,8 %. Angka ini lebih besar dari *yield* yang diperoleh oleh Carlson dkk (2008) yaitu sebesar 31 %. Dari Tabel 1 *yield* yang diperoleh menggunakan katalis dengan waktu kalsinasi 2 jam lebih besar dari waktu kalsinasi 4 dan 6 jam. Hal ini sangat mungkin terjadi.

Selama proses pirolisis peningkatan kemungkinan tumbukan pada dinding reaktor atau semakin banyak produk yang saling bertumbukan satu dengan yang lain, hal ini menyebabkan terbentuknya rantai hidrokarbon yang justru lebih tinggi sehingga sulit untuk dipecahkan kembali dan menyebabkan produk cair menurun sedangkan produk berupa gas terbentuk lebih banyak (Setiaji dkk, 2005).

Menurut Siswodiharjo (2006), dalam pemutusan ikatan hidrokarbon yang dengan berat molekul yang lebih besar menghasilkan produk cair hidrokarbon dengan berat molekul yang lebih kecil, gas, dan kokas, telah terjadi kompetisi antara produk cair dengan produk gas yang dihasilkan. Besarnya produk gas yang terbentuk mengakibatkan produk cair menjadi kecil. Dari Tabel 1, menurut peneliti telah terjadi penurunan aktivitas katalis pada waktu kalsinasi 4 dan 6 jam. Pada waktu kalsinasi 4 jam, air dan pengotor semakin banyak yang keluar dari katalis sehingga memperbesar luas permukaan dari katalis tapi ada hal lain yang tidak diinginkan yang mungkin terjadi seiring meningkatnya waktu kalsinasi, misalnya kerusakan sebagian pada struktur ZSM-5. Rusaknya struktur ini kemungkinan karena sebagian dari Si, Al dan O pada ZSM-5 bereaksi dengan  $N_2$ , hal ini berakibat pada penurunan aktivitas katalis dalam mengkonversi tandan kosong sawit menjadi *bio-oil*. Penurunan aktivitas katalis ini semakin besar seiring bertambahnya waktu kalsinasi dari katalis, hal ini dapat dilihat pada Tabel 1, dengan waktu kalsinasi 6 jam menghasilkan *yield* 32,8%. Dari hasil penelitian ini, peneliti menyimpulkan bahwa waktu kalsinasi 2 jam menghasilkan katalis yang mampu mengkonversi dengan *yield bio-oil* 36,8%.

### 3.3. Hasil karakterisasi *bio-oil*

*Bio-oil* yang diperoleh kemudian dikarakterisasi sifat-sifatnya. Karakterisasi yang dilakukan meliputi penentuan massa jenis, viskositas (ASTM D-445) dan titik nyala (ASTM D-92). Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil perbandingan karakterisasi sifat *bio-oil* dengan literatur

No.	Parameter	Standar Bio-oil (Smallwood, 2008)	Bio-oil dengan katalis NiMo/ZSM-5
1	Massa Jenis, gr/ml	0,94-1,2	1,035
2	Viskositas, cSt	10-150	10,48
3	Titik Nyala, °C	48-55	51

Dari data pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa penggunaan katalis NiMo/ZSM-5 pada proses pirolisis tandan kosong sawit dapat menghasilkan kualitas *bio-oil* yang cukup baik seperti massa jenis, viskositas, dan titik nyala. Dengan massa jenis yang lebih kecil, penggunaan *bio-oil* sebagai bahan bakar akan menguntungkan karena

lebih ringan. Viskositas yang rendah juga memudahkan *bio-oil* mengalir dari tangki bahan bakar ke mesin pembakaran. Selain itu, titik nyala yang tidak terlalu rendah membuat *bio-oil* tidak mudah terbakar pada suhu lingkungan dan juga tidak memerlukan *ignition* dengan suhu yang terlalu tinggi. Dengan demikian *bio-oil* yang dihasilkan dari *cracking* tandan kosong sawit dengan katalis NiMo/ZSM-5 memenuhi standar *bio-oil*.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa luas permukaan yang paling besar diperoleh katalis NiMo/ZSM-5 dengan waktu kalsinasi 4 jam, dengan luas permukaan sebesar 42,26 m<sup>2</sup>/g. *Yield bio-oil* yang lebih besar diperoleh pada *cracking* tandan kosong sawit menjadi *bio-oil* menggunakan katalis NiMo/ZSM-5 dengan waktu kalsinasi 2 jam yaitu sebesar 36,8%. Hasil karakterisasi *bio-oil* diketahui densitas = 1,035 g/ml, viskositas = 10,48 cSt, dan titik nyala 51 °C. Hasil karakterisasi ini masuk dalam standar *bio-oil*.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Riau yang telah memberikan bantuan dana pada penelitian ini melalui DIPA Universitas Riau Tahun Anggaran 2010 dengan No. Kontrak 99/H19.2/PL/2010 Tanggal 16 April 2010.

#### Daftar Pustaka

- Carlson, T. R., Vispute T. P., dan Huber G. W., 2008, Green Gasoline by Catalytic Fast Pyrolysis of Solid Biomass Derived Compounds, *ChemSusChem*, 1, Hal 397- 400, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Elmasry, M. A. A., Gaber, A., Khater, M. H., 1998, Thermal Decomposition Of Ni(II) And Fe(III) Nitrates And Their Mixture, *Journal of thermal analysis*, vol 52, no 489-495.
- Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A. H., Pattiwiri, A. W., dan Hendroko, R., 2007, *Teknologi Bio-energi*, Agromedia, Jakarta.
- Handoko, D. S. P., 2002a, Preparasi Katalis Cr/Zeorlit Melalui Modifikasi Zeolit Alam, *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol. 3, No. 1, hal 15-23.
- Handoko, D. S. P., 2002b, Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal dan Impregnasi Logam Kromium Pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis, *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol. 3, no. 2, hal 103-109.
- Hardayanto, M., 2011, Hadapi Krisis energi, Indonesia Siapkan Bauran Energi 2025, <http://ekonomi.kompasiana.com/bisnis/2011/02/2>

[5/hadapi-krisisenergi-indonesia-siapkan-bauran-energi-2025/](#), 12 Maret 2011.

- Irfan, M., 2010, Pirolysis Tandan Kosong Sawit dengan Katalis CoMo/ZSM-5 Menjadi Bio-Oil, *Laporan Penelitian*, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru.
- Lestari, H. D., 2006, Sintesis Katalis Ni/Mo untuk Hydro-treating Coker Nafta, *Tesis*, Institut Teknologi Bandung.
- Misdian, D., 2009, Pembuatan Como/ZSM-5 Dari Abu Sawit Sebagai Katalis Pada Pengolahan Biomassa Menjadi Bahan Bakar Cair, *Laporan Penelitian*, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Mukhtar, 2010, 2014, Perkebunan Kelapa Sawit di Indonesia Diprediksi Capai 10 Juta Hektar, <http://riaubisnis.com/index.php/agriculture-mainmenu-109/pertanian-news/42-pertanian/843-2014-perkebunan-kelapa-sawit-diindonesia-diprediksi-capai-10-juta-hektar>, 14 Maret 2011.
- Othmer, Kirk, 1998, Encyclopedia Of Chemical Technology, Four Edition, John Wiley & Son Inc.
- Padil, 2005, Rancangan Proses Pengolahan Limbah Padat Sawit Menjadi Asap Cair (Liquid Smoke), *Prosiding Seminar Teknik Kimia – Teknologi Oleo dan Petrokimia Indonesia (STK-TOPI)*, Pekanbaru, 21 Desember 2005.
- Rodiansono, Trisunaryanti, W., dan Triyono, 2007, Pembuatan, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis NiMo/Z dan NiMo/Z-Nb2O5 Pada Reaksi Hidro-rengkah Fraksi Sampah Plastik Menjadi Fraksi Bensin, *Berkala MIPA*, 17(2).
- Setiaji, B., Tahir, I., Wahidiyah, D. R. N., 2006, Pemisahan Komponen Tar Batubara Dengan Kolom Faksinasi Menggunakan Fasa Diam Zeolit-Mn, *Berkala MIPA*, 16(1).
- Siswodiharjo, 2006, Reaksi Hidrorengkah Katalis Ni/Zeorlit, Mo/Zeorlit, Ni-Mo/Zeorlit Terhadap Parafin, *skripsi*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Zahrina, I., Saputra, E., Evelyn, Santoso, I. A., Ramelo, R., 2006, Sintesis ZSM-5 Tanpa Templat Menggunakan Silika Terpresipitasi Asal Abu Sawit Sebagai Sumber Silika, *Jurnal Natur Indonesia*, Volum 9, No. 2, Lembaga Penelitian Universitas Riau, Pekanbaru.
- Zhoulan, Yin., Xinhai, Li., Qinsheng, Zhao., Shaoyi, Chen., 1994, Thermal Decomposition Of Ammonium Molybdate Mixture, *Transactions Of NFsoc*, Volum 3, No. 3.