

## PYROLYSIS OF CASSAVA BAGASSE INTO BIO-OIL USING Ni/NZA CATALYSTS

Jefriadi <sup>1)\*</sup>, Syaiful Bahri <sup>2)</sup>, Sunarno <sup>2)</sup>, Rinny Jelita <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Chemical Engineering Study Program, Lambung Mangkurat University

Jl. A. Yani Km. 36 Banjarbaru, 70714, Indonesia

<sup>2)</sup>Department of Chemical Engineering, Riau University

Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru, 28293, Indonesia

\* E-mail corresponding author: jefriadi@ulm.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i>            Received: 01-06-2019            Received in revised form: 18-06-2019            Accepted: 26-07-2019            Published: 18-10-2019</p> <p><i>Keywords:</i>            Bio-oil            Cassava bagasse            Ni/NZA catalyst            Pyrolysis</p>	<p><i>Cassava bagasse is a solid tapioca industry waste that can be used as an energy source. In this study, cassava bagasse was pyrolysed to produce bio-oil and studied the effect of Ni/NZA catalysts on yield, heating value and distribution of bio-oil products. The making of Ni/NZA catalyst starts with the process of activating natural zeolite to produce natural zeolite activated (NZA). Furthermore, impregnation of Ni metals in NZA with Ni levels 1, 2 and 3% w/w (Ni/NZA). The next step is calcination, oxidation and reduction. Cassava is peeled, shredded, washed, filtered and dried and then mashed and screened with a 60 and 80 mesh sieve to obtain cassava bagasse biomass with a size of -60+80 mesh. 50 grams of cassava bagasse with 500 ml silinap and 1.5 g Ni/NZA catalyst are pyrolyzed at 320°C with nitrogen gas flow of 80 mL/min. Bio-oil products are analyzed by the heating value and distribution of the products. The yield of bio-oil obtained on pyrolysis using 0% Ni/NZA was 54.27% and pyrolysis using 2% Ni/NZA obtained the highest yield of 61.87%. The highest bio-oil heating value was obtained in pyrolysis using 0% Ni/NZA which is 46.78 MJ/kg and lower with increasing Ni levels in NZA. The results of GC-MS analysis of the bio-oil products showed that the use of 1% Ni/NZA catalyst significantly increased the percent area of several components i.e. 2,4,4-trimethyl-1-Pentene, 2,5-dimethyl-2,4-Hexadiene, and 2,4,4-trimethyl-2-Pentene and decreases the percent area of some other components i.e. 1-bromo-3-methyl-Cyclohexane, 2-methyl-1-Propene, tetramer, 1-(1,1-dimethylethoxy)-3-methyl-Cyclohexene and 3-(3,3-dimethylbutyl)-Cyclohexanone.</i></p>

## PIROLISIS AMPAS UBI KAYU MENJADI *BIO-OIL* MENGGUNAKAN KATALIS Ni/NZA

**Abstrak-** Ampas ubi kayu merupakan limbah padat industri tapioka yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Pada penelitian ini akan dilakukan pirolisis ampas ubi kayu untuk menghasilkan bio-oil dan dipelajari pengaruh kadar pengembunan logam Ni pada NZA terhadap yield, nilai kalor dan distribusi produk bio-oil. Pembuatan katalis Ni/NZA dimulai dengan proses aktivasi zeolit alam sehingga dihasilkan natural zeolite activated (NZA). Selanjutnya impregnasi logam Ni pada NZA dengan kadar pengembunan Ni 1, 2, dan 3% b/b terhadap NZA (Ni/NZA). Langkah berikutnya dilakukan kalsinasi, oksidasi dan reduksi. Ubi kayu dikupas, diparut, dicuci, disaring, dikeringkan, dihaluskan dan disaring dengan ayakan 60 dan 80 mesh sehingga diperoleh biomassa ampas ubi kayu dengan ukuran -60+80 mesh. Ampas ubi kayu sebanyak 50 gram beserta 500 ml silinap dan 1,5 gram katalis Ni/NZA dipirolisis pada suhu 320°C dengan mengalirkan gas nitrogen 80 mL/menit. Produk bio-oil dianalisis nilai kalor dan distribusi produknya. Yield bio-oil yang diperoleh pada pirolisis menggunakan NZA tanpa pengembunan Ni adalah 54,27% dan diperoleh yield tertinggi 61,87% pada pirolisis menggunakan NZA dengan pengembunan Ni 2%. Nilai kalor bio-oil tertinggi diperoleh pada pirolisis menggunakan 0% Ni/NZA yaitu 46,78 MJ/kg dan semakin rendah dengan meningkatnya kadar pengembunan Ni pada NZA. Hasil analisis GC-MS dari bio-oil menunjukkan bahwa pengembunan 1% Ni pada NZA meningkatkan persen area beberapa komponen yaitu

2,4,4-trimethyl-1-1-Pentene, 2,5-dimethyl-2,4-Hexadiene, dan 2,4,4-trimethyl-2-Pentene serta menurunkan persen area beberapa komponen yaitu 1-bromo-3-methyl-Cyclohexane, 2-methyl-1-Propene, tetramer, 1-(1,1-dimethylethoxy)-3-methyl-Cyclohexene dan 3-(3,3-dimethylbutyl)-Cyclohexanone.

**Kata kunci :** Bio-oil, ampas ubi kayu, katalis Ni/NZA, pirolisis

## PENDAHULUAN

Kebutuhan energi global terus mengalami peningkatan karena peningkatan populasi, peningkatan kualitas hidup, dan perkembangan industri (Narbel and Hansen, 2014). Sebagian besar sumber energi yang digunakan berasal dari energi fosil yang tidak dapat diperbarui dan memiliki dampak negatif, seperti emisi karbon, pemanasan global dan perubahan iklim (Silva Herran et al., 2019, Ye et al., 2017). Sumber energi terbarukan, seperti bioenergi, tenaga air, energi panas bumi, energi surya, energi angin, dan energi laut (pasang dan gelombang) merupakan pendekatan terbaik untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil dan mengatasi masalah lingkungan (Owusu and Asumadu-Sarkodie, 2016).

Salah satu sumber energi terbarukan yang menjanjikan dan ketersediannya melimpah adalah biomassa (Zhao and Li, 2016). Biomassa adalah salah satu solusi terbaik untuk penggantian sumber energi fosil dalam berbagai aplikasi, seperti produksi panas, bahan bakar transportasi, produksi bahan kimia dan biomaterial (Bridgwater, 2003).

Biomassa dapat dikonversi menjadi energi melalui proses termal, biologi dan fisik. Ada tiga proses termal utama yang dapat diaplikasikan untuk mengkonversi biomassa menjadi bentuk energi yang lebih berguna, yaitu pembakaran, gasifikasi, dan pirolisis (Bridgwater, 2003). Dekomposisi biomassa melalui proses pirolisis akan menghasilkan produk utama berupa *bio-oil*, dan produk samping berupa arang dan gas (Bridgwater, 2003). Untuk memanfaatkan biomassa secara rasional, bersih dan efisien, pirolisis katalitik menjadi metode penting untuk meningkatkan kualitas *bio-oil* melalui pemanasan biomassa secara cepat dengan adanya katalis zeolit/ *Natural Zeolite Activated* (NZA) (Jiang et al., 2019).

Salah satu biomassa yang potensial untuk dikembangkan menjadi energi adalah ampas ubi kayu. Ubi kayu adalah bahan baku utama yang digunakan dalam industri tapioka dan menghasilkan limbah padat berupa kulit dan ampas. Kandungan utama ampas ubi kayu adalah karbohidrat dan serat (lignoselulosa) (Pandey et al., 2000). Kandungan serat (lignoselulosa) di dalam ampas ubi kayu dapat dikonversi menjadi *bio-oil*.

Pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh kadar pengembunan logam Ni pada NZA terhadap

*yield*, nilai kalor dan distribusi produk *bio-oil* yang dihasilkan melalui proses pirolisis ampas ubi kayu.

## METODE PENELITIAN

### Bahan

Zeolit Alam, HCl 6 N, NH<sub>4</sub>Cl 1 N, Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.9H<sub>2</sub>O, akuades, AgNO<sub>3</sub>, gas N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, ampas ubi kayu, dan silinap 280M (*thermo-oil*).

### Alat

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 N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, reaktor pirolisis, kondensor, mantel pemanas, termokopel (Barnant), piknometer, viskometer Oswald, gelas piala, pengaduk listrik (*Heidolph*), *Cleveland flash point tester*, dan buret.

### Pembuatan katalis Ni/NZA

Tahap pertama pembuatan katalis Ni/NZA adalah 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 g direndam dalam 500 mL larutan HCl 6 N di atas 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<sup>-</sup> yang terdeteksi oleh larutan AgNO<sub>3</sub>, *cake* dikeringkan pada suhu 130°C selama 3 jam dalam oven. Sampel tersebut kemudian direndam kembali dalam 500 ml larutan NH<sub>4</sub>Cl 1 N di atas pemanas pada suhu 90°C sambil selama 3 jam sehari yang dilakukan sampai satu minggu. Sampel kemudian disaring dan dicuci lalu dikeringkan dalam oven selama 24 jam. Pada tahap ini diperoleh sampel NZA.

Selanjutnya dilakukan impregnasi logam Ni dengan cara sampel NZA direndam dalam 500 mL larutan Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.9H<sub>2</sub>O di atas pemanas pada suhu 90°C selama 6 jam sambil diaduk, kemudian disaring dan dicuci. *Cake* kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 3 jam (diperoleh sampel Ni/NZA). Pengembunan logam Ni divariasikan sebesar 0; 1; 2; dan 3% b/b terhadap sampel NZA.

Langkah berikutnya dilakukan kalsinasi, oksidasi dan reduksi dengan cara sampel katalis dimasukkan ke dalam *tube* yang telah diisi dengan

*porcelain bed* sebagai *heatcarry* dan penyeimbang unggun katalis, diantara *porcelain bed* 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  $\pm 400$  mL/menit, dilanjutkan dengan oksidasi pada suhu 400°C menggunakan gas oksigen dengan kecepatan  $\pm 400$  mL/menit selama 2 jam dan reduksi pada suhu 400°C menggunakan gas hidrogen dengan kecepatan  $\pm 400$  mL/menit selama 2 jam.

### Persiapan Biomassa

Ubi kayu dikupas kemudian diparut. Setelah itu ubi kayu dicuci dan disaring untuk menghilangkan kandungan air dan pati ubi kayu dan diperoleh ampas ubi kayu. Langkah 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.

### Pirolisis Ampas Ubi Kayu

Sebanyak 50 g ampas ubi kayu beserta 500 mL *thermo-oil* (silinap) dan 1,5 g katalis Ni/NZA dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Pirolisis dilakukan pada suhu 320°C tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen 80 mL/menit dan kecepatan pengadukan 300 rpm. Uap keluaran reaktor akan melalui kondensator untuk dikondensasikan menjadi *bio-oil*. *Bio-oil* 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.

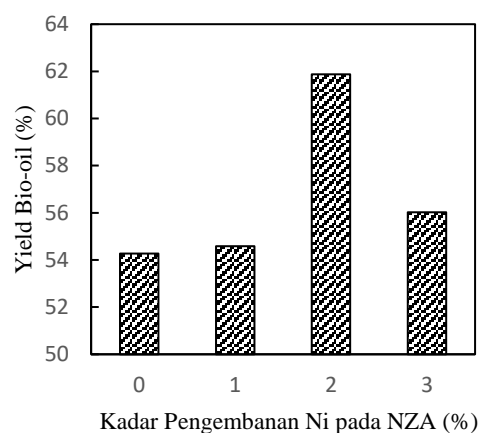
### Analisa *Bio-oil*

Produk *bio-oil* yang dihasilkan dianalisa nilai kalor dan distribusi produknya. Analisa nilai kalor menggunakan *Bomb Calorimeter*. Analisa distribusi produk *bio-oil* menggunakan *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Pengembanan Logam Ni pada NZA terhadap Yield *Bio-oil*

Pada penelitian ini dilakukan pirolisis ampas ubi kayu menggunakan katalis Ni/NZA dengan variasi pengembanan logam Ni pada NZA 0, 1, 2, dan 3%. Gambar 1 menunjukkan *yield bio-oil* yang diperoleh pada tiap kadar pengembanan logam Ni.



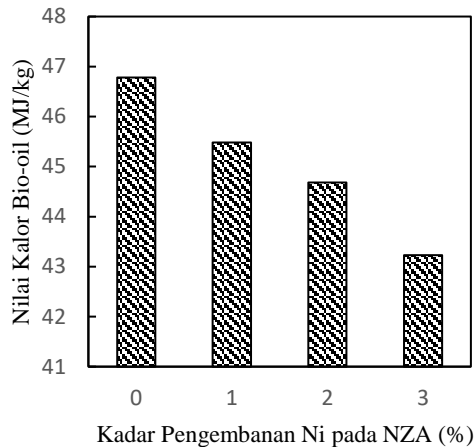
**Gambar 1.** Yield *Bio-oil* Hasil Pirolisis Ampas Ubi Kayu dengan Katalis Ni/NZA

Secara keseluruhan *yield bio-oil* yang dihasilkan dengan pengembanan logam Ni pada NZA lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pengembanan logam Ni. Distribusi Ni yang merata pada permukaan NZA akan meningkatkan luas permukaan aktif dari NZA, 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 and Pertiwi, 2007).

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa *yield bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis dengan 0% Ni/NZA adalah 54,27%. Dengan meningkatnya kadar pengembanan Ni pada NZA, *yield bio-oil* yang dihasilkan semakin meningkat dan diperoleh *yield* tertinggi 61,87% pada 2% Ni/NZA, kemudian mengalami penurunan dengan pengembanan Ni yang lebih banyak yaitu 56,02% pada 3% Ni/NZA. Hasil penelitian ini mirip dengan hasil penelitian Wang et al. yang meneliti pengaruh rasio katalis alumina terhadap *yield bio-oil*, diperoleh *yield bio-oil* yang semakin naik dengan peningkatan rasio katalis sampai rasio 10% dan kemudian menurun dengan penggunaan katalis yang lebih banyak (Wang et al., 2010). Hasil penelitian Zhao and Li yang meneliti pengaruh natrium klorida (NaCl) terhadap *yield bio-oil* pada pirolisis sekam padi juga menunjukkan hasil yang sama, diperoleh *yield bio-oil* yang semakin meningkat pada penggunaan NaCl 3% dan kemudian menurun pada penggunaan NaCl lebih banyak (4% dan 5%) (Zhao and Li, 2016). Carlson et al. mempelajari pirolisis selulosa menggunakan katalis zeolit ZSM-5 dan menemukan bahwa ZSM-5 tampaknya menyebabkan coking yang parah dari fraksi selulosa karena pori zeolit yang kecil dan keasaman yang kuat (Carlson et al., 2008).

### Nilai Kalor *Bio-oil*

*Bio-oil* hasil pirolisis ampas ubi kayu dianalisis nilai kalornya. Nilai kalor *bio-oil* hasil pirolisis ampas ubi kayu menggunakan katalis Ni/NZA dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Nilai Kalor *Bio-oil* Hasil Pirolisis Ampas Ubi Kayu dengan Katalis Ni/NZA

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai kalor *bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis dengan katalis 0% Ni/NZA memiliki nilai kalor paling tinggi yaitu pada 46,78 MJ/kg. Secara keseluruhan nilai kalor *bio-oil* dari proses pirolisis dengan pengembanan Ni pada NZA memiliki nilai kalor yang semakin rendah dengan meningkatnya kadar pengembanan Ni pada NZA. Perbandingan nilai kalor *bio-oil* yang diperoleh pada penelitian ini dengan nilai kalor *bio-oil* dari penelitian lain yang menggunakan biomassa yang berbeda-beda dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa *bio-oil* yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki nilai kalor yang tinggi jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian lain yang melakukan pirolisis dengan bahan baku yang berbeda. *Bio-oil* pada penelitian ini juga memiliki nilai kalor melebihi batas minimal standar nilai kalor *bio-oil* berdasarkan ASTM D7544-12 yaitu 15 MJ/kg.

**Tabel 1.** Perbandingan nilai kalor *bio-oil* dari berbagai jenis biomassa

Biomassa	Suhu Pirolisis (°C)	Nilai Kalor (MJ/kg)
1. Kayu		
Kayu beech <sup>(a)</sup>	277-377	27,6–31,3
Kayu spruce <sup>(a)</sup>	277-378	28,3–33,9
2. Residu pertanian		

**Tabel 1.** Lanjutan

Biomassa	Suhu Pirolisis (°C)	Nilai Kalor (MJ/kg)
Batang jagung <sup>(b)</sup>	300	29,7
Sekam padi <sup>(b)</sup>	300	30,8
Jerami padi <sup>(c)</sup>	260-350	27,6–35,8
3. Algae <sup>(d)</sup>	200-300	21,3–38,5
4. Ampas ubi kayu <sup>(e)</sup>	320	42,55-46,78
Standar <i>Bio-oil</i> ASTM D7544-12		min. 15

Sumber:

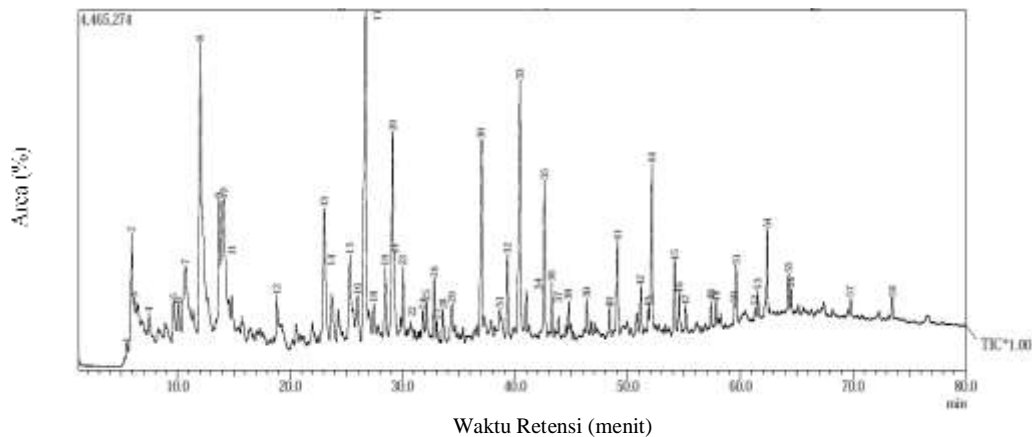
- (a) (Demirbaş et al., 2005)
- (b) (Karagöz et al., 2005)
- (c) (Yuan et al., 2007)
- (d) (Yu et al., 2011)
- (e) Penelitian ini

### Pengaruh Pengembanan Logam Ini pada NZA terhadap Distribusi Produk *Bio-oil*

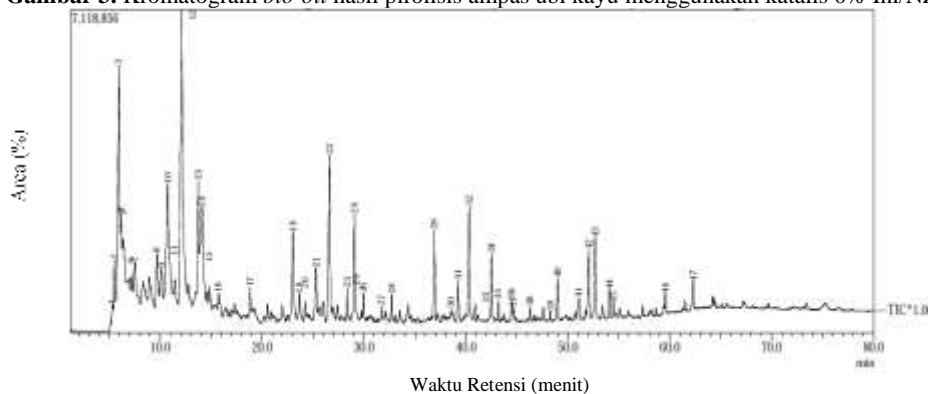
*Bio-oil* hasil pirolisis ampas ubi kayu dianalisis distribusi produknya menggunakan GC-MS. Hasil analisis *bio-oil* menggunakan GC-MS dapat dilihat pada Gambar 3 untuk proses pirolisis ampas ubi kayu menggunakan katalis 0% Ni/NZA. Hasil analisis *bio-oil* dari proses pirolisis ampas ubi kayu menggunakan katalis 1% Ni/NZA dapat dilihat pada Gambar 4.

Dari hasil analisis GC-MS yang terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 diperoleh distribusi produk *bio-oil* hasil pirolisis ampas ubi kayu menggunakan katalis Ni/NZA yang dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa *bio-oil* yang dihasilkan dari pirolisis menggunakan katalis NZA tanpa pengembanan Ni memiliki 58 puncak yang berarti terdapat 58 komponen kimia.

Pengembanan 1% Ni pada NZA memberikan pengaruh terhadap *bio-oil* yang dihasilkan. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa *bio-oil* dengan penggunaan katalis 1% Ni/NZA memiliki 47 puncak atau 47 komponen kimia. Pirolisis dengan katalis 1% Ni/NZA menghasilkan *bio-oil* dengan komponen kimia yang lebih sedikit dibandingkan dengan *bio-oil* yang dihasilkan dari pirolisis menggunakan katalis 0% Ni/NZA. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa pengembanan 1% Ni pada NZA meningkatkan persen area beberapa komponen yang signifikan yaitu 2,4,4-trimethyl-1-1-Pentene, 2,5-dimethyl-2,4-Hexadiene, dan 2,4,4-trimethyl-2-Pentene. Pengembanan 1% Ni pada NZA juga menghasilkan lebih sedikit persen area dari beberapa komponen yaitu 1-bromo-3-methyl-Cyclohexane, 2-methyl-1-Propene, tetramer, 1-(1,1-dimethylethoxy)-3-methyl-Cyclohexene, dan 3-(3,3-dimethylbutyl)-Cyclohexanone.



**Gambar 3.** Kromatogram *bio-oil* hasil pirolisis ampas ubi kayu menggunakan katalis 0% Ini/NZA



**Gambar 4.** Kromatogram *bio-oil* hasil pirolisis ampas ubi kayu menggunakan katalis 1% Ini/NZA

**Tabel 2.** Distribusi produk *bio-oil* hasil pirolisis ampas ubi kayu

Nama Komponen	Area (%)		Nama Komponen	Area (%)	
	Ni 0%	Ni 1%		Ni 0%	Ni 1%
2,2,3-trimethyl-Butane	-	0,37	1,3,5-trimethyl-2-propyl-Benzene	0,25	-
2-ethyl-4-methyl-1-Pentanol	0,17	1,7	2,2-dimethyl-4-Decene	0,64	-
2,4,4-trimethyl-1-Pentene	<b>2,49</b>	<b>10,29</b>	1-Hexadecene	0,66	-
2,4-dimethyl-Hexane	<b>0,35</b>	<b>2,9</b>	1-(1,1-dimethylethoxy)-3-methyl-Cyclohexene	<b>4,65</b>	<b>2,64</b>
2,4-dimethyl-1,3-Pentadiene	-	<b>2,85</b>	1-Octadecene	0,25	0,14
1,2,3,4-tetramethyl-Cyclobutene	-	0,36	2,2,4,4,6,8,8-heptamethyl-Nonane	2,08	1,03
n-Nonane	0,36	1,09	3-(3,3-dimethylbutyl)-Cyclohexanone	<b>7,39</b>	<b>3,68</b>
1-methyl-1-ethyl-Cyclohexane	<b>0,84</b>	<b>2,41</b>	n-Heptadecane	0,86	0,28
n-Decane	0,54	1,5	2-methyl-1-Propene, trimer	3,1	1,72
2,5-dimethyl-2,4-Hexadiene	<b>1,67</b>	<b>7,49</b>	3-deuterio-4-t-butylcyclohexanone	0,93	0,48
1-Decanol	-	0,55	5,5-diethyl-2,2,3,3-tetramethyl-4-Heptanone	0,27	0,43
2,4,4-trimethyl-2-Pentene	<b>11,38</b>	<b>16,86</b>	n-Octadecane	0,53	0,24
5,5-Dimethyl-2-Hexene	3,38	4,69	2,2,4,10,12,12-hexamethyl-7-(3,5,5-trimethylhexyl)-6-Tridecene	0,71	0,34
3,5-dimethyl-Heptane	6,24	6,6	n-Nonadecane	0,39	0,16
5-methyl-2-Decene	0,51	0,36	1,2-diol, 1-(2-furanyl)-3-Butene	2,16	0,88
1-Undecene	-	0,28	2-bromo-5-ethyl-Nonane	0,9	0,73
n-Dodecane	0,79	0,78	n-Eicosane	0,28	-
trimethyl-2-propyne-Silane	<b>4,92</b>	<b>3,37</b>	1-isobutyl-3-methyl-2-Pyrazoline	<b>3,71</b>	<b>1,95</b>
n-Tridecane	1,66	0,72	2,2,4,10,12,12-hexamethyl-7-(3,5,5-trimethylhexyl)-Tridecane	1,37	0,61
DL-3,4-dicyclohexyl-2,2,5,5-tetramethylhexane	-	0,49	n-Tetratriacontane	0,51	0,3

Tabel 2. Lanjutan

Nama Komponen	Area (%)		Nama Komponen	Area (%)	
	Ni 0%	Ni 1%		Ni 0%	Ni 1%
3-(chloromethyl)-Heptane	2,06	1,85	3,5,24-trimethyl-Tetracontane	0,48	-
1,2,4,5-tetramethyl-Benzene	1,13	-	5,7,7-trimethyl-2-(1,3,3-trimethylbutyl)-1-Octanol	0,38	-
1-bromo-3-methyl-Cyclohexane	<b>11,36</b>	<b>7,26</b>	Patchouli alcohol	0,38	-
2-butyl-1-Octanol	0,75	-	n-Tritetracontane	0,34	0,3
n-Tetradecane	1,34	0,61	2-heptyl-Thiophene	0,98	0,35
2-methyl-1-Propene, tetramer	<b>5,48</b>	<b>3,44</b>	2,6,10,14-tetramethyl-Hexadecane	0,13	-
2,2,4,6,6-pentamethyl-Heptane	1,06	0,58	3,5-dimethyl-Octatriacontane	0,41	-
10-methyl-1-Undecene	0,23	-	2,5-dimethyl-Heptane	1,4	0,62
2-ethyl-1-Decanol	1,23	0,62	2,2,3,3,6,8,8-heptamethyl-nonane	0,57	-
1,2,3,4-tetramethyl-Benzene	0,59	0,24	3-(1,1-dimethylpropyl)dihydro-2,5-Furandione	0,33	-
2-ethyl-1-Hexanol	0,75	-	1-Hydroxy-2-methylbicyclo(3.3.1)nonan-3-one	0,25	-
n-Pentadecane	1,11	0,56	5-Undecene	0,28	-

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini, biomassa ampas ubi kayu dipirolisis menggunakan katalis Ni/NZA. *Bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis dengan pengembunan logam Ni pada NZA memiliki *yield* yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pengembunan logam Ni. *Yield bio-oil* tertinggi yaitu 61,87% pada penggunaan 2% Ni/NZA. Nilai kalor *bio-oil* dari proses pirolisis dengan pengembunan Ni pada NZA memiliki nilai kalor yang semakin rendah dengan meningkatnya kadar pengembunan Ni pada NZA. Nilai kalor paling tinggi yaitu 46,78 MJ/kg pada penggunaan 0% Ni/NZA. Hasil analisis GC-MS menunjukkan penggunaan katalis 0% Ni/NZA menghasilkan 58 komponen kimia dan penggunaan katalis 1% Ni/NZA menghasilkan 47 komponen kimia. Pengembunan 1% Ni pada 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. Pengembunan 1% Ni pada NZA juga menghasilkan lebih sedikit persen area dari beberapa komponen yaitu 1-bromo-3-methyl-Cyclohexane, 2-methyl-1-Propene, tetramer, 1-(1,1-dimethylethoxy)-3-methyl-Cyclohexene, dan 3-(3,3-dimethylbutyl)-Cyclohexanone.

## DAFTAR PUSTAKA

BRIDGWATER, A. V. 2003. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal*, 91, 87-102.

CARLSON, T. R., VISPUTE, T. P. & HUBER, G. W. 2008. Green gasoline by catalytic fast pyrolysis of solid biomass derived compounds. *ChemSusChem: Chemistry & Sustainability Energy & Materials*, 1, 397-400.

DEMIRBAŞ, A., BALAT, M. & BOZBAŞ, K. 2005. Direct and catalytic liquefaction of wood species in aqueous solution. *Energy Sources*, 27, 271-277.

JIANG, D., XIA, Z., WANG, S., LI, H., GONG, X., YUAN, C., EL-FATAH ABOMOHRA, A., CAO, B., HU, X., HE, Z. & WANG, Q. 2019. Mechanism research on catalytic pyrolysis of sulfated polysaccharide using ZSM-5 catalysts by Py-GC/MS and density functional theory studies. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 143, 104680.

KARAGÖZ, S., BHASKAR, T., MUTO, A., SAKATA, Y., OSHIKI, T. & KISHIMOTO, T. 2005. Low-temperature catalytic hydrothermal treatment of wood biomass: analysis of liquid products. *Chemical Engineering Journal*, 108, 127-137.

NARBEL, P. A. & HANSEN, J. P. 2014. Estimating the cost of future global energy supply. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 91-97.

OWUSU, P. A. & ASUMADU-SARKODIE, S. 2016. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, 3, 1167990.

PANDEY, A., SOCCOL, C. R., NIGAM, P., SOCCOL, V. T., VANDENBERGHE, L. P. S. & MOHAN, R. 2000. Biotechnological potential of agro-industrial residues. II: cassava bagasse. *Bioresource Technology*, 74, 81-87.

SETIADI, P. A. & PERTIWI, A. 2007. Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam untuk Konversi senyawa ABE menjadi Hidrokarbon. *Prosiding Konggres dan Simposium Nasional Kedua MKICS, ISSN, 0216-4183*.

SILVA HERRAN, D., TACHIIRI, K. & MATSUMOTO, K. I. 2019. Global energy

- system transformations in mitigation scenarios considering climate uncertainties. *Applied Energy*, 243, 119-131.
- WANG, P., ZHAN, S., YU, H., XUE, X. & HONG, N. 2010. The effects of temperature and catalysts on the pyrolysis of industrial wastes (herb residue). *Bioresource Technology*, 101, 3236-3241.
- YE, B., JIANG, J., LI, C., MIAO, L. & TANG, J. 2017. Quantification and driving force analysis of provincial-level carbon emissions in China. *Applied Energy*, 198, 223-238.
- YU, G., ZHANG, Y., SCHIDEMAN, L., FUNK, T. & WANG, Z. 2011. Hydrothermal liquefaction of low lipid content microalgae into bio-crude oil. *Transactions of the ASABE*, 54, 239-246.
- YUAN, X., LI, H., ZENG, G., TONG, J. & XIE, W. 2007. Sub- and supercritical liquefaction of rice straw in the presence of ethanol–water and 2-propanol–water mixture. *Energy*, 32, 2081-2088.
- ZHAO, N. & LI, B.-X. 2016. The effect of sodium chloride on the pyrolysis of rice husk. *Applied Energy*, 178, 346-352.