



Komponen Kimia Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit

Abdul Gani Haji

Program Studi Kimia FKIP Universitas Syiah Kuala
Darussalam, Banda Aceh 23111
E-mail: gani_kimiawi@yahoo.co.id

Abstract

Chemical components of liquid smoke which is produced via pyrolysis of palm oil solid waste have been analyzed by using gas chromatography mass spectroscopy (GC-MS). Solid waste consists of shell, empty fruit bunch, and palm fiber. Solid waste was obtained from palm oil manufactory in Tanjung Semantok, Aceh province. The objective of this research was to investigate the chemical components in liquid smoke obtained from various palm oil solid waste. Sample was pyrolyzed at 500°C for 5 hours by using tube furnace reactor type 21100 which is equipped by thermolyne as temperature adjustment. The yield of pyrolysis from shell, empty fruit bunch and palm fiber are 52,02; 29,59; and 34,88%, respectively. The results showed that 27; 13 and 11 compounds of chemical were observed in liquid smoke obtained by pyrolysis of shell, empty fruit bunch, and palm fiber, respectively. Overall, acetic acid and phenol are the highest concentration of chemical obtained in this research.

Keywords: palm oil solid waste, pyrolysis, liquid smoke, chemical compound

1. Pendahuluan

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi hasil perkebunan yang menjadi andalan Indonesia untuk mendatangkan devisa setiap tahun. Saat ini Indonesia merupakan produsen minyak kelapa sawit terbesar kedua di dunia setelah Malaysia dengan total produksi rata-rata 9,9 juta ton per tahun sejak tahun 2003. Sejalan dengan semakin meningkatnya produksi kelapa sawit dari tahun ke tahun, di sisi lain akan terjadi pula peningkatan volume limbahnya, baik berupa limbah padat maupun limbah cair. Limbah kelapa sawit adalah sisa-sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau merupakan hasil ikutan dari proses pengolahan kelapa sawit (Fauzi, 2004). Limbah padat kelapa sawit dapat berupa tandan kosong, cangkang, janjang, dan *fiber* (sabut). Tandan kosong adalah rangka antar buah, sedangkan cangkang adalah kulit buah. Diantara cangkang terdapat serabut yang disebut *fiber*. Limbah yang dihasilkan dari industri pengolahan kelapa sawit antara lain janjang kosong, limbah cair, limbah solid (padatan) dan cangkang (Pardamean, 2008). Sebuah pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 100 ribu ton tandan buah segar per tahun akan menghasilkan sekitar 6 ribu ton cangkang, 12 ribu ton serabut dan 23 ribu ton tandan buah kosong.

Umumnya limbah padat industri kelapa sawit mengandung bahan organik yang tinggi sehingga berdampak pada pencemaran

lingkungan. Limbah padat kelapa sawit terdiri atas hemiselulosa (pentosan) 24%, selulosa (heksosan) 40%, lignin 21%, abu serta komponen lain sebanyak 15%, sedangkan menurut Khor dkk., (2009) pada limbah padat kelapa sawit mengandung hemiselulosa 33,52%, selulosa 38,52%, lignin 20,36%, zat ekstraktif 3,68% dan abu sebesar 3,92%. Berdasarkan komponen kimia tersebut, penumpukan dan pembakaran bukan merupakan metode yang tepat dan efektif untuk menangani permasalahan limbah padat kelapa sawit.

Penanganan limbah secara tidak tepat akan mencemari lingkungan. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengolah dan meningkatkan nilai ekonomi limbah padat kelapa sawit. Saat ini, sebagian limbah janjang dan tandan telah dimanfaatkan sebagai bahan baku pakan ternak dan kompos. Menurut Pardamean (2008) sumber energi boiler dapat dihasilkan dari serat janjang dan cangkang kelapa sawit. Di samping itu, baik cangkang kelapa sawit maupun limbah padat lainnya dari limbah industri CPO (*crude palm oil*) dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan, antara lain sebagai bahan baku arang dan diharapkan dapat menggantikan bahan baku kayu (Nurhayati dkk., 2005). Walaupun demikian hingga saat ini, pemanfaatan cangkang belum digunakan secara maksimal dan baru sebagian saja yang dimanfaatkan untuk menimbun jalan yang becek. Salah satu penyebabnya, karena limbah jenis ini sangat sukar terdekomposisi secara alami.

Salah satu teknologi alternatif yang dapat menjadi solusi bagi penanganan permasalahan limbah padat kelapa sawit ialah dengan teknik pirolisis. Menurut Bridgwater (2004) pirolisis didefinisikan sebagai proses dekomposisi suatu bahan oleh panas tanpa menggunakan oksigen yang diawali oleh pembakaran dan gasifikasi, serta diikuti oksidasi total atau parsial dari produk utama. Selanjutnya, Demirbas (2005) menyatakan pirolisis merupakan proses pemanasan tanpa kehadiran oksigen yang mendegradasi suatu biomassa menjadi arang, tar dan gas.

Dengan teknik pirolisis limbah padat kelapa sawit dapat diolah secara cepat menghasilkan produk berupa arang dan asap. Asap yang dikeluarkan dapat dicairkan menjadi destilat (asap cair) dengan menggunakan kondensor sehingga tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Saat ini, penelitian tentang asap cair sudah berkembang terutama dengan memanfaatkan limbah pertanian. Asap cair diperoleh sebagai hasil pendinginan dan pencairan asap dari bahan-bahan yang mengandung komponen kayu seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Asap cair didefinisikan sebagai cairan kondensat dari kayu yang telah mengalami penyimpanan untuk memisahkan tar dan bahan-bahan tertentu. Teknologi ini memiliki banyak kelebihan, terutama dapat diperoleh produk utama berupa arang yang dapat dikembangkan menjadi beberapa produk yang bernilai ekonomi. Darmadji (1996) menyatakan asap cair adalah larutan dispersi asap dalam air, yang terbentuk dari hasil kondensasi asap pada proses pembakaran kayu dengan teknik pirolisis. Asap cair berwarna kecoklatan dan memiliki bau khas (Bridgwater, 2004). Asap cair digunakan sebagai penambah aroma dan tekstur dalam bidang pangan (Ramakrishnan dan Moeller, 2002).

Asap cair saat ini mulai populer digunakan sebagai bahan pengawet untuk berbagai produk pangan dan biopestisida untuk meningkatkan produksi pertanian (Kilinc and Cakh, 2012). Salah satu penelitian yang sering dilakukan ialah untuk pengawetan ikan tuna dengan cara pengasapan (Isamu d., 2012). Selanjutnya, Prananta (2008) menyatakan bahwa asap cair yang dihasilkan pada proses pirolisis janjang dan tempurung kelapa dapat digunakan sebagai bahan pengawet, insektisida, dan obat-obatan yang memberi manfaat cukup besar bagi kehidupan manusia. Kandungan asap cair hasil pirolisis sampah organik terdapat senyawa γ -butirolakton yang memiliki

aktivitas *antifeedant* terhadap larva *Spodoptera litura*. Ditinjau dari komposisi kimia yang dikandungnya, sampah organik tidak jauh berbeda dengan cangkang kelapa sawit, karena memiliki komponen kimia yang hampir sama, sehingga asap cair hasil pirolisis limbah cangkang kelapa sawit diduga berpotensi untuk dikembangkan sebagai biopestisida, khususnya sebagai *antifeedant* bagi hama perusak daun. Asap cair yang dihasilkan dari limbah padat kelapa sawit, khususnya sabut, tempurung dan cangkang kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai pengawet makanan (Kilinc dan Cakh, 2012).

Menurut Khor dkk. (2009), asap cair yang dihasilkan dari pirolisis tandan kosong kelapa sawit mengandung 5 komponen utama yakni fenol 11,68%, 4-metilfenol 4,74%, asam dodekanoat 30,02%, metil ester 5,16%, asam tetradekanoat 4,78% dan 2-metoksi-4-metilfenol sebanyak 3,20%. Di samping itu, komposisi asap telah diteliti oleh Petter dan Lane pada tahun 1940, di mana pada asap kayu ditemukan hampir 1000 senyawa kimia. Beberapa senyawa yang telah diidentifikasi, yaitu fenolik 85 macam, karbonil 45 macam, asam 35 macam, furan 11 macam, alkohol dan ester 15 macam, lakton 13 macam, dan hidrokarbon alifatik 21 macam (Swastawati d., 2012). Komponen kimia dari asap cair hasil pirolisis dapat diidentifikasi dengan teknik kromatografi gas dan spektrometer massa (KGSM).

KGSM merupakan peralatan gabungan antara kromatografi gas dan spektrometer massa yang digunakan untuk memisahkan komponen kimia suatu bahan dan sekaligus mengetahui spektrum massa dari berbagai komponen kimianya. Saat ini, kromatografi gas di laboratorium kimia telah menjadi instrumen yang penting dan banyak dipakai untuk pemisahan kimia dengan variasi yang luas, dari gas-gas yang ringan sampai komponen dengan berat molekul tinggi yang sukar menguap. Spektrometri massa telah lama dikenal sebagai metode analisis instrumental yang dapat dimanfaatkan untuk mengungkap struktur kimia suatu zat.

Berbagai komponen kimia yang dikandung oleh asap cair yang telah dilaporkan oleh beberapa peneliti di atas. Namun, tidak mengemukakan secara jelas peralatan pirolisis yang digunakan dan kondisi proses yang dilaksanakan. Berdasarkan literatur yang telah ditelusuri, diketahui bahwa komponen kimia yang dikandung oleh asap

cair hasil pirolisis suatu biomassa sangat bergantung pada jenis bahan baku dan kondisi prosesnya. Oleh karena itu, penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui komponen kimia yang dikandung pada asap cair hasil pirolisis limbah padat kelapa sawit selama 5 jam pada suhu 500°C.

2. Metodologi

2.1 Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan adalah limbah padat kelapa sawit yang berasal dari limbah pabrik kelapa sawit Tanjong Seumentok Kecamatan Karang Baru Kabupaten Aceh Tamiang Propinsi Aceh. Adapun jenis limbah tersebut yang akan digunakan terdiri atas cangkang, tandan kosong dan janjang.

Peralatan utama untuk proses pirolisis digunakan reaktor merk *Tube Furnace Type* 21100 dengan pengatur suhu *thermolyne* dan dilengkapi dengan kondensor. Adapun peralatan yang digunakan untuk mengidentifikasi komponen kimia dari asap cair yang diperoleh yaitu KGSM.

2.2 Preparasi dan Penentuan Kadar Air Sampel

Limbah padat kelapa sawit terutama tandan kosong terlebih dahulu dipreparasi dengan cara mencacahnya agar mudah dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Setelah itu, limbah cangkang, tandan kosong dan janjang ditentukan kadar airnya dengan cara yaitu: 1) Cawan porselin dipanaskan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam, kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Selanjutnya contoh ditimbang sebanyak 10 gram dan dimasukkan ke dalam cawan porselin yang sudah ditimbang, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 7 jam dan didinginkan dalam desikator kemudian ditimbang kembali. Selanjutnya dihitung kadar airnya dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air contoh (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (1)$$

a = bobot contoh awal

b = bobot contoh akhir

2.3 Proses Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit

Proses pirolisis dilakukan dengan menggunakan peralatan reaktor pirolisis dengan prosedur sebagai berikut. 1) sampel cangkang kelapa sawit ditimbang sebanyak 150 gram, 2) sampel dimasukkan ke dalam

tabung pirolisator pada peralatan pirolisis, 3) peralatan yang sudah dirangkai dihubungkan dengan arus listrik, 4) suhu proses diatur dengan alat *Thermolyne* hingga mencapai 500°C dan dilaksanakan pemanasan selama 5 jam, 5) asap yang keluar dikondensasi dan ditampung dalam botol, 6) setelah proses selesai, reaktor dimatikan dan dibiarkan dingin secara alami, 7) asap cair yang diperoleh dihitung rendemennya dengan menggunakan rumus:

$$\text{Rendemen (\%b/b)} = \frac{x}{y} \times 100\% \quad (2)$$

x = bobot asap cair

y = bobot kering bahan baku

Prosedur 1 sampai 8 diulangi dengan cara yang sama sebanyak tiga kali. Selanjutnya, dengan cara yang sama pula dilakukan pirolisis terhadap sampel tandan kosong dan janjang.

2.4 Identifikasi Komponen Kimia dengan KGSM

Komponen kimia penyusun asap cair yang diperoleh dari hasil pirolisis ketiga sampel diidentifikasi dengan teknik KGSM di laboratorium Instrumen Jurusan Kimia FMIPA UPI Bandung. Peralatan tersebut menggunakan kolom HP Ultra 2, dengan kondisi operasi pada suhu oven 280°C/10 menit, injeksi 250°C, dan interface 280°C, gas pembawa helium, laju alir 0,6 µL/menit, dan volume injeksi 1 µL. Selanjutnya, residu asap cair ditimbang sebanyak 0,1 mg dan dilarutkan dengan 2 mL etil asetat. Kemudian larutan tersebut diinjeksi ke dalam kolom KGSM.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pirolisis

Hasil pirolisis limbah padat kelapa sawit menghasilkan destilat yang berupa cairan asap dan residu arang. Selain itu juga diperoleh gas-gas yang tidak dapat terkondensasikan oleh pendingin, sehingga tidak bisa ditampung pada penampung cairan. Sebagian gas-gas ini terjebak pada penampung sedangkan yang lain terlepas dari penampung tersebut keluar melalui pipa penyalur asap dan lepas ke atmosfer.

Rendemen merupakan salah satu parameter yang penting untuk mengetahui hasil dari suatu proses. Asap cair pada penelitian ini dihasilkan melalui proses kondensasi asap yang dikeluarkan reaktor pirolisis. Selama proses pirolisis terjadi penguapan berbagai

macam senyawa. Rendemen rata-rata hasil pirolisis limbah padat kelapa sawit dengan reaktor pirolisis pada suhu 500°C selama 5 jam disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, rata-rata rendemen asap cair yang dihasilkan pada proses pirolisis cangkang, tandan kosong dan janjang kelapa sawit dengan reaktor listrik pada suhu 500°C selama 5 jam secara berturut yaitu 52,02; 29,59, dan 34,88%. Dalam hal ini Gani (2007) menyatakan jumlah rendemen asap cair yang dihasilkan pada proses pirolisis sangat bergantung pada kondisi proses dan jenis bahan baku yang digunakan. Persentase rendemen yang diperoleh juga sangat bergantung pada suhu pirolisis dan sistem kondensasi yang dipakai. Kondisi ini sesuai bahwa untuk pembentukan asap cair digunakan air sebagai medium pendingin agar proses pertukaran panas dapat terjadi dengan waktu relatif cepat. Pirolisis pada suhu yang terlalu tinggi dan waktu yang terlalu lama akan menyebabkan pembentukan asap cair berkurang karena suhu dalam air pendingin semakin meningkat sehingga asap yang dihasilkan tidak terkondensasi secara sempurna.

Kualitas asap cair sangat bergantung pada komposisi senyawa-senyawa kimia yang dikandungnya. Kriteria mutu asap cair baik cita rasa maupun aroma sebagai ciri khas yang dimiliki asap ditentukan oleh golongan senyawa kimia yang dikandungnya. Senyawa-senyawa kimia yang terdapat di dalam asap cair sangat bergantung pada kondisi pirolisis dan bahan baku yang digunakan. Di samping itu, proses pirolisis suatu bahan yang tidak berlangsung sempurna dapat menyebabkan komponen-komponen kimia yang dihasilkan dalam asap cair kurang lengkap. Komponen kimia yang

telah diidentifikasi pada asap cair antara lain senyawa golongan fenol, karbonil, asam-asam karboksilat, furan, hidrokarbon, alkohol, dan lakton.

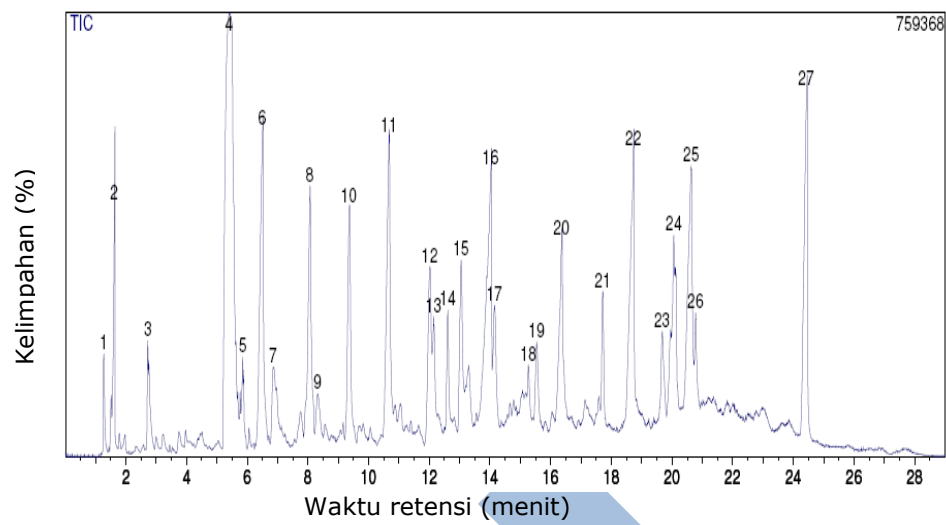
3.2 Komponen Kimia Asap Cair

Asap cair yang dihasilkan pada proses pirolisis limbah padat kelapa sawit terlebih dahulu dilarutkan dalam pelarut methanol untuk selanjutnya diidentifikasi kandungan kimianya. Penentuan kandungan senyawa yang terdapat dalam asap cair dilakukan dengan menggunakan peralatan KGSM. Penggambaran pola kromatogram berbentuk kurva sebagai fungsi waktu untuk kromatografi gas dan spektrogram berbentuk spektrum garis untuk spektrometri massa yang menunjukkan pola spektrum massa hasil fragmentasi dari molekul cuplikan.

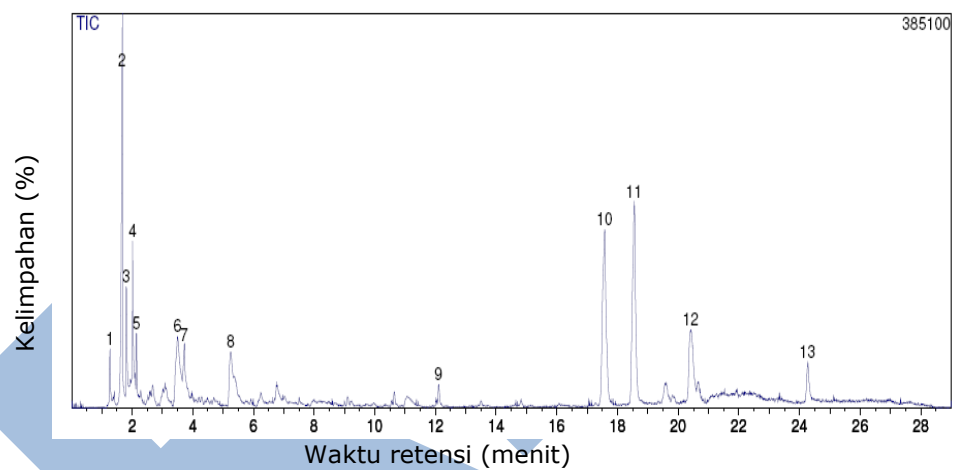
Kromatogram pada Gambar 1 sampai 3 memperlihatkan bahwa asap cair yang dihasilkan pada proses pirolisis limbah padat kelapa sawit menunjukkan pemisahan komponen kimianya melalui puncak-puncak kromatogram yang muncul pada kromatografi gas. Puncak-puncak pada asap cair cangkang muncul pada waktu retensi 1,283 - 24,442 menit (Gambar 1), dan berdasarkan chemstation data system teridentifikasi sebanyak 27 senyawa. Pada asap cair tandan kosong puncak kromatogram muncul pada waktu retensi 1,275 - 24,275 menit (Gambar 2), dan teridentifikasi sebanyak 13 senyawa. Sedangkan pada asap cair janjang puncak kromatogram muncul pada waktu retensi 1,283 - 18,525 menit (Gambar 3), dan teridentifikasi sebanyak 11 senyawa. Senyawa-senyawa tersebut diduga mempunyai nama dan stuktur seperti tercantum pada Tabel 2 hingga Tabel 4.

Tabel 1. Rendemen asap cair hasil pirolisis limbah padat kelapa sawit dengan reaktor listrik pada suhu 500°C selama 5 jam

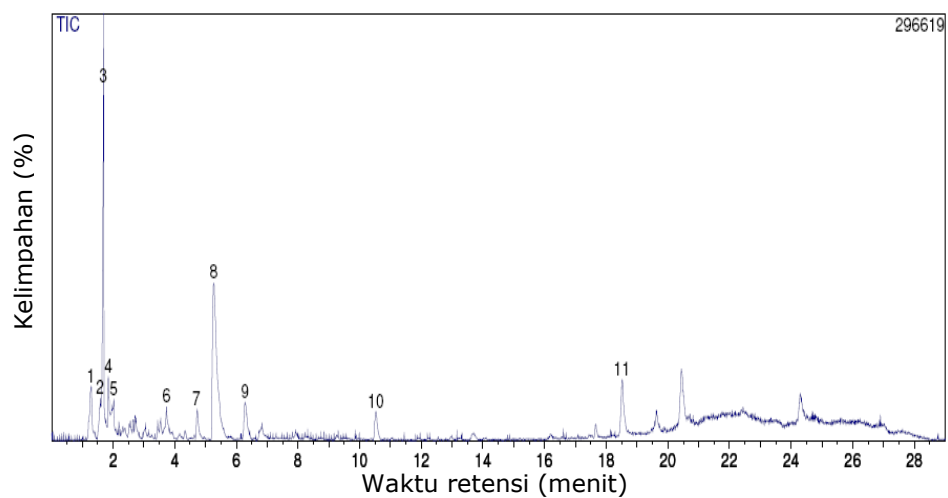
Sampel	Ulangan	Bobot Kering Bahan Baku (g)	Bobot Asap Cair (g)	Rendemen Asap cair (%w/w)
Cangkang	I	134,56	68,93	51,23
	II	135,13	70,48	52,16
	III	135,02	71,10	52,66
	Rerata			52,02
Tandan kosong	I	31,72	9,14	28,81
	II	31,59	9,65	30,55
	III	30,68	9,02	29,40
	Rerata			29,59
Janjang	I	29,28	10,21	34,87
	II	28,67	9,95	34,70
	III	29,19	10,24	35,08
	Rerata			34,88



Gambar 1. Kromatogram asap cair hasil pirolisis cangkang kelapa sawit



Gambar 2. Kromatogram asap cair hasil pirolisis tandan kosong kelapa sawit



Gambar 3. Kromatogram asap cair hasil pirolisis janjang kelapa sawit

Dalam asap cair hasil pirolisis limbah padat kelapa sawit terdapat beberapa jenis senyawa (Tabel 2 sampai 4). Kandungan kimia yang paling banyak terdapat dalam asap cair adalah asam asetat dan fenol. Hasil ini dari komponen penyusun asap cair tidak jauh berbeda dengan yang diperoleh dengan hasil pirolisis bahan kayu yang memperoleh air (11-92%), senyawa fenolik (0,2-2,9%), asam-asam organik (2,8-4,5%) dan karbonil (2,6-4,6%). Lebih lanjut, sudah didapatkan tujuh komponen kimia utama dalam asap cair tempurung kelapa, yaitu senyawaan fenolik, 2-metoksifenol, 2,5-dimetoksifenol dan 3-metil-1,2-siklopen-

tadion, yang larut dalam ester. Yulistiani (1997) mendapatkan kandungan senyawa fenolik sebesar 1,28% dalam asap cair tempurung kelapa. Komponen fenol tertinggi (3,24%) terdapat dalam asap cair kayu tusam, kadar asam asetat tertinggi (6,33%) kayu bakau, dan kadar alkohol tertinggi (2,94%) pada kayu jati (Swastawati dkk., 2012). Berdasarkan hasil tersebut, dapat diyakini bahwa pada hampir semua asap cair dari berbagai jenis kayu terdapat senyawa golongan fenolik. Oleh karena itu, asap cair dapat digunakan sebagai salah satu bahan pengawet alami yang bebas dari resiko keracunan.

Tabel 2. Kandungan kimia asap cair hasil pirolisis cangkang kelapa sawit

No. Puncak	Waktu Retensi (menit)	Dugaan Senyawa	Konsentrasi (%)
1	1,283	Etanol	0,70
2	1,625	Asam asetat	2,70
3	2,733	2-furankarbondehid	1,50
4	5,425	Fenol	21,02
5	5,858	2-kloro-2-hidroksil,3-metil pentenon	1,46
6	6,508	2-metoksi-fenol	6,46
7	6,875	4-metil-fenol	1,53
8	8,067	2-metoksi-4-metil-fenol	4,41
9	8,325	3-etil-fenol	0,80
10	9,367	4-etil-2-metoksi-fenol	3,93
11	10,675	2,6-dimetoksi-fenol	5,43
12	12,017	Asam-4-hidroksi-3-metoksi benzoat	3,13
13	12,150	2-metoksi-4-(2-propenil)-fenol	1,21
14	12,608	Metil dodekanoat	1,26
15	13,050	1,2,3-trimetoksi-5-metil-benzen	2,13
16	14,033	Asam dodekanoat	7,61
17	14,150	asam-2,4-hexadienoat	1,80
18	15,267	4-metil oktadekanoat	0,31
19	15,542	2,6-dimetoksi-4-(2-propenil)-fenol	1,22
20	16,367	Asam tetradekanoat	3,76
21	17,717	Metil hexadekanoat	1,23
22	18,725	Asam hexadekanoat	6,17
23	19,683	Metil-9-oktadecenoat	1,38
24	20,067	Asam-1,4-benzenadikarboksilat	4,68
25	20,625	Asam 8-heptadecenoat	6,19
26	20,783	Asam-9-oktadecenoat	1,14
27	24,442	Asam-1,2-benzenedikarboksilat	6,82

Tabel 3. Kandungan kimia asap cair hasil pirolisis tandan kosong kelapa sawit

No. Puncak	Waktu Retensi (menit)	Dugaan Senyawa	Konsentrasi (%)
1	1,275	Asam-3-hidroksil-butanoat	1,57
2	1,675	Asam asetat	16,00
3	1,817	Metil propanoat	4,45
4	2,025	Asam propanoat	6,62
5	2,150	Piridin	1,62
6	3,500	Furfural alkohol	8,61
7	3,725	Gamma butirolakton	3,22
8	5,250	Fenol	3,56
9	12,108	Dodekana	0,75
10	17,575	4-metil fenol	20,80
11	18,558	Asam heksadekanoat	21,07
12	20,417	Asam-9,12-oktadecadienoat	8,84
13	24,275	Asam-1,2-benzenedikarboksilat	2,90

Tabel 4. Kandungan kimia asap cair hasil pirolisis janjang kelapa sawit

No. Puncak	Waktu Retensi (menit)	Dugaan Senyawa	Konsentrasi (%)
1	1,283	1,2-etanadiol	5,80
2	1,583	Metil metanoat	3,76
3	1,692	Asam asetat	23,50
4	1,850	Hidroksi-propanon	4,56
5	2,025	Asam propanoid	3,86
6	3,742	Gamma butirolakton	1,61
7	4,733	2-furanometanol	2,52
8	5,275	Fenol	37,48
9	6,292	2-metoksi-fenol	4,94
10	10,533	2,6-dimetoksi-fenol	4,01
11	18,525	Asam heksadekanoid	7,94

4. Kesimpulan

Hasil pirolisis cangkang, tandan kosong, dan janjang kelapa sawit diperoleh rata-rata rendemen asap cair secara berturut 52,02; 29,59, dan 34,88%. Hasil identifikasi dengan teknik KGSM diketahui komponen kimia dari asap cair hasil pirolisis cangkang kelapa sawit sebanyak 27 senyawa, dari tandan kosong sebanyak 13 senyawa dan janjang sebanyak 11 senyawa. Komponen kimia yang diperoleh pada cangkang, tandan kosong, maupun janjang dengan konsentrasi lebih tinggi ialah asam asetat dan fenol.

Daftar Pustaka

- Bridgwater, A.V. (2004). Biomass fast pyrolysis, *Thermal Science*, 8(2), 21-49.
- Darmadji, P. (1996) Aktivitas antibakteri asap cair yang diproduksi dari bermacam-macam limbah pertanian. *Agrotech*, 16 (4), 19-22.
- Demirbas, A. (2005) Pyrolysis of ground wood in irregular heating rate conditions. *Journal Analytical and Applied Pyrolysis*, 73, 39-43.
- Fauzi, Y. (2004) *Kelapa Sawit*. Edisi Revisi, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Haji, A. G., Mas'ud, Z. A., Lay, B. W., Sutajhjo, S. H., Pari. G. (2007) Karakterisasi asap cair hasil pirolisis sampah organik padat. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(3), 113-120.
- Isamu, K. T., Purnomo, H., Yuwono, S. S. (2012) Physical, chemical, and organoleptic characteristics of smoked skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) produced in Kendari-South East Sulawesi. *African Journal of Biotechnology* 11(91), 15819-15822.
- Khor, K. H., Lim, K. O., Zainal, Z. A. (2009) Characterization of bio-oil: a by-product from slow pyrolysis of oil palm empty fruit bunches. *American Journal of Applied Sciences*, 6(9), 1647-1652.
- Kilinc, B., Cakh, S. (2012) Growth of *Listeria monocytogenes* as affected by thermal treatment of rainbow trout fillets prepared with liquid smoke. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 12, 285-290.
- Nurhayati, T., Sofyan, K., Desviana. (2005) Tempurung kelapa sawit sebagai bahan baku alternatif untuk produksi arang terpadu dengan pyrolegneous /asap cair. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 3(2), 39-44.
- Pardamean, M. (2008) *Panduan Lengkap Pengelolaan Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit*, Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Prananta, J. (2008) Pemanfaatan Sabut dan Tempurung Kelapa serta Cangkang Sawit untuk Pembuatan Asap Cair sebagai Pengawet Makanan Alami. *Skripsi*, (<http://www.scribd.com>), diakses 24 September 2009).
- Ramakrishnan, S., Moeller, P. (2002) Liquid smoke: product of hardwood pyrolysis. *Fuel Chemistry Division Preprints*, 47(1), 366.
- Swastawati, F., Susanto, E., Cahyono, B. Trilaksono, W., A. (2012) Sensory evaluation and chemical characteristics of smoke stingray (*dasyatis*

blekeery) processed by using two different liquid smoke. *International Journal of Bioscience, Biochemistry, and Bioinformatics*, 2(3), 212-216.

Swastawati, F., Agustini, T. W, Darmanto, Y. S., Dewi, E. N. (2007) Liquid smoke performance of lamtoro wood and corn cob. *Journal of Coastal Development*, 10(3), 189-196.

RK