

KARAKTERISTIK BIO-OIL DARI RUMPUT GELAGAH (*Saccharum spontaneum* Linn.) MENGGUNAKAN PROSES PIROLISIS CEPAT
(Characteristics of Bio-oil From Gelagah Grass (*Saccharum spontaneum* Linn.) by Fast Pyrolysis Process)

Santiyo Wibowo & Djeni Hendra

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor Tlp/Fax: 8633378/8633413
E-mail: santiyowibowo1973@yahoo.co.id

Diterima 3 Februari 2014, Direvisi 25 Februari 2015, Disetujui 3 Agustus 2015

ABSTRACT

*This paper studies the information on production technology of bio-oil from gelagah grass (*Saccharum spontaneum* Linn.) and its properties using fast pyrolysis. The variables used in this study are temperature 550 °C and 600 °C and size of samples which are 20, 40 and 60 mesh. The results showed that highest production of bio-oil attained from sample size 40 mesh with treatment at 550 °C, with the following characteristics; yields of liquid was 30.88%, phenol 7.58, pH 2.62, specific gravity 1.1108 g/cm³, heating value 25.29 MJ/kg and flame power was at slow level. Bio-oil produced by this process predominantly composed of acetic acid, phenols and 1-hydroxy 2-propanone.*

Keywords: Bio-oil, gelagah grass, fast pyrolysis, lignocellulose

ABSTRAK

Tulisan ini mempelajari informasi teknik pembuatan bio-oil dan sifat fisiko kimianya dari bahan baku rumput gelagah (*Saccharum spontaneum* Linn.) dengan menggunakan pirolisis cepat dengan alat *free fall pyrolysis*. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu pirolisis yaitu 550 °C and 600 °C) dan ukuran bahan yaitu 20, 40 and 60 mesh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen *liquid* (cairan) tertinggi diperoleh dari rumput gelagah pada ukuran 40 mesh dengan suhu 550 °C yang menghasilkan cairan lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya, dengan karakteristik sebagai berikut; rendemen *liquid* 30,88%; kadar fenol 7,58%; pH 2,62; bobot jenis 1,1108 g/cm³; nilai kalor 25,29 MJ/kg dan daya nyala lambat. Bio-oil yang dihasilkan didominasi oleh asam asetat, fenol dan 1-hidroxy 2-propanone.

Kata kunci: Bio-oil, pirolisis cepat, rumput gelagah, *free fall pyrolysis*

I. PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak bumi (*fossil fuel*) merupakan energi yang tidak dapat diperbarui karena pembentukannya memerlukan waktu jutaan tahun dan saat ini cadangannya semakin menurun. Energi utama di Indonesia yang difokuskan selama ini berasal dari minyak bumi yang kebutuhannya terus meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 2005 konsumsi minyak bumi

adalah: 27,05 juta kilo liter dan meningkat menjadi 39,23 juta kiloliter pada tahun 2011 (BPPT, 2011), dan akan terus meningkat seiring pertumbuhan pembangunan perekonomian. Di sisi lain persediaan minyak bumi Indonesia hanya sekitar empat miliar barel dan hanya dapat mencukupi untuk 12 tahun ke depan (ESDM, 2015).

Permasalahan utama bahan bakar minyak bumi adalah karena sifatnya yang tidak dapat diperbaharui (*non renewable*), sehingga perlu

disubstitusi oleh bahan bakar alternatif yang dapat dipulihkan atau terbarukan yang berasal dari tanaman pertanian atau kehutanan, serta limbah biomassa. Saat ini program nasional diversifikasi energi ditujukan untuk pengkayaan produksi jenis-jenis bahan energi baru yang dapat dipulihkan (Krause, 2001).

Salah satu bahan bakar alternatif yang dapat mensubstitusi bahan bakar minyak adalah bio-oil. Bio-oil merupakan bahan bakar cair berwarna kehitaman yang berasal dari biomassa seperti kayu, kulit kayu, rumput dan biomassa lainnya melalui teknologi pirolisis baik pirolisis lambat maupun pirolisis cepat. Komponen organik terbesar dalam bio-oil adalah turunan lignin yaitu fenol, alkohol, asam organik dan senyawa karbonil seperti keton, aldehyd dan ester (Diebold, 1997). Karakteristik tersebut menjadikan bio-oil sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan. Bio-oil dapat menjadi alternatif pengganti bahan bakar hidrokarbon seperti untuk mesin pembakaran, boiler, mesin diesel statis dan gas turbin yang efektif digunakan sebagai pensubstitusi diesel, bahan bakar minyak berat, bahan bakar minyak ringan dan natural gas untuk berbagai macam boiler (Hambali, Muijalifah, Tambunan, Pattiwiri, & Hendroko, 2007). Beberapa teknologi pirolisis cepat (*fast pyrolysis*) antara lain *bubbling fluidized bed*, *circulating fluidized bed reactor*, *rotating cone pyrolyzer*, *ablative pyrolysis*, *vacuum pyrolysis*, dan *auger reactor* (Brown & Holmgren, 2012). Selain itu mulai dikembangkan juga *free fall pyrolysis* dimana bahan baku dimasukkan dari bagian atas menuju reaktor yang sudah dipanaskan pada suhu antara 400-700 °C, selain diperoleh cairan bio-oil, akan dihasilkan juga arang dan gas (Onay & Kockar, 2006). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi pembuatan bio-oil dari rumput gelagah (*Sacharum spontaneum* Linn.) menggunakan teknik *free fall pyrolysis* dan karakteristik bio-oil yang dihasilkan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Peralatan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah rumput gelagah yang berasal dari Sukabumi, Jawa Barat. Bahan kimia yang

digunakan antara lain metanol, etanol, asam klorida, air suling, asam asetat, natrium tio sulfat, kalium yodida, natrium hidroksida, kalium hidroksida, penolphtallin (PP) dan lain-lain. Peralatan yang digunakan antara lain mesin pembuat serbuk kayu, saringan, reaktor pirolisis bio-oil *free fall reactor*, penampung larutan bio-oil, penampung partikulat, alat distilasi, pengaduk (*stirer*), desikator, pH meter, piknometer, erlenmeyer asah, neraca, oven dan lain-lain.

B. Prosedur Penelitian

1. Persiapan bahan

Rumput gelagah dicacah, dikeringkan dan dibikin serbuk dan diseragamkan ukurannya yaitu 20 mesh, 40 mesh, dan 60 mesh.

2. Pembuatan bio-oil

Pembuatan bio-oil dilakukan dengan menggunakan alat *free fall reactor* pada suhu reaksi 550°C dan 600°C dengan ukuran serbuk 20 mesh, 40 mesh dan 60 mesh. Selanjutnya bio-oil disaring menggunakan kertas saring.

3. Pengujian bio-oil

Pengujian dilakukan terhadap sifat fisiko-kimia yaitu: rendemen (arang (BSN 01-1682-1996), cairan atau *liquid* bio-oil, dan gas), berat jenis, pH (BSN 06-2413-1991), kadar fenol (BSN 06-2469-1991), nilai kalor (*calorimeter bomb*), daya nyala (Wibowo, 2013) dan sifat kimia menggunakan GCMS. Selain itu dilakukan analisa komponen kimia rumput gelagah; kadar air (BSN 01-1682-1996), holoselulosa (BSN 01-1303-1989), kadar ekstraktif (ASTM D1107-96-2001), alpha selulosa (ASTM D 1103-60-1978), hemiselulosa (hasil pengurangan holoselulosa dengan alpha selulosa), dan lignin (BSN 14-0492-1989).

4. Ujicoba *upgrading* bio-oil

Ujicoba *upgrading* bio-oil dilakukan pada perlakuan yang memberikan hasil optimum. Proses *upgrading* dilakukan dengan cara *crack ing non catalytic* (tanpa katalis), tanpa penambahan hidrogen dan berlangsung pada kondisi tekanan 1 atmosfer. Proses *crack ing* adalah pemecahan senyawa organik rantai panjang menjadi dua atau lebih senyawa organik rantai lebih pendek. Hasil *upgrading* dianalisa daya nyala dan kandungan senyawa kimia menggunakan GCMS.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Komponen Kimia Rumput Gelagah

Hasil analisis komponen kimia rumput gelagah dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rumput gelagah yang digunakan dalam penelitian ini cukup kering dengan kadar air 8,12%. Kadar holoselulosa sebesar 51,32%, hasil ini lebih kecil dari polisakarida kayu pada umumnya yang berkisar antara 65-75% (Fengel & Wegener, 1995). Holoselulosa merupakan karbohidrat dalam kayu yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan pektin. Meskipun kadar holoselulosa lebih rendah dari bahan kayu dan tempurung, rumput gelagah masih dapat dikonversi menjadi produk pirolisis berupa bio-oil atau *pyrolitic oil*, dan arang/arang aktif, dan sebagai sumber energi *wood pellet*. Menurut Asano et al. (1999), bahan yang mengandung karbon dapat dijadikan bahan baku pembuatan arang dan turunannya.

Alpha selulosa rumput gelagah adalah sebesar 33,22 % dan kadar hemiselulosa sebesar 18,10 %. Alpha Selulosa digunakan sebagai penduga atau penentu tingkat kemurnian selulosa. Hemiselulosa merupakan heteropolisakarida yang tersusun dari lima jenis gula yaitu tiga heksosa (glukosa, manosa dan galaktosa) dan dua pentosa (xilosa dan arabinosa) (Achmadi, 1990).

Kadar ekstraktif rumput gelagah yang larut dalam alkohol benzena adalah 6,59%. Zat ekstraktif terdiri dari berbagai jenis komponen senyawa organik seperti minyak atsiri, terpenoid, steroid, lemak, lilin, fenol (stilben, lignan, tanin terhidrolisis, tanin kondensasi, flavonoid) (Sjostrom, 1998).

Kadar lignin dalam rumput gelagah sebesar 23,78%. Kadar lignin tersebut masuk dalam rentang kadar lignin jenis rumput-umputan raksasa seperti bambu yang berkisar antara 22,22 – 28,84% (Astuti, 2012). Lignin merupakan zat organik polimer yang penting dan banyak terdapat dalam tumbuhan tingkat tinggi. Terdapat dalam lamela tengah dan dinding sel primer. Lignin dapat meningkatkan sifat kekuatan mekanik pada tumbuhan untuk berdiri kokoh (Fengel & Wegener, 1995). Adanya suhu tinggi pada proses pembuatan bio-oil akan meningkatkan laju degradasi lignin yang lebih banyak dan meningkatkan produksi bio-oil (Imam & Capareda, 2012).

B. Penelitian Pembuatan Bio-oil

1. Rendemen

Hasil pirolisis serbuk rumput gelagah pada ukuran 20 mesh, 40 mesh dan 60 mesh dengan temperatur 550°C dan 600°C menggunakan *free fall pyrolysis* dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3. Dari hasil penelitian diperoleh *liquid* atau cairan berkisar antara 23,81 - 30,88%. Cairan hasil pirolisis merupakan gabungan antara produk cair (terdiri dari asam pyrolignic atau cuka kayu) dan fase minyak (tar kayu atau *pyrolitic oil*) (Sensoz, 2003). Rendemen terbesar diperoleh dari serbuk rumput gelagah pada perlakuan suhu 550 °C dengan ukuran 40 mesh yaitu sebesar 30,88 % dan yang terkecil dihasilkan dari sampel rumput gelagah pada ukuran 60 mesh dengan suhu 600°C. Terdapat penurunan rendemen pada suhu di atas 550 °C. Rendemen cairan rumput gelagah pada ukuran 20 mesh lebih rendah dari 40 mesh pada suhu 550 dan 600 °C. Hal ini disebabkan ukuran

Tabel 1. Komponen kimia rumput gelagah
Table 1. Chemical components of gelagah grass

Parameter (<i>Parameters</i>)	Kadar (<i>Content</i>) (%)
Kadar Air (<i>Moisture content</i>)	8,12
Kadar ekstraktif (<i>Extractive content</i>)	6,59
Kadar holoselulosa (<i>Holocellulose content</i>)	51,32
Kadar alpha selulosa (<i>Alpha cellulose content</i>)	33,22
Kadar hemiselulosa (<i>Hemicellulose content</i>)	18,10
Kadar Lignin (<i>Lignin content</i>)	23,78

Tabel 2. Rendemen produk free fall pirolisis rumput gelagah
Table 2. Yield of free fall pyrolysis products of gelagah grass

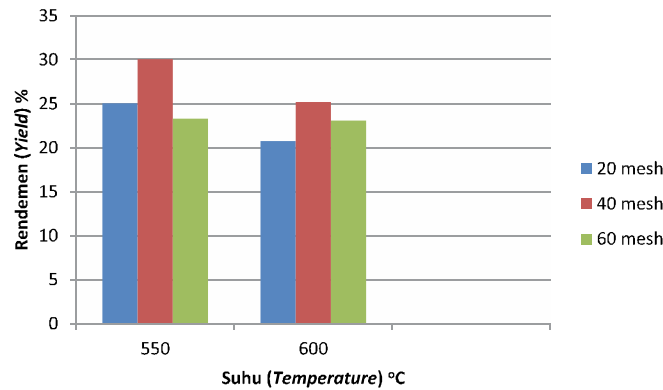
Produk (Product)	Ukuran serbuk (Powder size), mesh	Suhu (Temperature), °C	
		550	600
Cairan bio-oil (Bio-oil Liquid) (%)	20	27,15	25,47
	40	30,88	26,15
	60	24,63	23,81
Gas (Gas) (%)	20	40,98	46,46
	40	45,84	51,48
	60	52,8	54,4
Arang (Charcoal) (%)	20	31,87	27,47
	40	23,28	22,37
	60	22,57	21,78

partikel yang besar yang menyebabkan pembakaran belum sempurna, hal ini dibuktikan dengan masih adanya serbuk gelagah yang tidak terbakar sempurna dan warna arang yang tidak seluruhnya berwarna hitam pekat. Sementara itu pada ukuran yang lebih halus 60 mesh rendemen *pyrolytic oil* lebih rendah dibandingkan ukuran 40 mesh dan 20 mesh. Hal ini disebabkan oleh menempelnya sejumlah serbuk dengan ukuran yang lebih halus pada dinding pipa reaktor bagian atas tempat keluarnya serbuk dari *screw feeder* menuju reaktor pemanas. Berbeda pada penelitian sebelumnya (Wibowo & Hendra, 2013) dengan menggunakan ukuran 60 mesh, serbuk kayu mahoni tidak terjadi sumbatan atau bahan baku yang menempel di reaktor. Hal ini diduga disebabkan perbedaan karakteristik bahan baku. Karakteristik rumput gelagah berbeda dengan serbuk kayu pada umumnya, dimana rumput gelagah (*Sacharum spontaneum* Linn.) merupakan jenis rumputan yang umumnya memiliki berat jenis yang rendah dibandingkan kayu, contohnya rumput *switchgrass* yang memiliki berat jenis antara 0,22-0,24 (Lam et al., 2008) sedangkan kayu mahoni 0,52-0,72 (Mulyono, 2013). Berat jenis yang ringan dan partikel serbuk yang lebih halus dapat menyebabkan serbuk mudah menempel bahkan menggumpal pada saat memasuki pipa dengan suhu tinggi.

Hasil rendemen cairan bio-oil menggunakan *free fall reactor* bervariasi tergantung model dan peralatan pendukung lainnya. Penelitian yang dilakukan oleh Zanzi, Sjostrom, dan Bjornbom (1996) dan Yu et al. (1997) dalam Ellens, (2009) menghasilkan rendemen bio-oil maksimum 5 dan

8% menggunakan suhu 750 dan 700 °C. Tetapi terdapat juga teknik *free fall reactor* yang menghasilkan rendemen mencapai 50-73 % (Xu, Matsuoka, Akiho, Kumagai, & Tomita, 2003; Li, Xu, Liu, Yang, & Lu, 2004; Zhang, Xu, Zhao, & Liu, 2007), hal ini dapat terjadi karena adanya penggunaan alat tambahan yaitu *Electrostatic Precipitator* (ESP) dan *cooled ice box* atau *dry ice cooled condenser* untuk unit kondenser pendingin. Penggunaan ESP akan meningkatkan jumlah rendemen *liquid* yang dihasilkan dengan cara menangkap asap yang tidak dapat di-dinginkan dalam unit kondenser. Prinsip kerja ESP yaitu dengan memberi muatan negatif kepada asap tersebut melalui beberapa elektroda (biasa disebut *discharge electrode*). Jika asap tersebut dilewatkan lebih lanjut ke dalam sebuah kolom yang terbuat dari plat yang memiliki muatan lebih positif (biasa disebut *collecting electrode*), maka secara alami asap tersebut akan tertarik oleh plat-plat tersebut, dan keluar dari kolom dalam bentuk cairan bila bahan utamanya asap atau berbentuk butiran abu halus bila bahan utamanya abu. Sementara penggunaan *cooled ice box* atau *dry ice cooled condenser* dapat mempercepat proses pendinginan uap yang mengalir dalam tabung kondenser.

Rendemen arang berkisar antara 21,78-31,87%, dengan rendemen terbesar berasal dari sampel 20 mesh suhu 550°C dan terkecil pada ukuran 60 mesh 600°C dan rendemen gas berkisar antara 40,98-54,4% dengan rendemen terbesar diperoleh pada dari ukuran 60 mesh dan suhu 600°C dan terkecil diperoleh dari sampel 20 mesh dan suhu 550°C. Hasil rendemen arang masih lebih tinggi jika dibandingkan rendemen arang



Gambar 1. Rendemen liquid produk pirolisis serbuk gelagah suhu 550 – 600°C dengan ukuran 20, 40, dan 60 mesh

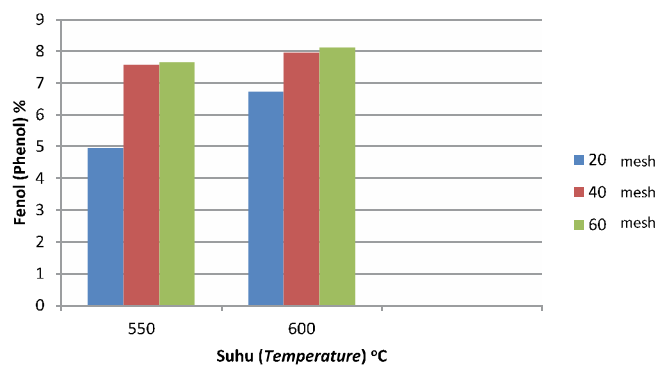
Figure 1. Liquid yield of pyrolysis product from gelagah grass at temperature 550 - 600°C and 20, 40, 60 mesh

penelitian Onay dan Kukar (2006) yang menghasilkan rendemen arang biji *rapeseed* sebesar 14,5-17,9% menggunakan *free fall reactor* pada suhu 550°C, hal ini diduga karena perbedaan bahan baku dan spesifikasi peralatan yang digunakan. Repeseed adalah tanaman penghasil minyak nabati yang diambil dari bijinya yang banyak mengandung lemak nabati. Proses pada suhu 550°C telah menyebabkan sejumlah besar lemak dan minyak dalam bijinya terekstrak ke luar, sehingga rendemen arangnya rendah.

2. Kadar fenol

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar fenol bio-oil rumput gelagah antara 4,96-8,11 % (Tabel 3). Fenol terendah diperoleh pada sampel rumput gelagah ukuran 20 mesh dengan suhu 550 °C yaitu 4,96 % dan kadar fenol tertinggi

diperoleh pada sampel serbuk kayu dengan ukuran 60 mesh suhu 600 °C. Ukuran bahan yang halus dan suhu yang lebih tinggi diduga lebih memaksimalkan pecahnya lignin dalam bahan dibandingkan bahan yang kasar (20 mesh). Menurut Girard (1992) bahwa kandungan fenol dalam cairan hasil pirolisis dipengaruhi oleh kandungan lignin bahan dan suhu pirolisis. Lignin pada dasarnya adalah suatu fenol yang sangat stabil dan sukar dipisahkan, sehingga baru akan terurai pada suhu tinggi seperti pada proses pirolisis suhu 300-500 °C (Djatkiko, Ketaren, & Setyahartini, 1985; Maga, 1987; Haygreen & Bowyer, 1996). Hasil ini lebih besar dari bio-oil serbuk kayu mahoni yang berkisar antara 3,58-3,66 % (Wibowo & Hendra, 2013) pada suhu 400-550 °C.



Gambar 2. Kadar fenol bio-oil rumput gelagah suhu 550 – 600°C dengan ukuran 20, 40, dan 60 mesh

Figure 2. Bio-oil phenol content of gelagah grass at temperature 550 - 600°C and 20, 40, 60 mesh

Tabel 3. Karakteristik bio-oil rumput gelagah
Table 3. Characteristics of bio-oil from gelagah grass

Suhu (Temperature), °C	Ukuran bahan baku (Sample size), mesh	Parameter (Parameters)				
		Fenol (Phenol) (%)	pH (pH)	Bobot jenis (Density) g/cm ³	Nilai kalor (Heat value) MJ/kg	Daya nyala (Flame power)
550	20	4,96	2,69	1,0988	23,88	lambat (Slow)
	40	7,58	2,62	1,1108	25,29	lambat (Slow)
	60	7,65	2,5	1,1166	20,83	lambat (Slow)
600	20	6,73	2,58	1,0989	22,24	lambat (Slow)
	40	7,96	2,51	1,1107	23,04	lambat (Slow)
	60	8,11	2,49	1,1163	20,66	lambat (Slow)

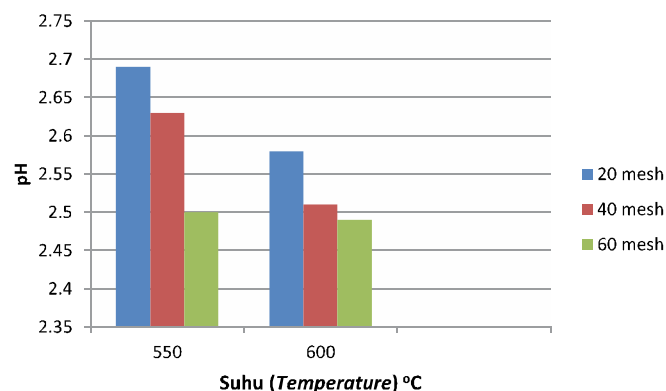
3. pH bio-oil

Bio-oil rumput gelagah mempunyai kadar pH antara 2,49-2,69 (Tabel 3). pH terendah diperoleh pada suhu 600 °C dengan ukuran serbuk sebesar 60 mesh yaitu sebesar 2,49 dan pH tertinggi diperoleh pada sampel dengan ukuran 20 pada suhu 550°C yaitu sebesar 2,69. Keasaman yang tinggi disebabkan adanya asam asetat dan asam lainnya akibat proses pirolisis yang memecah selulosa dan lignin serta zat ekstraktif yang bersifat asam. Hal ini sesuai pendapat Easterly (2002) bahwa keasaman bio-oil cukup tinggi yaitu antara 2,5-3,0 dan mensyaratkan penanganan penyimpanan bio-oil menggunakan bahan yang tahan karat, seperti stainless steel, gelas kaca, plastik, dan fiberglass. Keasaman yang tinggi membuat crude bio-oil hanya dapat digunakan sebagai bahan bakar langsung seperti boiler, penggunaan untuk mesin tidak disarankan karena dapat menyebabkan mesin berkarat akibat

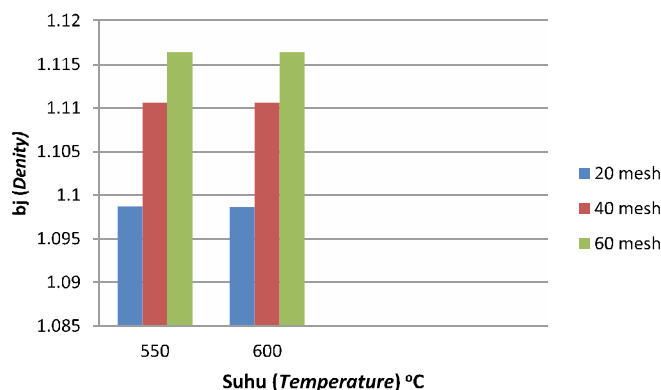
kandungan asam yang tinggi. Untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin, harus dilakukan *upgrading* dengan cara *atalitic cracking*, dimana senyawa dengan berat molekul tinggi akan terpecah menjadi senyawa alkana (Boateng, 2010).

4. Bobot jenis

Hasil pengujian bobot jenis atau densitas bio-oil yang diperoleh dari sampel serbuk rumput gelagah pada ukuran 20 mesh, 40 mesh dan 60 mesh dan suhu 550 - 600°C berkisar antara 1,0988-1,1166 g/cm³ (Tabel 3). Hasil ini lebih rendah dari penelitian Sensoz (2003) yang menghasilkan densitas bio-oil kulit kayu *Pinus brutia* Ten. sebesar 1,2 g/cm³. Tingginya bobot jenis bio-oil disebabkan oleh senyawa kimia yang terkandung di dalam bio-oil banyak yang mempunyai berat molekul yang tinggi. Contohnya adalah senyawa 2-methoxy-4-vinyphenol dan senyawa carbonic



Gambar 3. pH bio-oil rumput gelagah suhu 550 – 600°C dengan ukuran 20, 40, dan 60 mesh
Figure 3. Bio-oil pH content of gelagah grass at temperature 550 - 600°C and 20, 40, 60 mesh



Gambar 4. Bobot jenis bio-oil rumput gelagah pada suhu 550 - 600°C dengan ukuran 20, 40, dan 60 mesh

Figure 4. Bio-oil density content of gelagah grass at temperature 550 - 600°C and 20, 40, 60 mesh

acid, butyl 4-isopropylphenyl ester (Lampiran 2), yang dihasilkan pada sampel 40 mesh suhu 600 °C mempunyai berat molekul masing-masing 150 dan 236. Menurut Otomotif (2008), semakin banyak presentasi zat dengan berat molekul tinggi, maka berat jenis larutan bahan bakar tersebut akan semakin tinggi. Berbeda dengan bahan bakar minyak bumi yang mempunyai presentase zat bermolekul berat yang rendah, sehingga densitasnya cenderung lebih ringan. Bila bahan bakar mengandung banyak senyawa dengan berat molekul tinggi akan menyulitkan proses penguapan dalam ruang bakar mesin, dan cenderung menjadi jelagah yang tidak terbakar sempurna.

5. Nilai kalor

Nilai kalor pembakaran menunjukkan energi kalor yang terkandung dalam tiap satuan massa bahan bakar. Tabel 3 menunjukkan nilai kalor bio-oil dari serbuk rumput gelagah yang diukur dengan alat *calorimeter bomb* yaitu 20,66 dan 25,29 MJ/kg. Nilai kalor tertinggi diperoleh pada sampel 40 mesh 550°C dan terendah pada sampel 60 mesh 600 °C. Nilai kalor ini lebih tinggi jika dibandingkan bio-oil sengon dengan proses pirolisis lambat menghasilkan nilai kalor 22,42 MJ/kg (Wibowo, 2013), tetapi masih lebih rendah jika dibandingkan penelitian (Onay & Kockar, 2006) yang menghasilkan bio-oil dari biji *rapeseed* dengan nilai kalor sebesar 37,9 MJ/kg. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan bahan baku dan alat pirolisis yang digunakan. Biji *rapeseed*

merupakan sumber minyak nabati yang dikenal sebagai minyak *rapeseed* atau *rapa* yang diperoleh dari tumbuhan bermarga *Brassica*. Adanya kandungan minyak nabati dalam bahan baku bio-oil akan meningkatkan nilai kalor dari bio-oil yang dihasilkan.

6. Daya nyala

Pengujian daya nyala dilakukan untuk mengetahui kemampuan bio-oil untuk menyala bila diberi sumber api. Daya nyala bio-oil rumput gelagah menggunakan *free fall pyrolysis* dapat dilihat pada Tabel 3. Semua sampel mempunyai kategori lambat (menyala di atas 6 detik). Hal ini disebabkan masih dominannya senyawa asam asetat dan fenol di dalam *liquid* hasil pirolisis *free fall*. Bio-oil atau *pyrolytic oil* tidak sama dengan bahan bakar minyak pada umumnya yang mempunyai kemampuan daya nyala yang cepat terbakar. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan air (cuka kayu) yang terdapat di dalam sampel bio-oil tersebut. Untuk dapat memperbaiki daya nyala bio-oil dapat dilakukan dengan mencampurkan bahan tambahan polar seperti etanol. Stamatov, Honnery, dan Soria. (2005) telah melakukan ujicoba mengenai daya bakar biooil yang sudah dipisahkan bagian airnya dengan mencampurkan etanol lalu diujicoba menggunakan *combuster*, hasil ujicoba memberikan hasil nyala bio-oil lebih pendek, lebih lebar dan lebih terang dibandingkan dengan nyala bahan bakar diesel dengan kondisi yang sama. Adanya bahan tambahan polar seperti etanol tersebut

dapat memperbaiki atomisasi yang lemah dan nilai kalor yang rendah dari bio-oil. Kemampuan nyala bio-oil rumput gelagah lebih baik dibandingkan bio-oil dari *sludge* kertas yang masuk katagori tidak terbakar (Wibowo & Hendra, 2013). Hal ini dapat terjadi karena perbedaan karakteristik bahan baku yang digunakan.

7. Hasil GCMS (*Gas Chromatography Mass Spectrometry*)

Hasil pengujian GCMS menunjukkan bahwa komponen kimia bio-oil serbuk rumput gelagah ukuran 20 mesh pada suhu 550 °C (Lampiran 1), terdeteksi 20 komponen, yang didominasi oleh asam asetat, 1-hidroxy 2-propanone, golongan phenol, dan 3-furaldehyd. Sedangkan untuk ukuran 20 mesh pada suhu 600 °C (Lampiran 2), terdeteksi 34 komponen kimia dan didominasi oleh asam asetat, golongan phenol, 1-hidroxy 2-propanone, atau acetone, dan 2-furancarboxaldehyde. Suhu yang tinggi menyebabkan komponen kimia terpecah menjadi komponen lainnya sehingga jumlah komponen bertambah.

Komponen kimia bio-oil serbuk rumput gelagah ukuran 40 mesh pada suhu 550 °C terdapat 38 komponen, yang juga didominasi oleh asam asetat, golongan phenol, 1-hidroxy 2-propanone atau aseton, butanediol dan furfural. Sementara pada suhu 600 °C, juga terdeteksi sebanyak 38 komponen dan didominasi oleh asam asetat, golongan phenol, 1-hidroxy 2-propanone atau aseton, butanediol dan benzenmethanol.

Komponen kimia bio-oil serbuk rumput gelagah ukuran 60 mesh pada suhu 550 °C terdapat 33 komponen, didominasi oleh asam asetat, golongan phenol, golongan 1-hidroxy 2-propanone atau aseton, butanediol dan toluen. Sementara pada suhu 600 °C juga terdeteksi sebanyak 45 komponen dan didominasi oleh asam asetat, golongan phenol, 1-hidroxy 2-propanone atau aseton, butanediol, dan propanal.

Dari hasil analisis GCMS dapat dilihat bahwa ukuran bahan baku dan suhu dapat mempengaruhi komponen kimia bio-oil yang dihasilkan. Pada ukuran 60 mesh atau halus, lebih banyak komponen kimia sampel yang terurai pada suhu tinggi dibandingkan sampel berukuran lebih besar. Jumlah komponen kimia sampel 60 mesh 600 °C lebih banyak diduga karena ukuran sampel yang halus memudahkan pecahnya sampel

menjadi komponen-komponen kimia lainnya.

Bio-oil serbuk rumput gelagah pada ukuran 20 mesh, 40 mesh dan 60 mesh dengan suhu 550 °C dan 600 °C didominasi asam asetat dan fenol. Ini tidak berbeda dengan bio-oil yang dihasilkan dari serbuk kayu sengon (Wibowo, 2013). Asam asetat berperan penting dalam produksi etanol di mana dua pertiga energi di dalam etanol berasal dari asam asetat, dan sepertiganya berasal dari penambahan hidrogen (Kanellos, 2009).

Terdapat komponen senyawa 1hidroxy 2 propanon atau yang lebih dikenal sebagai aseton yang merupakan senyawa tidak berwarna, berbentuk cairan yang mudah menguap, mudah terbakar dan mudah larut dalam pelarut polar. Rumus kimia aseton adalah C_3H_6O . Aseton dapat dimanfaatkan sebagai bahan pelarut, bahan pembuatan plastik, serat, obat-obatan, dan senyawa-senyawa kimia lainnya. Selain itu terdeteksi juga senyawa toluen yang merupakan senyawa turunan benzena. Toluena dikenal juga sebagai metilbenzena atau fenilmetana, merupakan cairan tidak berwarna, mudah terbakar, tidak larut dalam pelarut air dan tergolong sebagai hidrokarbon aromatik dengan rumus kimia C_7H_8 (Fessenden & Fessenden, 1992; Riswiyanto, 2009).

8. Ujicoba *upgrading*

Hasil ujicoba perbaikan mutu (*upgrading*) pada bio-oil yang dihasilkan dari serbuk rumput gelagah 40 mesh dengan suhu 550 °C, dengan cara pemanasan pada suhu 300 °C. Uap hasil pemanasan diembunkan dan diperoleh 2 fraksi cairan yaitu asap cair dan *liquid* (sejenis minyak) yang berada di lapisan atas asap cair serta sisa bio-oil yang sangat kental seperti aspal. *Liquid* yang berada di lapisan atas asap cair dipisahkan dan diperoleh rendemen berkisar antar 0,8 - 1 % v/v dengan rendemen rata-rata 0,87 %. Rendemen yang dihasilkan masih rendah, hal ini diduga disebabkan *upgrading* yang dilakukan tanpa menggunakan katalis, sehingga proses *cracking* belum berjalan optimal memecah senyawa organik rantai panjang menjadi rantai yang lebih pendek.

Hasil uji daya nyala menunjukkan *liquid* tersebut masuk dalam katagori cepat (0-2 detik) sama seperti daya nyala bahan bakar bensin atau alkohol (0-2 detik). Hasil uji GCMS (Lampiran 3) terdapat senyawa benzenmethanol, dan

teridentifikasi adanya senyawa alkena yaitu 3-hexadecene ($C_{16}H_{32}$) dan cyclotetradecene ($C_{14}H_{28}$), selain itu terdapat juga n-heptacosane ($C_{27}H_{56}$), n-triacontane ($C_{30}H_{62}$) dan n-tetratriacontane ($C_{34}H_{70}$) yang merupakan turunan hidrokarbon alkana (C_nH_{2n+2}) dengan rantai yang masih panjang atau sering disebut *higher alkanes* karena mempunyai rantai karbon yang panjang. Senyawa alkena merupakan senyawa hidrokarbon yang mengandung ikatan rangkap karbon-karbon/ikatan rangkap dua atau disebut ikatan tidak jenuh, mempunyai rumus C_nH_{2n} . Sementara itu senyawa yang banyak terdapat dalam minyak bumi adalah alkana C_nH_{2n+2} yang tidak memiliki ikatan rangkap atau disebut ikatan jenuh (Fessenden & Fesenden, 1992). Untuk dapat dihasilkan senyawa turunan hidrokarbon alkana adalah dengan cara *upgrading* (peningkatan kualitas) bio-oil melalui proses *cracking* dengan penambahan katalis (*Catalitic cracking*) dan hidrogen pada proses pengolahan bio-oil. Adanya proses hidrogenasi pada senyawa alkena dapat merubah alkena menjadi alkana dan memecah rantai panjang menjadi rantai yang lebih pendek (Fessenden & Fesenden, 1992).

IV. KE SIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Pembuatan bio-oil dari rumput gelagah dilakukan dengan teknik pirolisis *free fall pyrolysis* pada suhu 550 dan 600 °C dengan ukuran 20 mesh, 40 mesh dan 60 mesh, diperoleh sifat fisiko kimia yaitu rendemen *liquid* berkisar antara 23,81–30,88 %, kadar fenol 4,96–8,11 %, pH 2,49–2,69, bobot jenis 1,0988–1,1166 g/cm³, daya nyala di atas 6 detik (lambat), dan nilai kalor 20,66–25,29 MJ/kg.

Biomassa rumput gelagah dengan ukuran lolos ayakan 40 mesh menghasilkan *liquid* lebih baik pada suhu 550 °C dengan karakteristik; rendemen *liquid* 30,88 %, kadar fenol 7,58 %, pH 2,62, bobot jenis 1,1108 g/cm³, nilai kalor 25,29 MJ/kg dan daya nyala di atas 6 detik (lambat).

Bio-oil yang dihasilkan didominasi oleh asam-asam terutama asam asetat, dan fenol serta terdapat beberapa komponen zat yang mudah terbakar yaitu aseton, benzene, dan toluen.

B. Saran

Hasil sampling pengolahan bio-oil adalah arang dengan rendemen berkisar antara 21,78–31,87%, dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif arang briket dan pellet serta arang aktif yang berpotensi meningkatkan nilai tambah. Sedangkan hasil sampling gas dengan rendemen antara 40,98–54,4% masih belum dimanfaatkan. Untuk meningkatkan mutu bio-oil sebagai bahan bakar mesin perlu dilakukan penelitian *upgrading* bio-oil melalui teknik *cracking* yaitu pemecahan senyawa organik rantai panjang menjadi dua atau lebih senyawa organik rantai lebih pendek.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, S. S. (1990). Kimia kayu. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Pusat Universitas Ilmu Hayat IPB, Bogor.
- Asano N., Nishimura, J., Nishimiya, K., Hata, T., Imamura, Y., Ishihara, S., & Tomita, B., (1999). Formaldehyde reduction in indoor environments by wood charcoals. *Wood Researchs*, 86. Kyoto University.
- ASTM. (1978). *Standard test method for α -cellulose*. (ASTM 1103-60-1978). USA: Annual Books of ASTM Standards.
- ASTM. (2001). *Standard test method for ethanol-toluene solubility of wood*. (ASTM 1107-96-2001). USA: Annual Books of ASTM Standards.
- Astuti, P. (2012). *Keragaman kadar lignin pada empat jenis bambu*. (Skripsi). IPB, Bogor.
- Boateng, A.A. (2010). Pyrolysis oil-Overview of characteristic and utilization. <http://bioweb.sungrant.org/nr/ronlyres/b8fdd6f2-5900-4a9c-9cb8-9da483fd7523/0/pyrolysisoilauthorsarticle.pdf>, diakses 1 Desember 2014.
- BPPT. (2011). *Energi masa depan di sektor transportasi dan kelistrikan*. Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya dan Energi. BBPT. Jakarta: BPPY-Press.

- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (1989). Cara uji kadar holoselulosa kayu. (SNI 01-1303-1989). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (1989). Cara uji kadar lignin pulp dan kayu (Metoda Klason). (SNI 14-0492-1989). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (1991). Metode pengujian kualitas fisika air. (SNI 06-2413-1991). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). Air, Metode pengujian kadar fenol dengan alat spektrofotometer secara amino anti pirin. Jakarta: BSN. (SNI 06-2469-1991). Telah direvisi menjadi SNI 06-6989.21-2004 - Air dan air limbah - Bagian 21: Cara uji kadar fenol secara spektrofotometri. (SNI 06-6989.21-2004). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). Arang tempurung kelapa. (SNI 01-1682-1996). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Brown, R.C & Holmgren, J. (2012). Fast pyrolysis and bio-oil upgrading. <http://www.ascension-publishing.com/BIZ/HD50.pdf>, diakses 27 Februari 2012.
- Djarmiko, B., Ketaren, S., & Setyahartini, S. (1985). *Pengolahan arang dan kegunaannya*. Bogor: Agro Industri Press.
- Diebold, J.P. (1997). *A review of the toxicity of biomass pyrolysis liquids formed at low temperatures*. NREL/TP-430-22739. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- Easterly J.L. (2002). *Assessment of bio-oil as a replacement for heating oil*. CONEG Policy Research Center, Inc.
- Ellens, C.J. (2009). *Design, optimization and evaluation of a free-fall biomass fast pyrolysis reactor and its products*. Thesis. Iowa State University, Iowa.
- ESDM. (2015). Laju eksplorasi cadangan minyak Indonesia sangat tinggi <http://www.esdm.go.id/berita/40-migas/5529-laju-eksplorasi-cadangan-minyak-indonesia-sangat-tinggi.html>, diakses 15 Januari 2015.
- Fengel, D., & Wegener, G. (1995). *Kayu: Kimia ultrastruktur reaksi-reaksi*. Sastrohamidjojo H. (penerjemah). Yogyakarta. Gajah Mada University Press.
- Fessenden, R.J., & Fessenden, J.S. (1992). *Kimia organik*, (Jilid 2). Pudjaatmaka, A.H. (Penerjemah) (Edisi Kedua). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Girard, J.P., & Morton. (1992). *Smoking In: Teknologi of meat and meat products*, (1th ed.) New York: Ellis Horwood Limited.
- Hambali, E., Mujdalifah, S., Tambunan, A.H., Pattiwiri, A.W., & Hendroko, R. (2007). *Teknologi bioenergi*. Jakarta: Agro Media Pustaka.
- Haygreen, J.G., & Bowyer, J.L. (1996). *Hasil hutan dan ilmu kayu suatu pengantar*. Hadikusomo S.A., (Penerjemah). Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Imam. T., & Capareda, S. (2012). Characterization of bio oil, syn gas, and bio char from switchgrass pyrolysis at various temperature. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 93, 170-177.
- Kanellos M. (2009). Fuel from vinegar? zechem gets \$34M to try it out. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/fuel-from-vinegar-zechem-gets-34m-to-try-it-out-5472/>, diakses tanggal 3 Desember 2012.
- Krause, R. (2001). Bio and alternative fuels for mobility. In enhancing biodiesel development and use. *Proceedings of the International Biodiesel Workshop, Tiara Convention Center, Medan. 24 Oktober 2001*. Ditjen Perkebunan, Departemen Pertanian. Jakarta.
- Lam, P.S., Sokhansanj, S. X.Bi., Lim, C.J., Naimi, L.J., Hoque, M., Mani, S., Womac, A.R., Ye, X.P. & Narayan, S. (2008). Bulk density of wet and dry wheat straw and switchgrass particles. *Applied Engineering in Agriculture*, 24(3), 351-358.

- Li, S., Xu, S., Liu, S., Yang, C., Lu, Q. (2004). Fast pyrolysis of biomass in free-fall reactor for hydrogen-rich gas. *Fuel Processing Technology*, 85, 1201-1211.
- Maga, J.A. (1987). *Smoke in food processing*. Florida: CRC Pres. Inc. Boca Raton.
- Mulyono, A. (2013). 6 Jenis kayu untuk membuat mebel yang telah diuji oleh Balai Penelitian Kayu. <http://www.vedcmalang.com/pppptkboemlg/index.php/menuutama/departemen-bangunan-30/542-6-jenis-kayu-untuk-membuat-mebel-yang-telah-diuji-oleh-balai-penelitian-kayu>, diakses 17 November 2014.
- Onay, & Kockar, O.M. (2006). Pyrolysis of rapeseed in a free fall reactor for production of bio-oil. *Fuel* 85, 1921-1928.
- Otomotif. (2008). Pengaruh berat jenis pada pembakaran. <http://otomotif-inovatif.blogspot.com/2008/07/pengaruh-berat-jenis-pada-pembakaran.html>, diakses 28 November 2014.
- Riswiyanto. (2009). *Kimia organik*. Jakarta: Erlangga.
- Sensoz, S. (2003). Slow pyrolysis of wood bark from *Pinus bruti* Ten. end product compositions. *Jurnal Bioresource Technology* 89, 307-311.
- Sjostrom, E. (1998). *Kimia kayu. Dasar-dasar dan penggunaan*. (Edisi kedua). Sastrohamidjojo H., (penerjemah). Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Stamatov, V., Honnery, D., & Soria, J. (2005). Combustion properties of slow pyrolysis bio-oil produced from indigenous Australian species. *Renewable Energy*, 31, 2108-2121.
- Wibowo, S. (2009). *Karakteristik arang aktif tempurung biji nyamplung (Calophyllum inophyllum Linn) dan aplikasinya sebagai adsorben minyak nyamplung*. (Tesis). Program Pendidikan Pasca Sarjana. Institute Pertanian Bogor. Bogor.
- Wibowo, S. (2013). Karakteristik bio-oil serbuk gergaji sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) menggunakan proses pirolisis lambat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 31(4), 258-270.
- Wibowo, S. & Hendra, D. (2013). Teknologi pengolahan bahan bakar nabati berbasis selulosa dan hemiselulosa (bio-oil). *Laporan Hasil Penelitian*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan.
- Xu, W.C., Matsuoka, K., Akiho, H., Kumagai, M., & Tomita, A. (2003). High pressure hydropyrolysis of coals by using a continuous free-fall reactor. *Fuel*, 82, 677-685.
- Zanzi, R., Sjostrom, K., & Bjornbom, E. (1996). Rapid high-temperature pyrolysis of biomass in a free-fall reactor. *Fuel*, 75, 545-550.
- Zhang, L., Xu, S. Zhao, W., & Liu, S. (2007). Co-pyrolysis of biomass and coal in a free fall reactor. *Fuel*, 86, 353-359.

Lampiran 1. Komponen kimia bio-oil pada 550 °C
Appendix 1. Chemical components of bio-oil in 550 °C

Peak	Serbuk rumpun gelagah 20 mesh (20 mesh of gelagah grasspounder)			Serbuk rumpun gelagah 40 mesh (40 mesh of gelagah grass powder)			Serbuk rumpun gelagah 60 mesh (60 mesh of gelagah grass powder)		
	R.Time	Name	Conc. (%)	R. Time	name	Conc. (%)	R. Time		Conc. (%)
1	1.328	Carbamic acid	2,76	1.345	Ethyne, fluoro	1,35	1.348	Oxirane (CAS) Epoxyethane	0,99
2	1.423	Acetic acid anhydride	2,22	1.418	2-propanone (CAS) Acetone	1,16	1.419	Acetone	2,14
3	1.455	Acetic acid, methyl ester	0,38	1.455	Acetic acid, methyl ester	0,25	1.455	Acetic acid, methyl ester	0,41
4	1.564	Acetic acid	18,34	1.579	Acetic acid	23,16	1.589	Acetic acid	29,34
5	1.755	2-propanone -1-hydroxy	11,89	1.754	2-propanone -1-hydroxy	11,55	1.620	(5)-2-Hydroxypropanoic acid	0,72
6	2.229	2-propanone -1-hydroxy (CAS)	13,01	1.845	Propanoic acid	1,96	1.758	2-propanone -1-hydroxy	14,19
7	2.290	Butanoic acid	1,10	2.078	Ethanol, 1-cyclopropyl	0,18	1.857	Propanoic acid	2,77
8	2.331	Butenedial (CAS) Succinaldehyde	13,51	2.229	1,2-Ethandiol, monoacetate	2,36	1.944	2-Butanone, 3-hydroxy (CAS) Acetoir	0,68
9	2.440	Cyclopentanone (CAS) Dumas	0,76	2.331	Butenedial (CAS) Succinaldehyde	4,21	2.079	2-Butanone, 3-methyl (CAS) 3methyl	0,39
10	2.585	2,5 Furanone (CAS) Meleic acid	0,56	2.740	2,5 Furanone (CAS) Meleic acid	0,74	2.234	Acetic acid, methyl ester	2,75
11	2.740	2,5 Furanone (CAS) Meleic acid	0,47	2.781	Furancarboxaldehyde (CAS) Furfural	3,57	2.275	Toluene	1,04
12	2.782	3-Furaldehyde	9,78	2.985	2-Butanone	0,86	2.335	Butenedial (CAS) Succinaldehyde	3,96
13	2.985	2-Butanone	3,18	3.063	2-Propanon, 1-(acetiloxi)	1,68	2.436	Cyclopentanone (CAS) Dumas	0,50
14	3.062	2-Propanon, 1-(acetiloxi)	2,51	3.564	2-Cyclopenten-1-one, 2- methyl	0,83	2.782	2 Furancarboxaldehyde (CAS) Furfural	4,10
15	3.565	2-Cyclopenten-1-one, 2- methyl	1,02	3.614	Ethanol, 1-(2-furanil)	0,23	2.990	2-Butanone	1,01
16	3.653	2(3H)-Furanone, dihydro	4,20	3.658	Butyrolactone	2,44	3.068	2-Propanon, 1-(acetiloxi)	1,68
17	4.555	Phenol	9,58	3.792	2,5-Hexanedione (CAS) Diacetocyl	0,67	3.568	2-Cyclopenten-1-one, 2- methyl	0,82
18	5.266	2-Cyclopentene-1one, 2hydroxy-3 methyl	1,51	4.021	2,5-Furanedion, dihydro-3-methylene	0,21	3.662	Butyrolactone	2,14
19	5.471	5-Hydroxy-2-heptanone	0,33	4.307	5 Methyl Furfural	0,40	3.799	2,5-Hexanedione (CAS) Diacetocyl	0,4
20	7.644	Phenol-4-ethyl	2,59	4.345	2-Cyclopentene-1one, -3 methyl	1,42	4.225	1,3-dioxolan-2-one, 4-methyl	0,37
21				4.548	Phenol	6,11	4.310	5 Methyl Furfural	0,51
22				4.864	-	1,33	4.354	2-Cyclopenten-1-one, 3- methyl	1,27
23				5.190	4-Heptene-3-ol, 4 methyl	0,23	4.549	Phenol	5,51
24				5.284	2-Cyclopentene-1one, 2hydroxy-3 methyl	4,31	5.284	2-Cyclopentene-1one, 2hydroxy-3 methyl	2,94
25				5.471	2-Cyclopentene-1one, -2,3 dimehtyl	0,77	5.477	2-Cyclopentene-1one, -2,3 dimehtyl	0,61
26				5.513	2,2 -Bi-1,3-dioxolane	0,57	5.525	2,2 -Bi-1,3-dioxolane	0,29
27				5.570	4-methyl 5H-furan-2-one	0,45	5.700	Phenol, 2-methyl	2,00
28				5.699	Phenol, 2-methyl	2,46	6.052	Phenol, 3-methyl	4,53
29				6.054	Phenol, 4- methyl	5,69	6.308	Phenol, 2-methoxy	0,50
30				6.307	Phenol, 2-methoxy	0,70	6.799	2-Cyclopentene-1one, -3 ethyl-2-hydroxy	0,37

Lampiran 1. Lanjutan
Appendix 1. Continued

Peak	Serbuk rumput gelagah 20 mesh (20 mesh of gelagah grass powder)		Serbuk rumput gelagah 40 mesh (40 mesh of gelagah grass powder)		Serbuk rumput gelagah 60 mesh (60 mesh of gelagah grass powder)	
	R.Time	Conc. (%)	R. Time	name Conc. (%)	R. Time	Conc. (%)
31			6.799	2-Cyclopentene-1-one, -3 ethyl-2-hydroxy	7.608	9,32
32			7.614	Phenol, 4-ethyl-		
33			8.523	Benzofuran, 2,3-dihydro	8.517	1,45
34			9.535	Phenol, 4-ethyl-2 methoxy	9.619	0,49
35			9.616	1H-Inden-1-one, 2,3 dihydro		
36			10.129	4-Hydroxy-3-methylacetophenone		
37			10.744	Phenol, 2,6-dimethoxy		
38			11.577	Benzaldehyde, 4-hydroxy-3-methoxy		

Lampiran 2. Komponen kimia bio-oil pada 600 °C
Appendix 2. Chemical components of bio-oil in 600 °C

Peak	Serbuk rumpul gelagah 20 mesh (20 mesh of gelagah grass powder)			Serbuk rumpul gelagah 40 mesh (40 mesh of gelagah grass powder)			Serbuk rumpul gelagah 60 mesh (60 mesh of gelagah grass powder)		
	R.Time	Name	Conc. (%)	R. Time	name	Conc. (%)	R.Time		Conc. (%)
1	1.421	2-propanone (CAS) Acetone	1,00	1.348	2-propanamine	0,39	1.338	N-methyltaurine	0,62
2	1.554	Acetic acid	17,84	1.419	2-propanone (CAS) Acetone	0,97	1.417	2-propanone (CAS) Acetone	1,28
3	1.755	2-propanone -1-hydroxy (CAS) Asetol	7,29	1.570	Acetic acid	18,20	1.574	Acetic acid	33,34
4	1.820	Propanoic acid	1,46	1.757	2-propanone -1-hydroxy	8,81	1.620	2-propanone -2-hydroxy, methylester	1,16
5	2.075	Ethanone 1-cyclopropil	0,38	1.835	Propanoic acid	1,32	1.755	2-propanone -1-hydroxy	12,13
6	2.231	1,2-Ethandiol, monoacetate	1,46	2.078	Ethanone, 1-cyclopropil	0,13	1.836	Propanoic acid	3,04
7	2.293	Butanoic acid	1,61	2.231	Acetic acid, methyl ester	1,11	1.942	2-Butanone, 3-hydroxy (CAS) Acetoir	0,75
8	2.333	Butenedial (CAS) Succinaldehyde	1,47	2.333	Butenedial (CAS) Succinaldehyde	3,05	2.073	2,3-Butanediol	2,49
9	2.780	2- Furancarboxaldehyde (CAS)Furfural	4,32	2.745	2,5 Furandione (CAS) Meleic acid	0,28	2.228	1,2-Ethandiol, diacetate	1,48
10	2.989	1-methyl-1-propenyl acetate	0,59	2.783	2-Furancarboxaldehyde (CAS)Furfural	2,69	2.298	Pentanoic acid (CAS) Valenic acid	2,39
11	3.064	2-Propanon , 1-(acetiloxi)	1,48	2.986	1-Methyl -1-propenil acetate	0,57	2.330	Propanal	1,89
12	3.567	2-Cyclopenten-1-one, 2- methyl	0,98	3.064	1,2-Ethandiol, diacetate	0,82	2.429	Cyclopentanone (CAS) Dumasin	0,23
13	3.610	Ethanone 1-(2-furanil)	0,39	3.566	2-Cyclopenten-1-one, 2- methyl	0,72	2.655	Pyridine, 2-methyl	0,23
14	3.655	Butyrolactone	1,71	3.615	Ethanone, 1(2-furanil)	0,23	2.735	2,5 Furandione (CAS) Meleic acid	0,29
15	4.308	2- Furancarboxaldehyde , 5 methyl	0,69	3.656	Butyrolactone	1,84	2.776	2-Furancarboxaldehyde (CAS)Furfural	2,77
16	4.350	2-Cyclopenten-1-one, 3- methyl	1,28	3.795	2,5-Hexanedione (CAS) Dyacetocyl	0,21	2.983	5,9-dodecadien-2-one,6,10 dimethyl	0,60
17	4.544	Phenol	7,85	4.309	2-Furancarboxaldehyde, 5 methyl	0,42	3.058	2-propanone -1-(acetiloxi)	1,12
18	4.755	4,4-Dimethyl 2-Cyclopentene-1one	0,21	4.350	2-Cyclopentene-1one, -3 methyl	1,36	3.558	2-Cyclopentene-1one, -2- methyl	0,54
19	5.474	2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl	0,80	4.546	Phenol	8,33	3.608	Ethanone, 1(2-furanil)	0,15
20	5.698	Phenol-2-methyl	4,56	4.755	4,4-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	0,19	3.647	Butyrolactone	1,93
21				5.276	2-Cyclopentene-1one, 2hydroxy-3 methyl	2,97	3.786	1-Pentanol, 2-methyl	0,40
22	5.930	Dicumyl peroksida	0,16	5.474	2-Cyclopentene-1one, 2,3-dimethyl	0,69	4.016	Furan (CAS) Oxole	0,10
23	6.043	Phenol, 4- methyi	9,09	5.608	Phenol, 2-methyl	4,05	4.216	Propionic acid	0,14
24	6.305	Phenol, 2-methoxy	0,88	6.048	Phenol, 4- methyi	8,87	4.255	alpha-amino-gammabutyrolacton	0,11
25	6.516	Bisyclo [2,2,2] octane, 2-methyl	0,24	6.309	Phenol, 2-methoxy (CAS) Guaiacol	0,42	4.300	5 Methyl furfural	0,33
26	6.587	Phenol, 2,6-dimethyl	0,40	6.588	Phenol, 2,6-dimethyl	0,3	4.342	2-Cyclopentene-1one, -3 methyl	0,83
27	6.793	2-Cyclopentene-1one, -3 ethyl-2-hydroxy	0,51	6.797	2-Cyclopentene-1one, -3 ethyl-2-hydroxy	0,52	4.445	2H-Pyran-2-one	0,10
28	7.606	Phenol, 4-ethyl-	19,83	7.026	2-Cyclopentene-1one, -3 ethyl-(1-methylethyl)	0,19	4.553	Phenol	7,41
29	7.965	Napthalene	0,44	7.306	Phenol, 3-ethyl	1,97	4.745	2-Cyclopentene-1one, -3 ,4 dimethyl	0,16
30	8.072	2-methoxy-4-methylphenol	0,35	7.340	3-bromo-1-phenyl-3-buten-1-ol	0,59	4.822	Cyclohexacarboxaldehyde, 4-methyl	0,53
31	8.516	Benzofuran, 2,3-dihydro	5,46	7.605	Phenol, 4-ethyl-	16,47	5.180	4-Hepten-3-ol, 4- methyl	0,13
32	9.530	Phenol, 4-ethyl-2 methoxy	0,43	8.516	Benzofuran, 2,3-dihydro	3,85	5.260	2-Cyclopentene-1one, -2-hydroxy, 3-methyl	2,30
33	9.614	1H-Inden-1-one, 2,3 dihydro	0,86	8.565	p-hydroxystyren	1,04	5.465	5-Hydroxy, 2-heptanone	0,40

Peak	Serbuk rumpit gelagah 20 mesh (20 mesh of gelagah grass powder)			Serbuk rumpit gelagah 40 mesh (40 mesh of gelagah grass powder)			Serbuk rumpit gelagah 60 mesh (60 mesh of gelagah grass powder)		
	R.Time	Name	Conc. (%)	R. Time	name	Conc. (%)	R.Time		Conc. (%)
34	10.137	2-methoxy-4-vinylphenol	1,01	8.736	Phenol, 2,(1-methetoxy)	2,63	5.510	1.3-Deoxolane,2-ethyl	0,008
35				8.848	Carbonic acid, butyl 4-isopropylphenyl ester	0,51	5.560	4-Methyl-5H-furan-2-one	0,13
36				9.619	1H-Inden-1-one, 2,3 dihydro	0,71	5.684	Phenol, 2-methyl	2,49
37		-		10.133	2-methoxy-4-vinylphenol	0,60	6.031	Phenol, 3-methyl	5,76
38	-	-		10.890	Benzenmethanol, alpha	1,97	6.293	Phenol, 2-methoxy	0,39
39							6.573	Phenol, 2,6-dimethyl	0,15
40							6.784	2-Cyclopentene-1-one, 3-ethyl -2-hydroxy	0,32
41							7.502	Phenol, 4-ethyl	9,19
42							8.510	Benzoofuran, 2,3-dihydro	1,65
43							9.520	Phenol, 4-ethyl, 2-methoxy	0,03
44							9.603	1H-Inden-1-one, 2,3 dihydro	0,23
							10.123	2-methoxy-4-vinylphenol	0,20

Lampiran 3 : Komponen kimia bio-oil upgrading
Appendix 3 : Chemical components of upgrading bio-oil

Peak	R.Time	Name	Conc. (%)
1	4.212	Acetic acid (CAS) Ethylic acid	0,63
2	4.542	2-Butenal (CAS) Crotonaldehyde	0,08
3	8.704	Pyrazole, 1,4-dimethyl-	1,86
4	9.711	Benzenepropanoyl bromide (CAS) Hydrocinnamoyl bromide	0,89
5	10.316	2,4-Dimethylfuran	1,05
6	10.642	1,2-diethylcyclobutene plus 1-ethyl-2-ethylidenecyclobutane	0,70
7	10.968	Benzene, 1-ethyl-2-methyl- (CAS) o-E thyltoluene	0,56
8	11.275	6-(HYDROXY-PHENYL-METHYL)-2,2-DIMETHYL-CYCLOHEXANONE	1,19
9	11.652	Benzofuran (CAS) Coumarone	2,01
10	11.971	Benzenesulfonic acid, 4-hydroxy- (CAS) Benzenesulfonic acid, p-hydroxy-	3,76
11	12.382	1H-Indene (CAS) Inden	2,01
12	12.848	Phenol, 2-methyl- (CAS) o-Cresol	4,83
13	13.211	2-Propenal, 3-phenyl- (CAS) Cinnamaldehyde	7,93
14	13.867	-	7,05
15	14.233	Benzenemethanol, 4-methyl- (CAS) p-Methylbenzyl alcohol	9,92
16	14.848	Benzene, 2-methoxy-1,3-dimethyl-	3,88
17	14.917	Cyclopropane, nonyl- (CAS)	1,31
18	15.017	(1-METHYL-BUTA-1,3-DIENYL)-BENZENE	3,89
19	15.475	2-Cyclopenten-1-ol, 1-phenyl- (CAS) 3-PHENYL-3-HYDROXYCYCLOPENTENE	4,18
20	15.643	1,6-METHANO[10]ANNULENE	2,22
21	15.889	(1-METHYL-PENTA-1,3-DIENYL)-BENZENE	3,29
22	16.092	-	1,43
23	16.355	Naphthalene, 2-ethyl- (CAS) .beta.-E thyl naphthalene	3,53
24	16.735	3-Hexadecene, (Z)- (CAS)	4,13
25	16.991	-	1,69
26	17.258	Acenaphthylene, 1,2-dihydro- (CAS) Acenaphthene	1,44
27	17.539	1-Tetradecanol (CAS) Alfol 14	3,16
28	17.817	3-(2-METHYL-PROPENYL)-1H-INDENE	0,64
29	18.217	Cyclotetradecane (CAS)	3,42
30	18.465	9H-Fluoren-9-ol	0,42
31	18.566	1-Dodecanol, 3,7,11-trimethyl- (CAS) Hexahydrofarnesol	1,33
32	18.970	9H-Fluorene, 1-methyl- (CAS) 1-Methylfluorene	2,46

Lampiran 3 : Lanjutan
Appendix 3 : Continued

Peak	R.Time	Name	Conc. (%)
33	19.392	3-(1'-ACETOXY-2',2'-DIMETHYL-5'-OXO-1'-CYCLOPENTYL)PROPIONIC ACID METHYL ESTER	0,44
34	19.712	1-Tricosanol (CAS) TRICOSANOL-1	1,38
35	19.921	Hexadecanenitrile (CAS) Palmitonitrile	1,63
36	20.371	9-Octadecenoic acid (Z)- (CAS) Oleic acid	2,44
37	21.169	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS) Methyl oleate	3,10
38	21.616	9-Octadecenoic acid (Z)- (CAS) Oleic acid	1,55
39	22.192	3-(1-Nitro-2-oxocyclododecyl)propanal	0,25
40	22.417	Tetratetracontane (CAS) n-Tetratetracontane	0,38
41	22.742	Tetratriacontane (CAS) n-Tetratriacontane	0,09
42	23.237	Pentatriacontane (CAS) n-Pentatriacontane	0,37
43	24.159	Heptacosane (CAS) n-Heptacosane	0,28
44	24.546	2,2-DIMETHYL-3-VINYL-BICYCLO[2.2.1]HEPTANE	0,14
45	25.239	Heptacosane (CAS) n-Heptacosane	0,32
46	26.532	Heptacosane (CAS) n-Heptacosane	0,26
47	28.093	Heptacosane (CAS) n-Heptacosane	0,20
48	30.010	triacontane (CAS) n-Triacontane	0,14
49	32.372	triacontane (CAS) n-Triacontane	0,10
50	35.307	triacontane (CAS) n-Triacontane	0,06
			100