

PERAN KATALIS Ni/NZA PADA PROSES *PYROLYSIS* AMPAS UBI KAYU MENJADI *BIO-OIL*

Jefriadi, Syaiful Bahri, Sunarno

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

uje_ikhwan88@yahoo.co.id

Abstract

Current of national energy problem is the tendency of fossil energy consumption increases. This led to the use of fossil energy is too dominant. Therefore, strategic steps to resolve the nation's energy problems is needed such as renewable energy development, one of which is the processing of biomass into bio-oil by pyrolysis method in the presence of Ni/NZA. The purpose of this research was study the effect of supported of Ni metal levels on NZA on resulting yield, knowing the physical and chemical characteristics of bio-oil. Cassava dregs pyrolysis with Ni/NZA catalyst in pyrolysis reactor with cassava dregs size -60+80 mesh 50 grams with 500 mL silinap and supported of metals with various levels of Ni 0%, 1%, 2%, 3% and 4% w/w on NZA with stirring speed of 300 rpm and a temperature of 320 ° C for 120 minutes without the presence of oxygen. Yield the greatest value present in 2% of Ni/NZA for 61.87%. Characteristic physical properties that was obtained are density 0,872-0,956 g/mL, acidity 0,053-0,078 g NaOH/g, flash point 44-48 °C, and calorific value 42.55-46.78 MJ kg. For GC-MS results obtained by the dominant chemical components are 2,4,4-trimethyl-2-Pentene; 3,5-dimethyl-Heptane; 1-bromo-3-methyl-Cyclohexane; 3-(3,3-dimethylbutyl)-Cyclohexanone.

Keywords: bio-oil, cassava dregs, Ni/NZA, pyrolysis

1. Pendahuluan

Masalah energi nasional yang mendasar saat ini adalah kecenderungan konsumsi energi fosil yang semakin besar, energi mix yang masih timpang, dan harga minyak dunia yang tidak menentu. Energi mix adalah proporsi berbagai jenis energi yang digunakan secara nasional. Adanya ketimpangan energi mix menyebabkan terjadinya penggunaan salah satu jenis energi yang terlalu dominan. Pada tahun 2003, penggunaan energi yang berasal dari minyak bumi masih sekitar 54,4%, sedangkan porsi sisanya menggunakan lebih dari empat jenis energi lainnya, yaitu gas bumi, batubara, dan lainnya. Secara lebih rinci, proporsi penggunaan gas bumi adalah 26,5%, batubara 14,1%, tenaga air 3,4%, panas bumi 1,4%, sedangkan penggunaan energi lainnya

termasuk bahan bakar nabati atau *biofuel* hanya sekitar 0,2% [Menteri Koordinator Bidang Perekonomian, 2006]. Artinya, Indonesia sangat tergantung terutama pada ketersediaan minyak bumi. Ketimpangan energi mix ini mengakibatkan beban nasional semakin berat, sehingga memerlukan langkah-langkah strategis untuk mengatasinya.

Agenda nasional mengenai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam jangka pendek 5 tahun ke depan juga telah menyinggung masalah energi, terutama adalah pengembangan energi terbarukan [Kadiman dan Kusmayanto, 2006]. Hal ini tentu sejalan dengan langkah-langkah strategis untuk mengatasi masalah energi nasional. Jika disinggung masalah energi terbarukan, maka selain sumber energi

alternatif seperti angin, surya, gelombang dan lainnya, tentu juga akan mengarah kepada sumber alternatif lainnya yaitu bahan bakar nabati (BBN). BBN adalah semua bahan bakar yang berasal dari minyak nabati. BBN dapat berupa biodiesel, bioetanol, *bio-oil* (minyak nabati murni).

Ampas ubi kayu merupakan limbah padat agro-industri pembuatan tepung tapioka. Produksi ubi kayu nasional Indonesia pada tahun 2010 mencapai 23.918.118 ton [Departemen Pertanian, 2012]. Data ubi kayu tersebut bila dikonversi menjadi ampas ubi kayu, maka ampas ubi kayu merupakan salah satu limbah industri yang ketersediaannya melimpah. Pada tahun 2010, terjadi kenaikan angka produksi ampas ubi kayu yaitu sebesar 2.521.249,308 ton [Hidayat, 2010]. Ampas ubi kayu yang tidak dimanfaatkan dapat berpotensi menjadi polutan yang mengakibatkan masalah lingkungan di daerah sekitar pabrik.

Pengolahan ampas ubi kayu perlu dilakukan agar ampas ubi kayu tidak menjadi masalah bagi lingkungan. Salah satunya dengan mengkonversinya menjadi *bio-oil* dengan cara *pyrolysis* sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomisnya serta bisa menjadi satu langkah strategis untuk mengatasi masalah energi nasional.

Di sisi lain, menurut data BAPPENAS (2010), Indonesia memiliki cadangan zeolit alam yang cukup banyak, yaitu sebesar 207 juta ton, namun mineral zeolit tersebut belum dimanfaatkan secara optimal. Dan penggunaan Nikel (Ni) sebagai promotor yang akan diembankan pada zeolit alam aktif atau *Natural Zeolite Active* (NZA) merupakan pilihan yang bagus karena Ni banyak tersedia dan harganya murah. Untuk itu, pada penelitian ini menggunakan logam Ni yang diembankan pada NZA sebagai katalis untuk proses *pyrolysis* ampas ubi kayu menjadi *bio-oil*.

2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Zeolit Alam, HCl 6 N, NH₄Cl 1 N,

Ni(NO₃)₂ · 9H₂O, aquades, AgNO₃, gas N₂, O₂, H₂, ampas ubi kayu, dan silinap 280M (*thermo-oil*). Dan Alat-alat yang digunakan yaitu lumpang porcelain, pengayak 60, 80, 100, dan 200 mesh, reaktor alas datar ukuran 1 L, satu set motor pengaduk, oven, *furnace tube*, timbangan analitik, tabung serta regulator gas N₂, O₂, H₂, reaktor *pyrolysis*, *condenser*, *heating mantle*, *thermocouple thermometer* (Barnant), pignometer, *viskometer* Oswald, gelas piala, pengaduk listrik (*Heidolph*), *Cleveland flash point tester*, dan buret. Tahapan penelitian ini terdiri dari pembuatan katalis Ni/NZA dan pembuatan *bio-oil*.

Pembuatan katalis Ni/NZA

Sintesis Ni/NZA mengacu pada prosedur yang telah dilakukan oleh Marita (2010). Tahap pertama yaitu pengecilan ukuran zeolit alam dengan cara digerus dengan lumpang porcelain, kemudian diayak dengan ukuran ayakan -100+200 mesh. Selanjutnya dilakukan aktivasi zeolit alam dengan cara zeolit alam sebanyak 200 gram direndam dalam 500 mL larutan HCl 6 N diatas pemanas pada suhu 50°C selama 30 menit sambil diaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 L, kemudian disaring dan dicuci berulang kali sampai tidak ada ion Cl⁻ yang terdeteksi oleh larutan AgNO₃, *cake* dikeringkan pada suhu 130°C selama 3 jam dalam oven. Sampel tersebut kemudian direndam kembali dalam 500 ml larutan NH₄Cl 1 N diatas pemanas pada suhu 90°C sambil diaduk pada reaktor alas datar selama 3 jam sehari yang dilakukan sampai satu minggu. Sampel tersebut kemudian disaring dan dicuci setelah itu dikeringkan dalam oven selama 24 jam. Pada tahap ini didapat sampel yang dinamai dengan sampel NZA.

Selanjutnya dilakukan impregnasi logam Ni dengan cara sampel NZA direndam dalam 500 mL larutan Ni(NO₃)₂ · 9H₂O diatas pemanas pada suhu 90°C selama 6 jam sambil diaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 L, kemudian disaring dan dicuci. *Cake* kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C

selama 3 jam (diperoleh sampel Ni/NZA). Pengembanan logam divariasikan sebesar 0; 1; 2; 3; dan 4% b/b terhadap sampel NZA.

Setelah itu dilakukan kalsinasi, oksidasi dan reduksi dengan cara sampel katalis dimasukkan ke dalam *tube*, ke dalam *tube* sebelumnya telah diisi dengan *porcelainbed* sebagai *heatcarry* dan penyeimbang unggun katalis, diantara *porcelainbed* dengan unggun katalis diselipkan *glasswool*. *Tube* ditempatkan dalam *tube furnace* secara vertikal, dikalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam sambil dialirkan gas nitrogen dengan kecepatan ± 400 mL/menit, dilanjutkan dengan oksidasi pada suhu 400°C menggunakan gas oksigen dengan kecepatan ± 400 mL/menit selama 2 jam dan reduksi pada suhu 400°C menggunakan gas hidrogen dengan kecepatan ± 400 mL/menit selama 2 jam.

Persiapan biomassa

Tahapan ini merupakan tahap persiapan biomassa sebagai *feedstock* di dalam reaktor *pyrolysis*. Ubi kayu dikupas, kemudian diparut untuk memperkecil ukuran, didapatkan ubi kayu dengan ukuran yang lebih halus dalam keadaan basah (masih banyak mengandung air). Setelah itu ubi kayu diperas untuk kemudian diambil ampasnya, selanjutnya ampas ubi kayu dijemur selama 3 hari setelah itu dikeringkan dengan oven pada suhu 120 °C sampai beratnya konstan. Ampas ubi kayu yang telah kering kemudian dihaluskan dengan blender dan disaring dengan ayakan -60+80 mesh, sehingga didapatkan ampas ubi kayu ukuran -60+80 mesh.

Sintesis *bio-oil*

Ampas ubi kayu yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram beserta 500 ml *thermo-oil* (silinap) dan katalis Ni/NZA sebanyak 1,5 gram, dimasukkan ke dalam reaktor *pyrolysis*. *Pyrolysis* dilakukan pada suhu 320°C tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen 80 mL/menit. Kecepatan pengadukan 300 rpm. Uap keluaran reaktor akan melalui

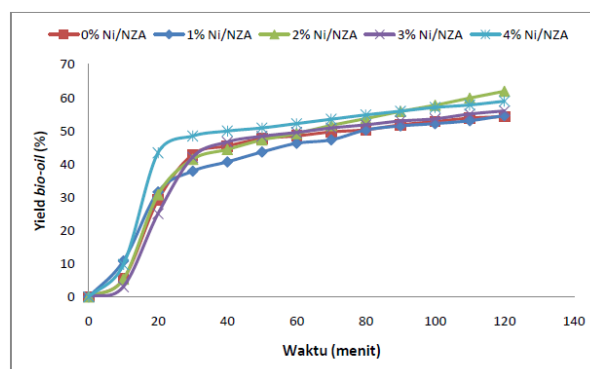
kondensor untuk dikondensasikan menjadi *bio-oil*. *Bio-oil* keluaran kondensor ditimbang beratnya setiap 10 menit sampai 120 menit (2 jam). Data massa total *bio-oil* setelah 120 menit tersebut digunakan untuk menentukan perolehan *yield bio-oil* yang dihasilkan.

Analisa produk

Produk *bio-oil* yang dihasilkan dianalisa karakteristik fisiknya yang meliputi densitas, angka keasaman, titik nyala dan nilai kalor. Juga dilakukan uji karakteristik kimia menggunakan GC-MS.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengaruh kadar logam Ni pada katalis Ni/NZA terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan. Pada penelitian ini, pengembanan logam Ni pada NZA yaitu sebesar 0; 1; 2; 3; dan 4% b/b. Untuk mengetahui pengaruh kadar pengembanan logam Ni pada NZA terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan, maka dilakukan dengan membandingkan *yield bio-oil* yang dihasilkan dari masing masing kadar pengembanan logam Ni pada NZA.



Gambar 1. Hubungan antara *Yield Bio-oil* terhadap Waktu dengan Pengembanan logam Ni (0; 1; 2; 3 dan 4 %b/b) pada NZA

Yield bio-oil yang diperoleh pada masing-masing kadar pengembanan logam Ni berturut-turut adalah 0% Ni/NZA (54,27%); 1% Ni/NZA (54,59%); 2% Ni/NZA (61,87%); 3% Ni/NZA (56,02%); dan 4% Ni/NZA (58,84%). Secara keseluruhan, *yield bio-oil* yang dihasilkan dengan pengembanan logam Ni lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pengembanan logam Ni (0% Ni/NZA).

Distribusi Ni yang merata pada permukaan zeolit akan meningkatkan luas permukaan aktif dari zeolit, sehingga keasaman dari katalis akan semakin tinggi. Katalis dengan keasaman yang tinggi memiliki aktifitas dan selektivitas yang tinggi terhadap produk dari hasil reaksi katalitik [Setiadi dan Pertiwi, 2007]. *Yield bio-oil* terbesar dihasilkan pada *pyrolysis* dengan 2% Ni/NZA (61,87%).

Pengembangan logam Ni pada NZA diharapkan mampu meningkatkan nilai *yield bio-oil* yang dihasilkan. Namun pada penelitian ini, pengembangan 3 dan 4% Ni pada NZA menghasilkan *yield* yang lebih rendah dibandingkan dengan pengembangan 1% Ni. Marita (2010) menyampaikan bahwa semakin tinggi konsentrasi logam yang diimbangkan maka logam yang terimpregnasi pada sampel katalis semakin menurun. Fenomena tersebut kemungkinan disebabkan karena pada konsentrasi logam yang relatif tinggi terjadi kompetisi antara partikel yang satu dengan yang lain untuk dapat berdifusi ke dalam pori pengembangan. Keadaan yang saling berdesakan ini akan menghalangi mulut pori pengembangan sehingga berakibat semakin sedikit logam yang dapat lolos dan berdifusi ke dalam pori suatu pengembangan, sehingga aktivitas dari katalis mengalami penurunan [Setyawan dan Handoko, 2002].

Karakterisasi *Bio-oil*

Karakteristik fisika. *Bio-oil* yang diperoleh kemudian di karakterisasi sifat fisiknya. Karakterisasi sifat fisika terdiri dari pengujian densitas, angka keasaman, titik nyala, dan nilai kalor. Karakteristik fisika dari *bio-oil* dengan menggunakan katalis Ni/NZA dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Karakteristik Sifat Fisika (*Physical Properties*) *Bio-oil* dari Ampas Ubi Kayu dengan Menggunakan Katalis Ni/NZA

Sifat Fisika	Kadar Pengembangan Logam Ni pada NZA (%)				
	0	1	2	3	4
Densitas, gr/mL @30°C	0,922	0,872	0,894	0,956	0,934
Angka Keasaman, gr NaOH/gr sampel	0,064	0,068	0,078	0,057	0,053
Titik Nyala, °C	44	48	46	44	47
Nilai Kalor, MJ/kg	46,78	45,48	44,68	43,23	42,55

Hasil karakterisasi *bio-oil* dengan katalis Ni/NZA, dibandingkan dengan hasil karakterisasi sifat fisika *bio-oil* dari penelitian Khor (2009), Smallwood (2008), dan Garcia-Perez (2002), serta dibandingkan juga dengan standar *bio-oil* berdasarkan ASTM D7544 - 12. Perbandingan karakteristik sifat fisika *bio-oil* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan Karakteristik Sifat Fisika *Bio-oil* dengan Penelitian *Bio-oil* lainnya.

Peneliti	Sifat Fisika				
	Densitas (gr/mL)	Angka Keasaman (gr NaOH/gr sampel)	Titik Nyala (°C)	Nilai Kalor (MJ/kg)	Biomassa
Jefriadi, 2012	0,872-0,956	0,053-0,078	44-48	42,55-46,78	Ampas Ubi Kayu
Khor, 2009	1,031	102,9 (mg KOH/gr)	65	31,44	Tandan Kosong Sawit
Smallwood, 2008	0,94-1,2	-	48-55	16,5-17,5	-
Garcia-Perez, 2002	1,195	0,082	>90	22,4	Ampas (Bagas) Tebu
Standar <i>Bio-oil</i> ASTM D7544-12	1,1-1,3	-	min. 45	min. 15	-

Densitas *bio-oil* yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 0,872-0,956 gr/mL. Nilai densitas ini menunjukkan perbandingan berat persatuan volume *bio-oil*, karakteristik ini dapat digunakan untuk mengetahui nilai kalor yang dihasilkan persatuan volume dan dapat juga digunakan untuk mengetahui nilai dari sifat fisika lain dari *bio-oil*. Nilai densitas pada penelitian ini cukup rendah atau berada di batas terendah dari nilai densitas pada penelitian Smallwood (2008). Nilai densitas pada penelitian ini berada dibawah batas minimal nilai densitas standar *bio-oil* (1,1-1,3 gr/mL). Yang paling mendekati standar *bio-oil* adalah nilai densitas pada sampel 3% Ni/NZA (0,956 gr/mL).

Angka keasaman *bio-oil* yang diperoleh berkisar antara 0,053-0,078 gr NaOH/gr sampel. Angka keasaman menunjukkan banyaknya basa yang dibutuhkan untuk menetralkan asam-asam yang terdapat pada sampel *bio-oil*. Angka keasaman tertinggi diperoleh pada penggunaan katalis 2% Ni/NZA sebesar 0,078 gr NaOH/gr sampel. Angka keasaman dari *bio-oil* pada penelitian ini cukup rendah, yang

menunjukkan kandungan asam dari *bio-oil* yang dihasilkan sedikit.

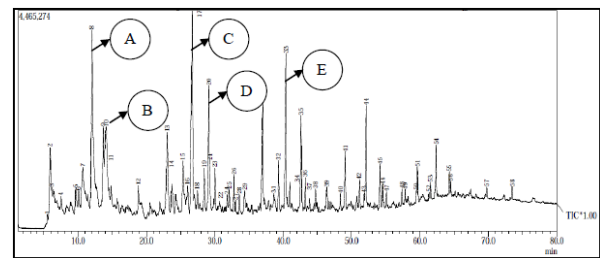
Titik nyala yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 44-48°C. Titik nyala adalah suhu terendah ketika campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar. Titik nyala tertinggi diperoleh pada *bio-oil* dengan katalis 1% Ni/NZA sebesar 48°C. Titik nyala *bio-oil* pada penelitian ini cukup rendah dibandingkan titik nyala *bio-oil* pada penelitian-penelitian sebelumnya. Titik nyala berhubungan dengan keamanan, terutama dalam penanganan dan penyimpanan bahan bakar tersebut. Titik nyala tinggi akan memudahkan penanganan bahan bakar, karena bahan bakar tidak perlu disimpan dalam suhu rendah. Sebaliknya bahan bakar dengan titik nyala rendah akan membahayakan karena tingginya resiko terbakar. Jika dibandingkan dengan nilai titik nyala standar *bio-oil*, dapat dilihat bahwa nilai titik nyala pada sampel 0% dan 3% Ni/NZA (44 °C) berada dibawah batas nilai titik nyala standar *bio-oil* (min. 45 °C), sementara nilai titik nyala pada sampel 1; 2 dan 4% Ni/NZA (48, 46, dan 47 °C) berada dalam batas nilai titik nyala standar *bio-oil*.

Nilai kalor yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 42,55-46,78 MJ/kg. Nilai kalor adalah ukuran energi yang terdapat dalam tiap satuan mol atau berat. Nilai kalor tertinggi diperoleh pada *bio-oil* dengan katalis 0% Ni/NZA sebesar 46,78 MJ/kg. Nilai kalor *bio-oil* pada penelitian ini lebih tinggi dibanding nilai kalor *bio-oil* pada penelitian-penelitian sebelumnya. Nilai kalor *bio-oil* yang diperoleh pada penelitian ini sudah masuk bahkan ada yang melebihi batas nilai kalor bahan bakar minyak yang umumnya berkisar antara 10.160-11.000 kkal/kg atau sama dengan 42,54-46,05 MJ/kg [Wiratmaja, 2010]. Hal ini menunjukkan bahwa *bio-oil* yang dihasilkan sudah mengarah kepada *biofuel* atau bahan bakar.

Karakteristik *bio-oil* yang dihasilkan secara umum masih berada dalam batas nilai standar, kecuali nilai densitas yang berada dibawah nilai standar dan ada juga nilai titik

nyala (44 °C) dari 2 sampel (0 dan 3% Ni/NZA) yang berada dibawah batas nilai standar.

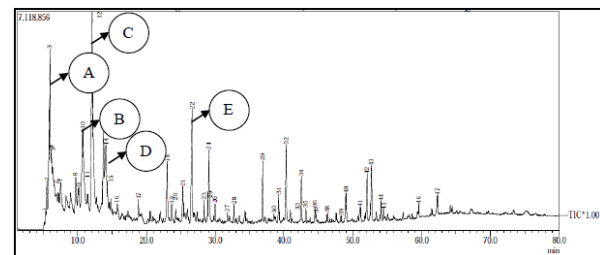
Komponen kimia *bio-oil*. Untuk analisa komponen kimia *bio-oil* dilakukan dengan metode GC-MS. Hasil kromatogram dari sampel-sampel *bio-oil* yang dihasilkan beserta 5 komponen dengan area (%) paling besar dari setiap sampel dapat dilihat pada Gambar 2 sampai Gambar 6.



Gambar 2. Kromatogram *Bio-oil* Ampas Ubi Kayu Menggunakan Katalis 0% Ni/NZA

Dari Gambar 2, *bio-oil* yang dihasilkan mengandung 58 komponen kimia, dimana:

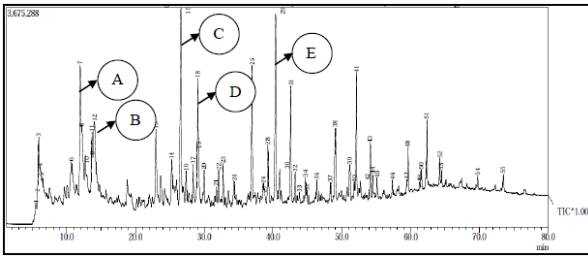
- A = 2,4,4-trimethyl-2-Pentene (11,38%)
- B = 3,5-dimethyl-Heptane (6,24%)
- C = 1-bromo-3-methyl-Cyclohexane (11,36%)
- D = 2-methyl-1-Propene, tetramer (5,48%)
- E = 3-(3,3-dimethylbutyl)-Cyclohexanone (7,39%)



Gambar 3. Kromatogram *Bio-oil* Ampas Ubi Kayu Menggunakan Katalis 1% Ni/NZA

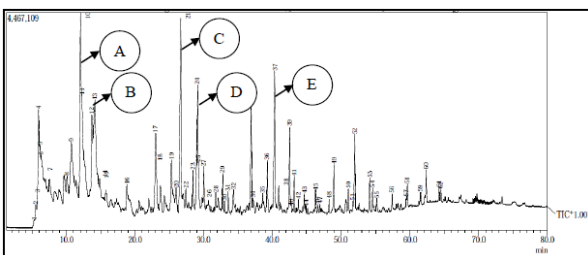
Dari Gambar 3, *bio-oil* yang dihasilkan mengandung 47 komponen kimia, dimana:

- A = 2,4,4-trimethyl-1-Pentene (10,29%)
- B = 2,5-dimethyl-2,4-Hexadiene (7,49%)
- C = 2,4,4-trimethyl-2-Pentene (16,86%)
- D = 3,5-dimethyl-Heptane (6,60%)
- E = 1-bromo-3-methyl-Cyclohexane (7,26%)



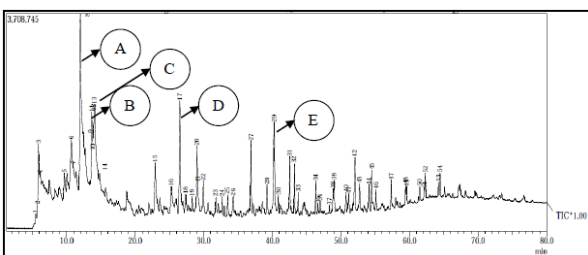
Gambar 4. Kromatogram *Bio-oil* Ampas Ubi Kayu Menggunakan Katalis 2% Ni/NZA

Dari Gambar 4, *bio-oil* yang dihasilkan mengandung 55 komponen kimia, dimana:
 A = 2,4,4-trimethyl-2-Pentene (6,95%)
 B = 3,5-dimethyl-Heptane (6,56%)
 C = 1-bromo-3-methyl-Cyclohexane (10,33%)
 D = 2-methyl-1-Propene, tetramer (5,37%)
 E = 3-(3,3-dimethylbutyl)-Cyclohexanone (8,35%)



Gambar 5. Kromatogram *Bio-oil* Ampas Ubi Kayu Menggunakan Katalis 3% Ni/NZA

Dari Gambar 5, *bio-oil* yang dihasilkan mengandung 62 komponen kimia, dimana:
 A = 2,4,4-trimethyl-2-Pentene (10,14%)
 B = 3,5-dimethyl-Heptane (9,10%)
 C = 1-bromo-3-methyl-Cyclohexane (10,10%)
 D = 2-methyl-1-Propene, tetramer (5,18%)
 E = 3-(3,3-dimethylbutyl)-Cyclohexanone (5,53%)



Gambar 6. Kromatogram *Bio-oil* Ampas Ubi Kayu Menggunakan Katalis 4% Ni/NZA

Dari Gambar 6, *bio-oil* yang dihasilkan mengandung 54 komponen kimia, dimana:
 A = 2,4,4-trimethyl-2-Pentene (17,94%)
 B = 5,5-Dimethyl-2-Hexene (4,78)
 C = 3,5-dimethyl-Heptane (5,99%)
 D = 1-bromo-3-methyl-Cyclohexane (7,11%)
 E = 3-(3,3-dimethylbutyl)-Cyclohexanone (3,83%)

Ada beberapa komponen kimia yang memiliki persen area cukup besar. Perbandingan beberapa komponen-komponen kimia dari setiap sampel *bio-oil* yang memiliki persen area paling besar dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Analisa GC-MS *Bio-oil* dari Ampas Ubi Kayu Menggunakan Katalis Ni/NZA

No.	Nama Komponen Kimia	Area (%)				
		0% Ni/NZA	1% Ni/NZA	2% Ni/NZA	3% Ni/NZA	4% Ni/NZA
1	2,4,4-trimethyl-1-Pentene	2,49	10,29	2,97	4,35	3,46
2	2,5-dimethyl-2,4-Hexadiene	1,67	7,49	1,26	4,22	3,77
3	2,4,4-trimethyl-2-Pentene	11,38	16,86	6,95	10,14	17,94
4	1-bromo-4-methyl-Cyclohexane			4,41	3,82	2,71
5	5,5-Dimethyl-2-Hexene	3,38	4,69	2,60	3,64	4,78
6	3,5-dimethyl-Heptane	6,24	6,60	6,56	9,10	5,99
7	trimethyl-2-propyne-Silane	4,92	3,37	4,22	4,76	3,43
8	1-bromo-3-methyl-Cyclohexane	11,36	7,26	10,33	10,10	7,11
9	2-methyl-1-Propene, tetramer	5,48	3,44	5,37	5,18	3,08
10	1-(1,1-dimethylethoxy)-3-methyl-Cyclohexene	4,65	2,64	5,13	3,92	3,33
11	3-(3,3-dimethylbutyl)-Cyclohexanone	7,39	3,68	8,35	5,53	3,83
12	1-isobutyl-3-methyl-2-Pyrazoline	3,71	1,95	4,65	2,43	2,38

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa *bio-oil* yang dihasilkan dari *pyrolysis* dengan katalis 0% Ni/NZA memiliki 58 puncak yang berarti terdapat 58 komponen kimia, beberapa komponen dengan area paling besar dapat dilihat pada Tabel 3.

Pengembangan 1% logam Ni pada NZA memberikan pengaruh terhadap *bio-oil* yang dihasilkan, dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa *bio-oil* dengan penggunaan katalis 1%

Ni/NZA memiliki 47 puncak atau 47 komponen kimia, lebih sedikit dari *bio-oil* dengan 0% Ni/NZA. Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa 1% Ni/NZA meningkatkan persen area beberapa komponen, yang signifikan yaitu 2,4,4-trimethyl-1-Pentene, 2,5-dimethyl-2,4-Hexadiene, dan 2,4,4-trimethyl-2-Pentene. 1% Ni/NZA juga menghasilkan lebih sedikit persen area dari beberapa komponen, yaitu trimethyl-2-propyne-Silane, 1-bromo-3-methyl-Cyclohexane, 1-(1,1-dimethylethoxy)-3-methyl-Cyclohexene, 3-(3,3-dimethylbutyl)-Cyclohexanone, dan 1-isobutyl-3-methyl-2-Pyrazoline.

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa pengembangan 2% Ni pada NZA menghasilkan 55 puncak (komponen kimia), lebih sedikit dibanding 0% Ni/NZA. Dari segi persen area, 2% Ni/NZA relatif hampir sama dengan 0% Ni/NZA. Komponen yang cukup jauh menurun persen areanya adalah 2,4,4-trimethyl-2-Pentene. Namun, pada 2% Ni/NZA muncul puncak 1-bromo-4-methyl-Cyclohexane dengan persen area 4,41%.

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa pengembangan 3% Ni pada NZA menghasilkan 62 puncak (komponen kimia), lebih banyak dibanding 0% Ni/NZA. Dari segi persen area, 3% Ni/NZA meningkatkan persen area 2,4,4-trimethyl-1-Pentene, 2,5-dimethyl-2,4-Hexadiene, dan yang cukup signifikan peningkatannya dibanding menggunakan katalis yang lain adalah 3,5-dimethyl-Heptane. Seperti pada 2% Ni/NZA, pada 3% Ni/NZA juga muncul puncak 1-bromo-4-methyl-Cyclohexane dengan persen area 3,82%.

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa pengembangan 4% Ni pada NZA menghasilkan 54 puncak (komponen kimia), lebih sedikit dibanding 0% Ni/NZA. Dari segi persen area, 4% Ni/NZA hampir sama dengan 1% Ni/NZA, yang berbeda adalah peningkatan 2,4,4-trimethyl-1-Pentene dan 2,5-dimethyl-2,4-Hexadiene yang tidak sebesar pada 1% Ni/NZA. Seperti pada 2% Ni/NZA dan 3% Ni/NZA, pada 4% Ni/NZA

juga muncul puncak 1-bromo-4-methyl-Cyclohexane dengan persen area 2,71%.

Secara umum komponen-komponen kimia *bio-oil* dengan persen area besar yang dihasilkan pada penelitian ini adalah berupa golongan senyawa olefin (kelompok senyawa senyawa hidrokarbon tidak jenuh) seperti alkena dan iso-alkena (2,4,4-trimethyl-1-Pentene dan 2,4,4-trimethyl-2-Pentene), golongan naftena (senyawa hidrokarbon jenuh bentuk siklis/ cincin) seperti 1-bromo-3-methyl-Cyclohexane, cukup banyak juga mengandung senyawa parafin (senyawa hidrokarbon jenuh (alkana dan iso-alkana), seperti 3,5-dimethyl-Heptane. *Bio-oil* yang dihasilkan juga mengandung sedikit senyawa aromatik, keton dan tidak ada asam.

Dari segi selektivitas katalis Ni/NZA, pengembangan 1% Ni lebih banyak menghasilkan senyawa-senyawa alkena atau iso-alkena (parafin) seperti 2,4,4-trimethyl-1-Pentene, 2,5-dimethyl-2,4-Hexadiene dan 2,4,4-trimethyl-2-Pentene. Senyawa golongan parafin merupakan salah satu penyusun bahan bakar bensin.

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan. *Bio-oil* dengan *yield* yang lebih besar belum tentu memiliki kualitas yang terbaik, baik dari segi karakteristik maupun dari komponen-komponen kimia yang dikandungnya. Maka yang diperlukan adalah katalis dengan aktivitas dan selektivitas yang baik, sehingga bisa dihasilkan *bio-oil* dengan kuantitas dan kualitas yang baik pula.

Bio-oil yang dihasilkan pada penelitian ini sudah termasuk dalam klasifikasi bahan bakar (*biofuel*), terutama dengan nilai kalor yang tinggi (42,55-46,78 MJ/kg) dan tidak mengandung asam (berdasarkan analisa GC-MS).

Saran. Silinap yang telah digunakan dapat dimanfaatkan kembali karena suhu operasi yang dipakai tidak merusak struktur silinap, jadi perlu ada penelitian lanjutan atau *treatment* khusus untuk memurnikan kembali silinap dari *char* produk *pyrolysis*.

Daftar Pustaka

- ASTM D7544 - 12, www.astm.org, 13 Januari 2012.
- BAPPENAS, 2010, Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional, BAPPENAS, Jakarta, 16-17.
- Departemen Pertanian, 2012, Data Komoditas Produksi Ubi Kayu Nasional, www.deptan.go.id, 18 September 2012.
- Garcia-Perez, M., A. Chaala and C. Roy, 2002, Vacuum Pyrolysis of Sugarcane Bagasse, *Journal Anal. Appl. Pyrolysis.*, 65: 111-136.
- Hidayat, C., 2010, Mendongkrak Kecernaan Singkong, <http://www.trobos.com>, 12 Januari 2012.
- Kadiman, dan Kusmayanto, 2006, Perspektif Teknologi untuk Energi Alternatif, Kementerian Riset dan Teknologi, Jakarta.
- Khor, K.H., K.H. Lim dan Z.A. Zainal, 2009, Characteristic of Bio-Oil : A By-Product from Slow Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches, University Sains Malaysia.
- Marita, E., 2010, Pembuatan Dan Karakterisasi Katalis Ni/NZA untuk Proses Catalytic Cracking Tandan Kosong Sawit Menjadi Bahan Bakar Cair, *Skripsi*, Universitas Riau.
- Menteri Koordinator Bidang Perekonomian, 2006, Program Aksi Penyediaan dan Pemanfaatan Energi Alternatif, Jakarta.
- Setiadi, dan A. Pertiwi, 2007, Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam untuk Konversi Senyawa Abe menjadi Hidrokarbon, *Prosiding Kongres dan Simposium Nasional Kedua MKICS 2007*.
- Setyawan, D., dan P. Handoko, 2002, Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal dan Impregnasi Logam Kromium pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis, *Jurnal Ilmu Dasar*, 3(2), 103-109.
- Smallwod, 2008, Hydroprocessing of Pyrolysis Bio-oil to Fuel and Chemical, Pacific Northwest National Laboratory, US Departemant of Energy.
- Wiratmaja, I, G., 2010, *Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM, Vol. 4, No.2.