

**KARAKTERISTIK BIO-OIL SERBUK GERGAJI SENGON
(*PARASERIANTHES FALCATARIA* L. NIELSEN) MENGGUNAKAN
PROSES PIROLISIS LAMBAT
(*Characteristics of Bio-oil from Sengon (Paraserianthes falcataria L. Nielsen)
Sawdust by Slow Pyrolysis Process*)**

Santiyo Wibowo¹

¹ Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan,
Jl. Gunung Batu No.5 Bogor, Tlp/Fax (0251): 8633378/8633413
E-mail: santiyowibowo1973@yahoo.co.id

Diterima 17 Juli 2013, disetujui 10 September 2013

ABSTRACT

Bio-oil is a dark-colored liquid fuels derived from biomass such as wood, bark and other biomass waste from forestry and forest products industry through pyrolysis technology. Bio-oil can be used in industries as a fuel for boilers or direct fuel for drying purposes such as fuel oil.

The purpose of this study is to get information of production technology from sengon (Paraserianthes falcataria L. Nielsen) sawdust using slow pyrolysis. the sawdust was heated with limited air at temperature 350°-500°C in 30 - 60 minutes. The variables used in this study are temperature and duration of pyrolysis. The results showed that optimum bio-oil produced by treatment 500°C for 30 minutes, with the following characteristics; yields of liquid was 43.75% and bio-oil yields 7.95%, phenol 3.80, pH 2.84, specific gravity 1.116 g/cm³, heating value 22.42 MJ/kg and flame power was medium power. Bio-oil produced by this process predominantly composed of acetic acid and phenols. In addition, there are several components that include combustible fuel i.e. 2-propanone (CAS) acetone, benzene, 1,2,4 trimethylbenzene, and 2-Furanmethanol (furfuryl alcohol).

Keywords: Bio-oil, liquid fuels, biomass, slow pyrolysis

ABSTRAK

Bio-oil adalah bahan bakar berbentuk cair berwarna kehitaman yang berasal dari biomasa seperti kayu, kulit kayu dan biomasa lainnya dari limbah kehutanan dan industri hasil hutan melalui teknologi pirolisis. Bio-oil dapat digunakan di dalam industri sebagai bahan bakar untuk boiler atau bahan bakar langsung untuk tujuan pengeringan, seperti minyak bakar.

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan informasi teknik pembuatan bio-oil dengan bahan baku serbuk gergaji sengon menggunakan proses pirolisis lambat (*slow pyrolysis*). Pada proses ini serbuk gergaji dipanaskan dengan udara terbatas pada suhu 350°-500°C, selama 30-60 menit. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu dan lama pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan yang menghasilkan bio-oil yang optimum adalah suhu 500°C selama 30 menit, dengan karakteristik sebagai berikut; rendemen liquid 43,75% dengan rendemen bio-oil sebesar 7,95%, kadar fenol 3,80, pH 2,84, bobot jenis 1,116 g/cm³, nilai kalor 22,42 MJ/kg dan daya nyala sedang. Bio-oil yang dihasilkan didominasi oleh asam asetat dan fenol, selain itu terdapat beberapa komponen yang termasuk bahan bakar mudah terbakar yaitu 2-propanon (CAS) aseton, benzena, 1,2,4 trimethylbenzena, dan 2-Furanmetanol (*furfuril alkohol*).

Kata kunci : Bio-oil, bahan bakar cair, biomasa, pirolisis lambat

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan bakar minyak Indonesia dari tahun ke tahun terus naik, pada tahun 1995 sebesar 15,84 juta kiloliter (ton), tahun 2000 sebesar 21,39 juta kiloliter, tahun 2005 sebesar 27,05 juta kiloliter dan pada tahun 2011 sebesar 39,23 juta kiloliter (Outlook Energy Indonesia, 2011). Pada tahun 2001, impor solar 34% dari kebutuhan nasional dan kebutuhan minyak pada tahun 2020 mendatang diperkirakan Indonesia akan menjadi negara importir bahan bakar minyak (BBM) secara besar-besaran (Reksowardoyo, 2005). Pada tahun 2000, produksi BBM khususnya solar adalah 15,99 juta kiloliter dan kebutuhan domestik adalah 21,46 juta kiloliter, sehingga terdapat kekurangan suplai solar sebesar 6,25 juta kiloliter yang pengadaannya diperoleh dari impor. Kebijakan pengadaan solar dalam negeri dengan mengandalkan impor adalah keliru karena akan mengurangi devisa negara, terlebih lagi penjualan solar kepada masyarakat ataupun industri masih ditunjang oleh subsidi (Samiarso, 2001).

Permasalahan pemakaian BBM minyak bumi adalah karena sifatnya yang tidak dapat dipulihkan (*non renewable*), oleh karena itu perlu disubstitusi oleh bahan bakar yang dapat dipulihkan antara lain yang berasal dari tanaman pertanian atau kehutanan. Program nasional diversifikasi energi adalah pengkayaan produksi jenis-jenis bahan energi baru yang dapat dipulihkan, di antaranya bahan bakar pengganti solar dari minyak nabati atau dari biomasa (Krause, 2001).

Bio-oil merupakan salah satu bahan bakar cair berwarna kehitaman yang berasal dari biomasa seperti kayu, kulit kayu dan limbah industri biomasa lainnya melalui teknologi pirolisis, yaitu teknologi degradasi termal pembuatan arang (karbonisasi), tanpa kehadiran udara (oksigen) dalam proses pembuatannya, berlangsung pada suhu 400°-600°C. Proses pirolisis dapat dilakukan dengan cara lambat (*slow pyrolysis*), cepat (*fast pyrolysis*), sangat cepat (*flash pyrolysis*) dan pencairan biomasa (*hydrothermal liquifaction*). Selain bio-oil, dihasilkan juga arang dan gas. Dalam produksi bio-oil tidak dihasilkan limbah (*zero waste*). Seluruh bahan baku dengan proses ini dikonversi menjadi bio-oil dan arang, sementara gas yang tidak dapat dikondensasi dikembalikan ke dalam proses sebagai sumber energi (Hambali *et al.* 2007).

Tujuan penelitian adalah mendapatkan informasi teknik pembuatan bio-oil dengan bahan baku serbuk gergaji sengon menggunakan proses pirolisis lambat dan mengetahui karakteristik sifat fisiko kimia bio-oil yang dihasilkan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Peralatan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk gergaji sengon (*Paraseriantbes falcataria*). Bahan kimia yang digunakan antara lain metanol, etanol, asam klorida, air suling, asam asetat, natrium tio sulfat, kalium yodida, natrium hidroksida, kalium hidroksida, penol phtiallin (PP) dan lain-lain.

Peralatan yang digunakan antara lain mesin pembuat serbuk kayu, saringan serbuk, reaktor pirolisis, penampung larutan bio-oil, penampung partikulat, alat distilasi, kompor listrik, pengaduk (*stirrer*), desikator, pH meter, piknometer, erlenmeyer asah, neraca, *oven* dan lain-lain.

B. Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan meliputi beberapa tahap kegiatan, yaitu :

1. Persiapan bahan
 - a. Serbuk gergaji diambil dari lapangan, selanjutnya dikeringkan menggunakan *oven* pada suhu 80°C sampai kering (kadar air: 11,5%)
 - b. Serbuk gergaji diseragamkan ukurannya yaitu antara 40-60 mesh.
2. Pembuatan bio-oil
 - a. Penelitian pendahuluan untuk memperoleh nilai rendemen: serbuk kayu dimasukkan ke dalam reaktor dan ditutup rapat, reaktor dipanaskan sampai mencapai suhu sesuai perlakuan, masing-masing: 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C, setelah suhu tercapai selanjutnya dipertahankan selama 30, 60, 90 dan 120 menit. Cairan yang keluar dihitung rendemennya. Dua taraf waktu yang memberikan perbedaan rendemen yang nyata dilanjutkan pada penelitian utama yaitu 4 taraf suhu (A) 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C dan 2 taraf waktu (B) B₁ dan B₂.
 - b. Pemisahan bio-oil : Bio-oil yang dihasilkan masih bercampur dalam liquid/cairan, oleh karena itu perlu dipisahkan dengan menggunakan kertas saring kasar.

C. Pengujian Sifat Fisiko-Kimia

Pengujian dilakukan terhadap sifat fisiko-kimia, yaitu rendemen (arang, cairan/liquid, bio-oil, dan gas), berat jenis, pH, kadar fenol, nilai kalor, daya nyala dan sifat kimia menggunakan GCMS.

1. Rendemen

a. Rendemen arang

Rendemen arang ditetapkan dengan menghitung perbandingan berat arang terhadap berat bahan baku awal.

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Berat arang}}{\text{Berat bahan baku}} \times 100$$

b. Rendemen cairan/liquid

Botol berwarna gelap yang bersih dan kering ditimbang dengan teliti, lalu diisi dengan cairan/liquid. Lalu botol ditimbang lagi. Selanjutnya ditentukan rendemennya dengan formula berikut:

$$\text{Rendemen (\% b/b)} = \frac{\text{Bobot cairan (botol isi botol kosong)}}{\text{Bobot bahan baku}} \times 100$$

c. Rendemen bio-oil

Botol berwarna gelap yang bersih dan kering ditimbang dengan teliti, lalu diisi dengan bio-oil. Lalu botol ditimbang lagi. Selanjutnya ditentukan rendemennya dengan formula berikut:

$$\text{Rendemen (\% b/b)} = \frac{\text{Bobot bio-oil (botol isi botol kosong)}}{\text{Bobot bahan baku}} \times 100$$

d. Rendemen gas

Gas dihitung dengan rumus :

$$\text{Gas} = 100\% - (\text{Rendemen arang} + \text{cairan})$$

2. Berat jenis

$$B_j = \frac{B_c - B_p}{B_a - B_p}$$

Dimana:

B_c = Berat piknometer + contoh (gram)

B_p = Berat piknometer kosong (gram)

B_a = Berat piknometer + aquades (gram)

3. Derajat keasaman (pH)

Pengujian pH bio-oil dilakukan menggunakan pH meter. Prinsip cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter adalah sebuah metode pengukuran pH berdasarkan pengukuran aktifitas ion hidrogen secara

potensiometri/elektrometri dengan menggunakan pH meter. Sebelum digunakan dilakukan kalibrasi alat pH-meter dengan larutan penyangga sesuai instruksi kerja alat setiap kali akan melakukan pengukuran. Prosedurnya adalah sebagai berikut:

- Keringkan dengan kertas tisu selanjutnya bilas elektroda dengan air suling.
- Bilas elektroda dengan contoh uji.
- Celupkan elektroda ke dalam contoh uji sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap.
- Catat hasil pembacaan skala atau angka pada tampilan dari pH meter.

4. Kadar fenol

Sebanyak 0,5 g bio-oil ditambah 5 ml NaOH 2 N, kemudian diencerkan sampai 250 ml. Sebanyak 25 ml larutan tersebut ditambah 10 ml larutan bromida bromat, 5 ml Hcl pekat dan 50 ml aquades, kemudian dikocok selama 1 menit dan didiamkan selama 5-30 menit. Sebanyak 5 ml larutan KI 15% ditambahkan ke dalam larutan, lalu dikocok 1 menit, kemudian dititrasi dengan Na₂S₂O₃ 0,1 N. Perlakuan yang sama dilakukan terhadap blanko (AOAC, 1990).

$$\text{Kadar fenol total} = \frac{(b-a) \times N \times BM \times fp}{1000 \times S} \times 100\%$$

Dimana:

b = ml Na₂S₂O₃ untuk blangko

a = ml Na₂S₂O₃ untuk contoh

BM = Bobot molekul fenol

N = Normalisasi Na₂S₂O₃

S = Bobot sampel

fp = Faktor pengenceran

5. Nilai kalor pembakaran

Nilai kalor pembakaran menunjukkan energi kalor yang dikandung dalam tiap satuan massa bahan bakar. Nilai kalor dapat diukur dengan *bomb calorimeter Parr 6200 calorimeter bomb*. Sejumlah 1-2 ml sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam wadah pembakar, lalu dimasukkan ke dalam tabung 1108 *oxigen bomb*, dipasangkan sumbu pembakar dan tabung ditutup. Selanjutnya tabung divakum dan dimasukkan ke dalam kalorimeter dan alat dihidupkan. Hasil analisis akan keluar secara otomatis pada layar monitor yang terdapat di bagian atas alat kalorimeter bom.

6. Daya nyala

Daya nyala adalah kemampuan bahan bakar cair untuk menyala ketika diberi sumber api. Pengukuran daya dilakukan dengan cara; disiapkan sejumlah kawat dengan panjang ± 10 cm, pada bagian ujung kawat dililitkan kapas secukupnya dan dicelupkan ke dalam bio-oil sampai $\pm \frac{3}{4}$ bagian kapas. Selanjutnya ujung kapas dinyalakan dengan cara mendekatkan ujung kapas tersebut pada nyala dari sebuah lilin sambil dihitung pada detik keberapakah kapas tersebut terbakar dan dicatat karakteristik nyala yang timbul. Untuk mengetahui daya nyala bio-oil dibuat skoring sebagai berikut: cepat : 1-2 detik, sedang : 3-5 detik, lambat >6 detik.

7. Analisa GCMS

Bio-oil dianalisis kandungan senyawa kimianya menggunakan GCMS Shimadzu QP 5050 A. Kondisi alat memakai suhu kolom 60°C , suhu detektor 300°C , suhu injektor 280°C dan waktu analisis 35 menit. Bio-oil disaring dengan kertas saring, kemudian diinjeksikan ke dalam GC sejumlah $0,2 \mu\text{L}$. Selanjutnya spektrum puncak kromatogram dari sampel akan dicocokkan oleh spektrum yang ada dalam *Library* GCMS.

D. Analisis Data

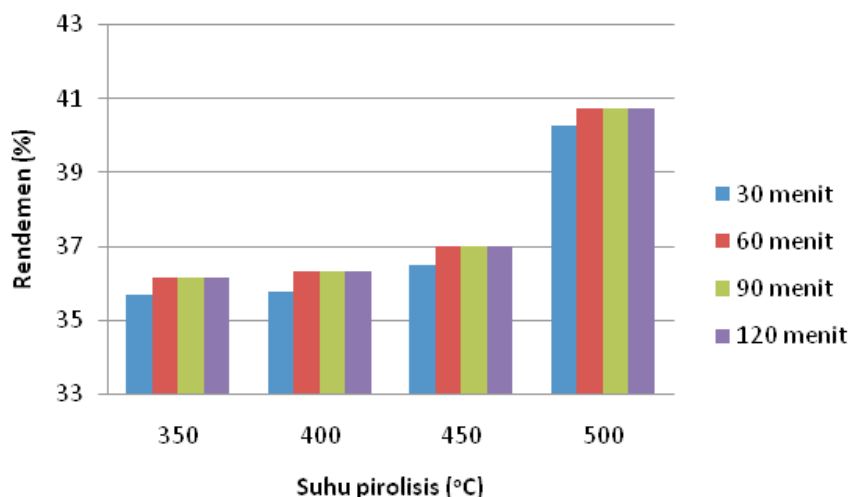
Analisis data pada penelitian pendahuluan dilakukan secara deskriptif dan tabulasi. Pada

penelitian utama; perlakuan yang dilakukan dalam penelitian utama terdiri atas 2 faktor, yaitu faktor suhu pirolisis (A) dengan 4 taraf yaitu 350°C , 400°C , 450°C dan 500°C , dan faktor waktu pirolisis (B) dengan 2 level waktu (ditentukan dari hasil penelitian pendahuluan). Pengujian statistik dengan menggunakan rancangan percobaan faktorial, dengan ulangan sebanyak 2 kali. Total kombinasi perlakuan adalah $4 \times 2 \times 2 = 16$.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penelitian Pendahuluan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan rendemen hanya terjadi pada lama waktu pirolisis 30 menit ke 60 menit, sedangkan liquid yang dihasilkan dengan lama waktu 60 menit tidak berbeda dengan 90 dan 120 menit atau tidak ada penambahan rendemen liquid dari serbuk gergaji sengon yang signifikan, bahkan pada waktu 90 menit ke 120 menit sudah tidak ada lagi cairan yang keluar. Hal ini menunjukkan bahwa proses pirolisis telah selesai pada waktu tunggu antara 30-60 menit. Sehingga pada penelitian selanjutnya digunakan perlakuan masing-masing pada suhu 350°C , 400°C , 450°C dan 500°C dengan waktu tunggu 30 dan 60 menit.



Gambar 1. Rendemen cairan yang dihasilkan pada suhu 350°C - 500°C dengan waktu 30 - 120 menit

Figure 1. The yield of liquid produced at temperatures 350°C - 50°C in 30 - 120 minutes

B. Penelitian Utama

1. Rendemen produk pirolisis

Rendemen merupakan presentase perbandingan antara berat bagian bahan yang dapat dimanfaatkan dengan total bahan. Hasil rendemen produk dari pirolisis serbuk gergaji sengon pada masing-masing temperatur 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C dengan waktu 30 dan 60 menit dapat dilihat pada Tabel 1, Gambar 2 dan 3. Dari hasil analisis diketahui bahwa rendemen arang yang dihasilkan berkisar antara 22,84-30,25% dengan rendemen terbesar diperoleh pada perlakuan suhu 350°C selama 30 menit dan terkecil pada perlakuan suhu 500°C selama 60 menit. Rendemen gas berkisar antara 30,79-34,78% dengan rendemen terbesar diperoleh pada perlakuan suhu 450°C selama 30 menit dan terkecil pada perlakuan 350°C selama 30 menit.

Liquid atau cairan hasil pirolisis lambat merupakan gabungan antara produk cair (terdiri atas asam pirolignat atau cuka kayu) dan fase minyak (tar kayu atau *pyrolitic oil*) (Sensoz, 2003). Liquid yang dihasilkan berkisar antara 38,96-44,56% dengan rendemen terbesar diperoleh pada perlakuan suhu 500°C selama 60 menit dan terkecil pada perlakuan 350°C selama 30 menit. Setelah liquid dipisahkan diperoleh bio-oil dengan rendemen berkisar antara 5,29-7,99% dengan rendemen terbesar diperoleh pada perlakuan suhu 500°C selama 60 menit dan terkecil pada

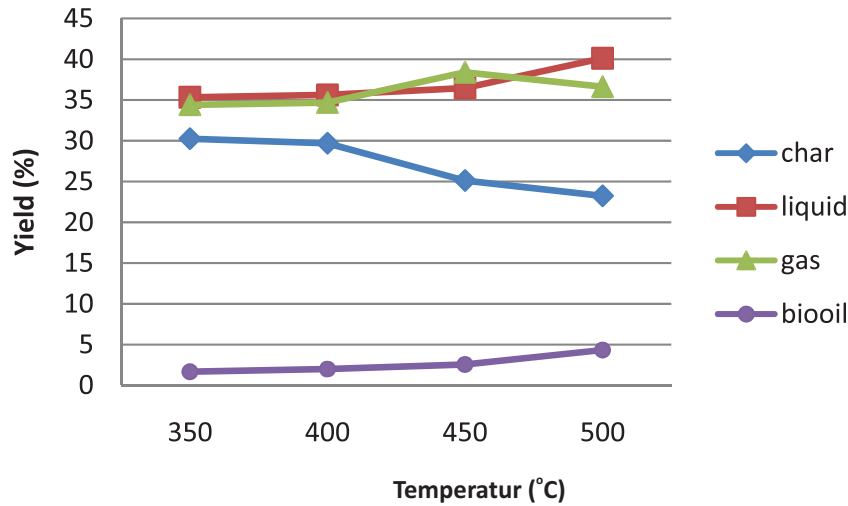
perlakuan 350°C selama 30 menit. Peningkatan suhu mempengaruhi rendemen produk pirolisis yang dihasilkan. Terdapat kecenderungan semakin tinggi suhu, arang yang dihasilkan semakin berkurang tetapi liquid (termasuk bio-oil) semakin banyak. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa hanya faktor suhu yang berpengaruh nyata terhadap rendemen bio-oil, sedangkan waktu pirolisis dan interaksi suhu dan waktu tidak berbeda nyata (Lampiran 1 dan 2). Ini berarti penggunaan waktu pirolisis 30 dan 60 menit tidak berbeda nyata, sehingga waktu pirolisis 30 menit akan lebih efisien.

Hasil rendemen bio-oil serbuk kayu sengon menggunakan pirolisis lambat (*slow pyrolysis*) masih termasuk rendah jika dibandingkan dengan penelitian Ucar and Karagoz (2009) yang menggunakan proses pirolisis lambat dengan bahan baku limbah biji *pomegranate* diperoleh rendemen bio-oil sebesar 21,98% (rendemen *liquid* sebesar 54,04%) pada suhu 500°C. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan bahan baku dan model alat pirolisis yang digunakan.

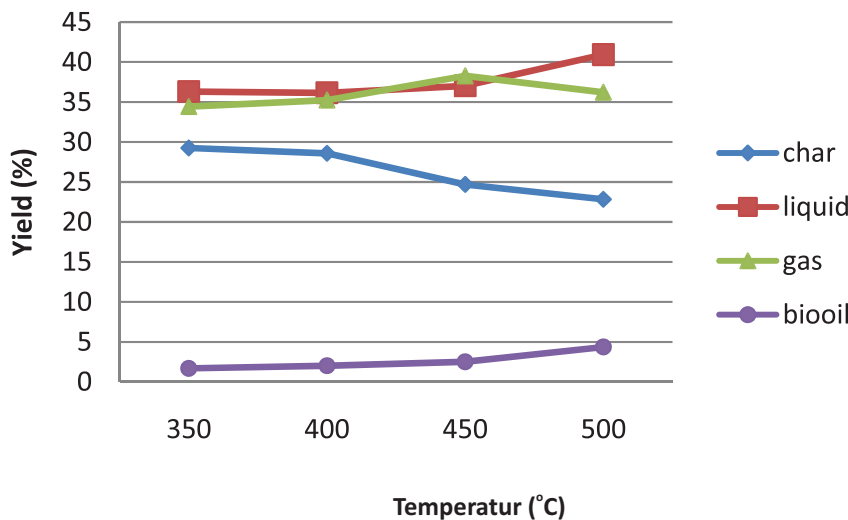
Hasil pirolisis lambat serbuk kayu sengon diperoleh tiga produk yaitu gas, distilat dan arang. Destilat yang terbentuk terdiri atas cairan cuka kayu dan bio-oil. Arang digunakan sebagai bahan bakar atau untuk pembuatan arang aktif. Arang yang dihasilkan pada suhu 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C sudah sesuai standar SNI 01-1682-1996, dimana arang yang dihasilkan berwarna hitam merata.

Tabel 1. Rendemen produk pirolisis lambat untuk serbuk gergaji sengon
Table 1. *Slow pyrolysis products yield from sengon sawdust*

Produk(<i>Product</i>), %	Waktu (<i>Time</i>)	Suhu (<i>Temperature</i>), °C			
		350	400	450	500
Arang (<i>Charcoal</i>)	30 menit (<i>minutes</i>)	30,25	29,69	25,13	23,25
	60 menit (<i>minutes</i>)	29,25	28,59	24,7	22,84
Cair (<i>Liquid</i>)	30 menit (<i>minutes</i>)	38,96	39,25	40,1	43,75
	60 menit (<i>minutes</i>)	39,94	39,79	40,65	44,56
Bio-oil (<i>Bio-oil</i>)	30 menit (<i>minutes</i>)	5,29	5,63	6,19	7,95
	60 menit (<i>minutes</i>)	5,31	5,64	6,14	7,99
Gas (<i>Gas</i>)	30 menit (<i>minutes</i>)	30,79	31,06	34,78	33
	60 menit (<i>minutes</i>)	30,81	31,63	34,65	32,60



Gambar 2. Rendemen produk pirolisis lambat waktu 30 menit
 Figure 2. Slow pyrolysis products yield in 30 minutes



Gambar 3. Rendemen produk pirolisis lambat waktu 60 menit
 Figure 3. Slow pyrolysis products yield in 60 minutes

2. Kadar fenol

Sebagai produk pirolisis lambat, bio-oil yang dihasilkan juga mengandung senyawa fenol. Hasil analisis kadar fenol bio-oil serbuk gergaji sengon menggunakan reaktor *slow pyrolysis* pada suhu yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 2.

Kadar fenol terendah diperoleh pada suhu 350°C dengan waktu pirolisis 30 menit yaitu 3,71% dan kadar fenol tertinggi diperoleh pada suhu 500°C dengan waktu pirolisis 60 menit yaitu 3,82. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa suhu dan waktu berpengaruh nyata terhadap kadar fenol sedangkan interaksi keduanya tidak

berpengaruh nyata (Lampiran 1 dan 2). Terdapat kecenderungan bahwa semakin tinggi suhu pirolisis kadar fenol semakin bertambah besar.

Menurut Girard (1992) 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 dan mempunyai bentuk yang bermacam-macam, sehingga baru akan terurai pada suhu tinggi seperti pada proses pirolisis suhu 300°-500°C (Djarmiko *et al.* 1985; Maga, 1987; Haygreen dan Bowyer, 1996).

Tabel 2. Karakteristik bio-oil serbuk kayu sengon
Table 2. Bio-oil characteristics of sengon sawdust

Suhu (Temperature), °C	Parameter (Parameters)					
	Waktu (Time, minutes)	Fenol (Phenol) %	pH	Bj g/cm ³	Nilai kalor (Calorific value) MJ/kg	Daya nyala (Flame power)
350	30 menit (minutes)	3,71	3,11	1,116	19,51	Lambat (slow)
	60 menit (minutes)	3,72	3,10	1,116	19,52	Lambat (slow)
400	30 menit (minutes)	3,72	2,92	1,116	20,91	Sedang (medium)
	60 menit (minutes)	3,73	2,91	1,116	20,93	Sedang (medium)
450	30 menit (minutes)	3,76	2,86	1,116	21,88	Sedang (medium)
	60 menit (minutes)	3,78	2,85	1,116	21,88	Sedang (medium)
500	30 menit (minutes)	3,80	2,84	1,116	22,42	Sedang (medium)
	60 menit (minutes)	3,82	2,83	1,117	22,42	Sedang (medium)

3. Derajat keasaman (pH) bio-oil

Bio-oil serbuk gergaji sengon mempunyai pH antara 2,83-2,93 (Tabel 2). Nilai pH terendah diperoleh pada suhu 500°C dengan waktu 60 menit yaitu sebesar 2,83, dan pH tertinggi diperoleh pada suhu 350°C yaitu sebesar 3,11. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa suhu dan waktu berpengaruh nyata terhadap pH bio-oil sedangkan interaksi keduanya tidak berpengaruh nyata (Lampiran 1 dan 2). Menurut Easterly (2002), bio-oil cukup asam, memiliki pH dalam kisaran 2,5-3,0 (mirip dengan keasaman cuka). Ini berarti perlu diperhatikan tangki penyimpanan bio-oil yang sebaiknya dibuat dari bahan tahan korosi akibat tingkat keasaman yang tinggi, seperti *stainless steel*, plastik, dan *fiberglass*.

4. Bobot jenis

Density atau bobot jenis bio-oil yang diperoleh pada suhu 350°-500°C berkisar antara 1,116-1,117 g/cm³ (Tabel 2). Berdasarkan sidik ragam diperoleh bahwa hanya faktor suhu yang berpengaruh nyata, sedangkan waktu pirolisis dan interaksi suhu dan waktu tidak berpengaruh nyata. Hasil uji lanjut Duncan diketahui bahwa tidak semua perlakuan suhu memberikan bobot jenis yang berbeda nyata. Suhu 350°C berada dalam satu group dengan 400°C tetapi berbeda nyata dengan 450°C yang berada satu grup dengan suhu 500°C (Lampiran 1 dan 2). Hasil ini masih sedikit lebih rendah dari penelitian Sensoz (2003) yang menghasilkan *density* bio-oil kulit kayu *Pinus brutia* Ten sebesar 1,2 g/cm³, dengan menggunakan

teknik pirolisis lambat. Hal ini diduga disebabkan oleh jenis bahan baku pirolisis dan peralatan pirolisis yang digunakan.

5. Nilai kalor

Nilai kalor pembakaran menunjukkan energi kalor yang dikandung dalam tiap satuan massa bahan bakar. Hasil analisis nilai kalor bio-oil dapat dilihat dalam Tabel 2. Nilai kalor bio-oil dari serbuk gergaji kayu sengon antara 19-22,42 MJ/kg. Nilai kalor tertinggi diperoleh pada perlakuan 500°C dengan lama waktu pirolisis 60 menit, dan nilai kalor terendah diperoleh pada perlakuan 350°C. Terdapat kecenderungan semakin tinggi suhu pirolisis nilai kalor bio-oil semakin tinggi. Nilai kalor yang diperoleh pada proses pirolisis lambat lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Senzos (2003) yang membuat bio-oil dari kulit kayu *Pinus brutia* Ten menggunakan proses pirolisis lambat diperoleh nilai kalor sebesar 31,03 MJ/kg. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan bahan baku dan model alat pirolisis yang digunakan.

6. Daya nyala

Pengujian daya nyala dilakukan untuk mengetahui kemampuan bio-oil untuk menyala bila diberi sumber api. Daya nyala bio-oil serbuk gergaji sengon menggunakan pirolisis lambat dapat dilihat pada Tabel 2. Kemampuan nyala bio-oil sengon masih di bawah kemampuan nyala bahan mudah terbakar lainnya seperti etanol yang cepat terbakar (1-2 detik) ketika di dekatkan ke sumber api. Dari hasil pengujian diketahui bahwa

bio-oil yang dihasilkan dari pirolisis lambat pada suhu 350°C dapat terbakar meskipun masih tergolong lambat. Sedangkan bio-oil yang dihasilkan pada suhu 400°-500°C mempunyai kemampuan yang relatif sama yaitu tergolong sedang. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu lebih rendah, kadar bahan mudah terbakar lebih rendah dibandingkan bio-oil yang dihasilkan pada suhu tinggi. Selain itu bio-oil yang dihasilkan pada suhu 350°-500°C masih bercampur dengan cuka kayu yang ditandai dengan banyaknya kandungan asam asetat di dalam bio-oil.

7. Hasil GCMS

Komponen kimia bio-oil serbuk gergaji sengon menggunakan proses *slow pyrolysis* pada suhu 350°C terdapat sebanyak 35 komponen (Lampiran 3), yang didominasi oleh asetic acid (CAS) ethylic acid 33,41%, golongan phenol 12,02%, golongan 2-propanone, 1-hydroxy 8,78%, furfural 7,31%, dan trimethoxybenzene 2,31%.

Komponen kimia bio-oil suhu 400°C terdapat sebanyak 35 komponen yang didominasi oleh asetic acid (CAS) ethylic acid 36,73%, propanone, 1-hydroxy 9,28%, golongan phenol 9,06%, furfural 7,42% dan trimethoxybenzene 2%.

Komponen kimia bio-oil suhu 450°C terdapat sebanyak 38 komponen yang didominasi oleh asetic acid (CAS) ethylic acid 36,89%, propanone, 1-hydroxy 8,71%, golongan phenol 9,59%, furfural 7,04% dan trimethoxybenzene 1,66%.

Komponen kimia bio-oil suhu 500°C terdapat sebanyak 38 komponen yang didominasi oleh asetic acid (CAS) ethylic acid 34,88%, propanone, 1-hydroxy 8,35%, golongan phenol 11,01%, furfural 6,87%, dan trimethoxybenzene 2,24%.

Dari hasil analisis GCMS (Lampiran1) dapat dilihat bahwa bio-oil yang dihasilkan pada suhu 350-500°C menggunakan pirolisis lambat (*slow pyrolysis*) masih banyak mengandung komponen cuka kayu (*acetic acid*) yang menurut Kanellos (2009) asam asetat yang dikombinasikan dengan hidrogen berperan penting dalam memproduksi etanol, dimana dua pertiga energi di dalam etanol berasal dari asam asetat, dan sepertiganya berasal dari penambahan hidrogen. Selain itu terdapat beberapa komponen yang termasuk bahan bakar mudah terbakar yaitu 2-propanon (CAS) aseton,

benzene, 1,2,4 trimethylbenzene, dan 2-furanmethanol (furfuril alkohol).

Hasil ini agak berbeda dengan bio-oil yang dihasilkan menggunakan teknik *hydrothermal liquifaction* (Sudradjat dan Hendra, 2011). Komponen kimia bio-oil menggunakan pirolisis *hidrotermal liquifaction* cukup banyak menghasilkan komponen kimia turunan hidrokarbonseperti golongan docosane (CAS) n-docosane, hexacosane (CAS) n-hexacosane, nona-cosane (CAS) n-nonacosane, docosane (CAS) n-docosane.

IV. KESIMPULAN

1. Pembuatan bio-oil dari serbuk gergaji kayu sengon menggunakan teknik pirolisis lambat (*slow pyrolysis*) dengan suhu 350-500°C, waktu 30 dan 60 menit, menghasilkan rendemen bio-oil berkisar antara 5,29-7,99%, kadar fenol 3,71-3,82%, pH 2,83-3,11, berat jenis 1,16-1,17 g/cm³, nilai kalor 19,51-22,42 MJ/kg, dan daya nyala termasuk dalam katagori lambat - sedang. Bio-oil yang dihasilkan didominasi oleh asam asetat, fenol, dan furfural serta terdapat beberapa komponen yang mudah terbakar yaitu 2-propanon (CAS) aseton, benzene, 1,2,4 trimethylbenzene, dan 2-furanmethanol (furfuril alkohol).
2. Perlakuan yang menghasilkan bio-oil yang optimum adalah suhu 500°C selama 30 menit, yang mempunyai karakteristik; rendemen liquid 43,75%, rendemen bio-oil sebesar 7,95%, kadar fenol 3,80%, pH 2,84, bobot jenis 1,116 g/cm³, nilai kalor 22,42 MJ/kg dan daya nyala sedang.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC. 1990. Association of Official Analytical Chemist. Official methods on analysis. 18th ed. Benjamin Franklin. Washington DC. USA.
- Brown, R. C and J. Holmgren. 2012. Fast Pyrolysis and bio-oil upgrading. <http://www.asension-publishing.com/BIZ/HD50.pdf>. Diakses 27 Februari 2012.

- Djarmiko B, Ketaren S, Setyahartini S. 1985. Pengolahan arang dan kegunaannya. Agro Industri Press. Bogor.
- Easterly J.L. 2002. Assessment of bio-oil as a replacement for heating oil. CONEG Policy Research Center, Inc.
- Girard JP Morton. 1992. Smoking In: Technology of meat and meat products, Girard JP and Morton I (Ed). Ellis Horwood Limited, New York.
- Hambali E, Mujdalifah S, Tambunan AH, Pattiwiri AW, Hendroko R. 2007. Teknologi bioenergi. Agro Media Pustaka. Jakarta.
- Haygreen JG, Bowyer JL. 1996. Hasil hutan dan ilmu kayu suatu pengantar. Hadikusomo SA, Penerjemah; Yogyakarta. Gadjah Mada University Press. Terjemahan dari: Forest Product and wood science, an introduction.
- 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.
- Maga, JA. 1988. Smoke in food processing. CRC Pres. Inc. Boca Raton. Florida.
- Outlook Energy Indonesia. 2011. Energi masa depan di sektor transportasi dan kelistrikan. Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya dan Energi. BBPT. BPPY-Press. Jakarta.
- Reksowardoyo, R. P. 2005. Melaju kendaraan berkat biji-bijian. Trubus, XXXVI/ November 2005. Jakarta.
- Samiarso, L. 2001. Indonesian policy on renewable energy development. In *enhancing biodiesel development and use*. Proceedings of the International Biodiesel Workshop, Tiara Convention Center, Medan. 24 Oktober 2001. Ditjen Perkebunan, Departemen Pertanian. Jakarta.
- Sensoz, S. 2003. Slow pyrolysis of wood bark from *Pinus bruti* Ten. end product compositions. *Jurnal Bioresource Technology* 89 pp. 307-311.
- Setyawan, H. 2002. Aspek ekonomi pengusahaan hutan rakyat sengon di Kabupaten Sukabumi. Tesis. Program Pasca Sarjana. IPB. Bogor. Tidak dipublikasikan.
- Sudradjat, R dan Hendra D. 2011. Teknologi pengolahan bahan bakar nabati berbasis selulosa dan hemiselulosa (bio-oil). Laporan Hasil Penelitian. Pustekolah. Bogor. (Tidak diterbitkan).
- Ucar, S and S. Karagoz. 2009. The slow pyrolysis of pomegranate seeds: The effect of temperature on the product yields and bio-oil properties. *Jurnal Analytical Applied Pyrolysis* 84. Pp. 151-156.

Lampiran 1 : Analisis sidik ragam sifat fisiko-kimia bio-oil sengon**Appendix 1 : Analysis of variance of sengon bio-oil**

No.	Sumber (Source)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Kuadrat tengah (Mean square)	F-hitung (F-calculated)
1.	Rendemen (Yield), %			
	- Suhu (Temperature)	16,957	5,652	1243,989
	- Waktu (Time)	5,625-E	5,625	0,012
	- Suhu x Waktu (Temperatur vs Time)	0,004	0,001	0,320
2	Kadar fenol (Fenol value), %			
	- Suhu (Temperature)			
	- Waktu (Time)	0,023	0,008	61,333
	- Suhu x Waktu (Temperatur vs Time)	0,001	0,001	7,200
		9,999E-5	3,333E-5	0,267
3	Kadar pH (pH value),			
	- Suhu (Temperature)	0,178	0,059	1240,060
	- Waktu (Time)	0,000	0,000	3,769
	- Suhu x Waktu (Temperatur vs Time)	1,875E-5	0,198	0,077
4	Bobot jenis (Density), g/cm ³			
	- Suhu (Temperature)			
	- Waktu (Time)	6,750E-6	2,250E-5	18,000
	- Suhu x Waktu (Temperatur vs Time)	0,000	0,000	0,000
		0,000	0,000	5,667

Lampiran 2 : Uji Duncan (DMRT)

Appendix 2 : Duncan test

No	Parameter	Nilai rata-rata untuk uji beda dari setiap perlakuan (<i>Value of average for significant test</i>)							
		A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₃ B ₁	A ₃ B ₂	A ₄ B ₁	A ₄ B ₂
1	Rendemen (<i>Yield</i>)	5,29	5,31	5,63	5,64	6,19	6,14	7,95	7,99
		a ¹	ab	c	cd	e	ef	g	gh
2	Kadar fenol (<i>Fenol value</i>)	3,71	3,72	3,72	3,73	3,76	3,78	3,80	3,82
		a	ab	abc	abcd	e	ef	fg	g
3	Kadar pH (<i>pH value</i>)	3,11	3,10	2,92	2,91	2,86	2,85	2,84	2,83
		g	g	e	ef	abc	bcd	a	ab
4	Bobot jenis (<i>Density</i>), g/ml	1,116	1,116	1,116	1,116	1,116	1,116	1,116	1,117
		a	ab	abc	abcd	abcde	abcdef	abcdefg	h

Lampiran 3 : Komponen kimia bio-oil sengon
Appendix 3 : Chemical compound of sengon bio-oil

Peak	350°C			400°C			450°C			500°C		
	R.Time	Name	Conc. (%)	R. Time	Name	Conc. (%)	R.Time		Conc. (%)	R.Time	Name	Conc. (%)
1	1.359	1,1,4,4-Tetradeuterio-1,4 butaned	1.46	1.357	Acetaldehyde (CAS)	0.71	1.356	Acetaldehyde (CAS)	0.71	1.357	Acetaldehyde (CAS)	0.82
2	1.430	2-Propanone (CAS) Acetone	1.46	1.380	Ethanal	0.40	1.429	Ethanal	2.54	1.430	Ethanal	1.47
3	1.471	Acetic acid, methyl ester	6.47	1.430	1,2-Ethanediol, monoformate	2.19	1.470	Acetone	7.08	1.471	Acetone	8.32
4	1.530	Formic acid	1.03	1.472	Acetic acid, methyl ester	7.67	1.505	Acetic acid, methyl ester	0.59	1.567	Acetic acid, methyl ester	3.76
5	1.567	2,3-Butanedione (CAS) Diacetyl	3.4	1.567	Formic acid	3.74	1.564	2,3-Butanedione (CAS) Diacetyl	3.98	1.590	2,3-Butanedione (CAS) Methyl ethyl ketone	2.54
6	1.590	2,3-Butanedione (CAS) Diacetyl	1.89	1.591	2-Butanone	2.09	1.590	2-Butanone	1.61	1.698	Acetic acid (CAS) Ethylic acid	34.88
7	1.768	Acetic acid (CAS) Ethylic acid	33.41	1.713	Acetic acid (CAS) Ethylic acid	6.73	1.733	Acetic acid (CAS) Ethylic acid	36.89	1.740	2-Butenal	0.29
8	1.819	4-Penten-2-one (CAS) Methyl allyl ketone	0.85	1.740	2-Butenal	0.32	1.787	Propanone, 1-hydroxy-	1.82	1.790	2-Propanone, 1-hydroxy-	0.77
9	1.877	2-Propanone, 1-hydroxy-	8.79	1.790	2-Butenal	0.88	1.820	3-Penten-2-one	0.26	1.825	2-Propanone, 1-hydroxy-	8.35
10	1.990	Propanoic acid (CAS) Propionic acid	1.06	1.839	2-Propanone, 1-hydroxy-	9.28	1.852	2-Propanone, 1-hydroxy-	8.71	1.890	2,3-Pentanedione (CAS) 2,3-Pentadione	0.78
11	2.220	2-Methoxytetrahydrofuran	0.25	1.950	Propanoic acid	0.95	1.965	Propanoic acid	1.01	1.935	Propanoic acid	0.89
12	2.357	Acetic acid, (acetyloxy)-	0.61	2.329	Acetic acid, (acetyloxy)-	0.55	2.339	1,2-Ethanediol, monoacetate	0.63	2.223	2-Methoxytetrahydrofuran	0.20
13	2.469	Butanedial (CAS) Succinaldehyde	3.27	2.385	2-Propen-1-ol (CAS) Allyl alcohol	1.64	2.382	1-Hydroxy-2-butanone	1.39	2.321	Acetic acid, (acetyloxy)-	0.59
14	2.505	Cyclopentanone (CAS) Dumasin	0.57	2.436	Butanedial (CAS) Succinaldehyde	2.16	2.448	Butanedial (CAS) Succinaldehyde	1.82	2.429	Butanedial (CAS) Succinaldehyde	2.99
15	2.865	Furfural	7.31	2.501	Cyclopentanone	0.61	2.500	Cyclopentanone	0.51	2.506	Cyclopentanone	0.33
16	3.124	2-Hexanone, 3,4-dimethyl-	1.10	2.861	Furfural	7.42	2.862	Furfural	7.04	2.868	Furfural	6.87
17	3.201	1,2-Ethanediol, diacetate	0.95	3.100	5,9-Dodecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E,E))-	0.74	3.110	5,9-Dodecadien-2-one, 6,10-dimethyl	0.90	3.099	2-Butanone (CAS) Methyl ethyl ketone	0.78
18	3.319	2,5-Dimethoxytetrahydrofuran	0.50	3.150	1,2-Ethanediol, diacetate	0.43	3.188	1,2-Ethanediol, diacetate	0.97	3.178	1,2-Ethanediol, diacetate	1.07
19	3.510	2,5-Dimethoxytetrahydrofuran	0.33	3.179	2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	0.58	3.319	Furan, tetrahydro-2,5-dimethoxy-	0.34	3.327	Furan, tetrahydro-2,5-dimethoxy-	0.43
20	3.670	2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	0.50	3.319	2,5-Dimethoxytetrahydrofuran	0.39	3.510	2,5-Dimethoxytetrahydrofuran	0.28	3.518	2,5-Dimethoxytetrahydrofuran	0.41
21	3.719	Ethanone, 1-(2-furanyl)-	0.42	3.510	2,5-Dimethoxytetrahydrofuran	0.34	3.670	2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	0.56	3.679	2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl	0.45
22	3.835	2(5H)-Furanone	2.00	3.669	2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	0.61	3.719	Ethanone, 1-(2-furanyl)	0.47	3.725	Ethanone, 1-(2-furanyl)	0.47
23	3.953	1,2-Cyclopentanedione	1.58	3.719	Ethanone, 1-(2-furanyl)- (CAS) 2-Acetylfuran	0.45	3.813	Cyclopentanone (CAS) Dumasin	1.88	3.801	Cyclopentanone (CAS) Dumasin	1.69

Lampiran 3 : Komponen kimia bio-oil sengon
Appendix 3 : Chemical compound of sengon bio-oil

Peak	350°C			400°C			450°C			500°C		
	R.Time	Name	Conc. (%)	R. Time	Name	Conc. (%)	R.Time	Name	Conc. (%)	R.Time	Name	Conc. (%)
24	4.427	2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	0.58	3.804	Cyclopentanone (CAS) Dumasin	2.18	3.931	1,2-Cyclopentanedione	1.05	3.924	1,2-Cyclopentanedione	0.90
25	4.496	2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	0.54	3.923	1,2-Cyclopentanedione	1.17	4.428	2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	0.35	4.441	2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	0.30
26	5.080	Propanoic acid, 2-methyl-, anhydride	0.49	4.428	2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	0.34	4.489	2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	0.35	4.487	2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	0.29
27	5.476	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	2.71	4.482	2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	0.45	4.690	Benzene, [(3-methyl-2-butenyl)oxy]-	0.57	4.690	Benzene, [(3-methyl-2-butenyl)oxy]-	0.50
28	6.476	Phenol, 2-methoxy-	2.83	4.686	Benzene, [(3-methyl-2-butenyl)oxy]-	0.56	5.069	2-Furanmethanol, tetrahydro-	0.47	5.010	-	0.33
29	6.984	2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	0.59	5.067	2-Furanmethanol, tetrahydro- (CAS) Tetrahydrofurfuryl alcohol	0.44	5.454	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl- (CAS) Corylon	2.73	5.078	2-Furanmethanol, tetrahydro- (CAS) Tetrahydrofurfuryl alcohol	0.60
30	8.249	Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	1.91	5.446	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl- (CAS) Corylon	2.93	6.469	Phenol, 2-methoxy-	2.73	5.449	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl- (CAS) Corylon	2.57
31	9.724	Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	1.20	6.468	Phenol, 2-methoxy-	2.78	6.971	2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	0.60	6.479	Phenol, 2-methoxy-	2.69
32	10.961	Phenol, 2,6-dimethoxy-	5.11	8.241	Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	1.44	8.241	Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	1.51	8.250	Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	1.58
33	12.487	1,2,4-Trimethoxybenzene	2.31	9.718	Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	0.76	9.716	Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	0.81	9.724	Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	0.95
34	12.535	Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)	0.97	10.944	Phenol, 2,6-dimethoxy-	4.08	10.946	Phenol, 2,6-dimethoxy-	4.22	10.950	Phenol, 2,6-dimethoxy-	5.03
35	13.714	Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-methyl-	1.53	12.483	1,2,4-Trimethoxybenzene	3.88	12.478	1,2,4-Trimethoxybenzene	2.66	12.481	1,2,4-Trimethoxybenzene	2.24
36							12.530	Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	0.32	12.535	Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-	0.76
37							13.710	Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-methyl-	0.97	13.712	Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-methyl-	1.51
38							13.807	2-Propanone, 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl	0.49	13.810	2-Propanone, 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl	0.58