

UJI COBA ALAT PENGHASIL ASAP CAIR SKALA LABORATORIUM DENGAN BAHAN PENGASAP SERBUK GERGAJI KAYU JATI SABRANG ATAU SUNGKAI (*Peronema canescens*)

Rodiah Nurbaya Sari, Bagus Sediadi Bandol Utomo dan Bakti Berlyanto Sedayu^{*)}

ABSTRAK

Uji coba alat penghasil asap cair skala laboratorium telah dilakukan dengan menggunakan bahan pengasap serbuk gergaji kayu jati sabrang atau sungkai (*Peronema canescens*). Pada percobaan ini suhu pirolisis diatur antara 200–450°C. Parameter yang diamati adalah banyaknya asap cair yang dihasilkan, arang sisa pembakaran, jumlah komponen asap yang hilang, kinerja alat dan susunan senyawa kimia asap cair yang dihasilkan dengan menggunakan GCMS Shimadzu – QP2010. Hasil percobaan menunjukkan bahwa proses distilasi asap menghasilkan asap cair sebanyak 38,0%, arang sisa pembakaran 32,0%, jumlah komponen yang hilang 30,0%, energi yang dilepas dari pembentukan asap menjadi asap cair (-) 476,45 kJ/kg asap, energi yang diserap air kondensor sebesar 2,1 kJ/kg air sehingga jumlah air bersuhu 30,4°C yang dibutuhkan untuk mengembunkan 1 kg asap menjadi asap cair dengan suhu pirolisis 316,7°C adalah sebanyak 226,88 liter. Kinerja alat adalah 6,98 g/(jam. m). Komponen dominan dalam asap cair yang dihasilkan adalah senyawa 1,2-benzenedicarboxylic acid, diethyl ester (C₁₂H₁₄O₄) sebanyak 23,61%.

ABSTRACT: *A trial test of laboratory scale liquid-smoke generator using saw dust of sabrang teak wood or sungkai (Peronema canescens) as smoke source. By: Rodiah Nurbaya Sari, Bagus Sediadi Bandol Utomo and Bakti Berlyanto Sedayu*

A trial test of a laboratory scale liquid-smoke generator has been conducted using saw dust of sabrang teak wood or sungkai (Peronema canescens) as smoke source. In this test pyrolysis temperature was set at 200–450°C. The parameters observed were amount of liquid smoke and charcoal produced, weight loss of smoke component, performance of liquid-smoke generator and chemical composition of the liquid-smoke using GCMS Shimadzu – QP2010. Results showed that distillation produced 38.0% liquid smoke and 32.0% charcoal, while 30.0% of smoke component was lost. Transfer energy from system was (-) 476.45 kJ/kg smoke, while used energy by water condenser was 2.1 kJ/kg water, so that water at 30.4°C required to condense 1 kg smoke into liquid smoke at 316.7°C temperature pyrolysis was 226.88 liter. The performance of liquid-smoke generator was 6.98 g/(h. m). The most dominant component found in the liquid smoke was 1,2-benzenedicarboxylic acid, diethyl ester (C₁₂H₁₄O₄) ie. 23.61%.

KEYWORDS: *liquid smoke, sabrang teak wood or sungkai (Peronema canescens), transferred energy, used energy*

PENDAHULUAN

Pengasapan sebagai salah satu cara pengawetan telah dikenal manusia sejak ditemukannya api yaitu dikenal dengan pemanggangan (*hot smoking*). Produk pengasapan yang salah satunya adalah ikan asap dapat disimpan lama dan rasanya pun khas. (Moeljanto, 1982 dan Okada, 1972 dalam Chamidah, *et al.*, 1999). Ikan asap merupakan produk olahan yang siap dikonsumsi karena selama proses pengasapan ikan mengalami perlakuan panas yang menyebabkan daging ikan menjadi matang dan

sekaligus membunuh sebagian besar bakteri yang ada di dalamnya.

Ada dua cara pengasapan tradisional yang telah dikenal oleh masyarakat yaitu pengasapan dingin dan pengasapan panas. Pengasapan secara tradisional mempunyai beberapa kelemahan seperti kualitas ikan yang tidak konsisten, terdepositnya tar pada bahan makanan yang dapat membahayakan kesehatan dan menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. Pengasapan modern, yang belum banyak dikenal masyarakat, adalah menggunakan asap cair. Teknologi pengasapan dengan menggunakan asap

^{*)} Peneliti pada Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan, DKP

cair dapat mengatasi kelemahan yang terjadi pada pengasapan tradisional. Selain itu ada beberapa keuntungan yang diperoleh yaitu menghemat biaya yang dibutuhkan untuk kayu dan peralatan pembuat asap, dapat diperoleh produk dengan cita rasa yang diinginkan, komponen yang berbahaya dapat dikurangi, mudah diterapkan pada masyarakat awam dan mengurangi polusi udara (Pszczola, 1995).

Asap cair adalah cairan kondensat dari asap yang telah mengalami penyaringan untuk memisahkan tar dan bahan-bahan tertentu (Pszczola, 1995). Menurut Hollenbeck (1977), ada beberapa cara yang umum digunakan untuk pembuatan asap cair di antaranya adalah dengan pembakaran serbuk gergaji kayu dalam kondisi oksidasi terkontrol dan kondensasi asap menggunakan kondensor. Selama pembakaran, komponen kayu seperti hemiselulosa, selulosa dan lignin akan mengalami pirolisis yang menghasilkan tiga kelompok senyawa yaitu senyawa mudah menguap yang dapat dikondensasikan, gas-gas yang tidak dapat dikondensasikan dan zat padat berupa arang (Maga, 1988). Menurut Tranggono *et al.* (1996), untuk menghasilkan asap cair diperlukan sistem peralatan yang terdiri dari pirolisator, pemanas, pipa penyalur asap, kolom kondensasi dan penampung destilat.

Pirolisis adalah proses penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik atau senyawa kompleks menjadi zat dalam tiga bentuk yaitu padatan, cairan dan gas yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar pada suhu yang cukup tinggi (Sulaiman, 2004).

Komponen utama yang diperlukan dalam pengasapan hanya tiga senyawa, yaitu : asam, fenol dan karbonil (Hollenbeck, 1977). Komposisi asap dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah jenis kayu, kadar air dan suhu pembakaran yang digunakan.

Jenis kayu yang baik untuk digunakan sebagai bahan pengasap adalah kayu yang banyak menghasilkan asap dan lambat terbakar, di antaranya adalah kayu jati, kamper, bangkirai, kruing, glugu, lamtoro gung serta mahoni (Tranggono *et al.*, 1996).

Kayu jati sabrang atau sungkai (*Peronema canescens*) dalam bentuk serbuk gergaji merupakan hasil samping/limbah dari industri *furniture*. Jumlahnya cukup banyak dan belum termanfaatkan secara optimal. Untuk meningkatkan nilai ekonomisnya dan sebagai alternatif penanganan limbah serta kebersihan lingkungan, salah satu caranya adalah dimanfaatkan sebagai bahan dasar dalam pembuatan asap cair.

Komponen penyusun dari kayu jati adalah selulosa 47,5%; lignin 29,9%; pentosan 14,4%, abu 1,4% dan

silika 0,4% (Martawijaya *et al.*, 1989 dalam Firmansyah, 2004). Selain itu kayu jati juga memiliki nilai panas sekitar 4359–7000 kalori tiap gram (Sally, 2002 dalam Firmansyah, 2004).

Tujuan penelitian ini adalah melakukan uji coba alat penghasil asap cair skala laboratorium dengan bahan pengasap serbuk gergaji kayu jati sabrang atau sungkai (*Peronema canescens*).

Penelitian mengenai asap cair dengan bahan pengasap serbuk gergaji kayu jati sudah pernah dilakukan di Institut Pertanian Bogor. Hasil-hasil penelitian berupa peralatan untuk produksi asap cair yang terdiri dari tungku pirolisis dengan pemanas listrik, pipa penyalur asap berdiameter 2,5 cm dengan panjang 150 cm, kondenser (tabung pendingin) berdiameter 20 cm dengan tinggi 100 cm dan penampung asap cair berukuran 1000 mL (Darmadji, 1996; Darmadji *et al.*, 2000) serta karakteristik asap cair dengan berbagai jenis bahan pengasap (Chamidah *et al.*, 1999; Widajanto, 2000; Firmansyah, 2004 dan Hanendyo, 2005) dijadikan input untuk mendisain alat penghasil asap cair skala laboratorium di Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan, Jakarta.

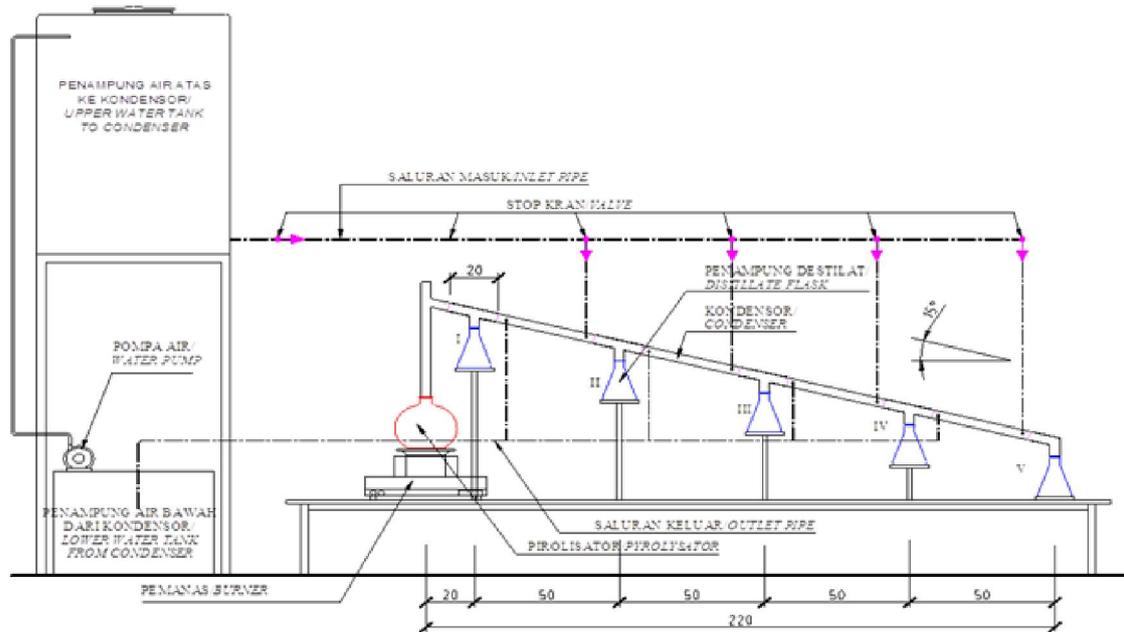
BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan untuk menghasilkan asap cair dalam penelitian ini adalah serbuk gergaji kayu jati sabrang atau sungkai (*Peronema canescens*) yang diperoleh dari daerah Pamulang, Ciputat, Tangerang. Sedangkan alat laboratorium dan bahan kimia yang digunakan untuk analisis komponen asap cair adalah *microliter syringes* 0,10 mL, *syringe* 10,000 mL *filters* 0,45 mm PVDF dia. 25 mm, *syringe luer-lok* 10 mL, *vials* 8X40 mm, GCMS Shimadzu – QP2010, metanol dan gas helium. Bahan lain yang digunakan adalah kertas saring Whatman No 42.

Disain Alat Penghasil Asap Cair

Rangkaian alat (Gambar 1) terdiri dari labu ukur 2000 ml bertutup sebagai pirolisator, kondensor lurus panjang 30 cm dengan diameter dalam 29 mm dan diameter luar 32 mm, pipa-pipa kaca panjang 10 dan 20 cm dengan diameter dalam 29 mm dan diameter luar 32 mm sebagai penyalur asap dari *burner* ke kondensor dan penghubung antar kondensor serta kondensor ke penampung asap cair, erlenmeyer sebagai penampung asap cair ditutup rapat dan dipasang di lima titik, kompor gas 1 tungku sebagai pemanas/*burner*, pompa air berkapasitas 30 liter/menit, penampung air sebagai sumber air tinggi 275



Gambar 1. Alat penghasil asap cair skala laboratorium (satuan : cm).
 Figure 1. Laboratory scale liquid smoke generator (in cm).

cm dari permukaan lantai, selang air, stop kran, pipa pvc, tiang penyangga, penjepit, termometer digital, kabel, jek, stopwatch, gelas ukur.

digital dan pengukuran dilakukan setiap 30 menit di beberapa tempat yaitu dalam pirolisator, dalam penampung asap cair serta inlet dan outlet kondensor.

Proses Distilasi

Serbuk gergaji kayu jati sabrang atau sungkai (*Peronema canescens*) sebanyak 175 gram dimasukkan dalam pirolisator, ditutup rapat lalu dipanaskan. Suhu pirolisis diatur antara 200–450°C (Darmadji, 1996; Darmadji *et al.*, 1999; Darmadji, 2002). Pada kisaran suhu perlakuan tersebut diharapkan tiga komponen yang berpengaruh pada komposisi fraksi asap cair yaitu hemiselulosa, selulosa dan lignin telah mengalami pirolisis. Burner dan pompa air dinyalakan secara bersamaan. Proses distilasi dilakukan 8 jam sampai semua bahan menjadi arang. Suhu diukur dengan menggunakan termometer

Pengamatan

Pengamatan dilakukan terhadap suhu dalam pirolisator, suhu air untuk kondensor (inlet dan outlet) dan suhu asap cair dalam tiap-tiap penampung, volume asap cair di setiap penampung, flow rate (volume per satuan waktu) air kondensor dan asap cair, bobot arang dan analisis komposisi kimia untuk asap cair dengan volume terbanyak menggunakan GCMS.

Persentase asap cair yang dihasilkan, produksi arang dan komponen yang hilang dihitung dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut (Firmansyah, 2004) :

$$\text{Persentase asap cair tertampung} = \frac{\text{bobot asap cair tertampung (g)}}{\text{bobot serbuk gergaji (g)}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Persentase arang} = \frac{\text{bobot arang (g)}}{\text{bobot serbuk gergaji (g)}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Komponen yang hilang} = 100\% - (\% \text{ asap cair tertampung} + \% \text{ arang}) \dots\dots\dots (3)$$

Besarnya energi yang dilepas dari pembentukan asap menjadi asap cair dan energi yang diserap oleh air kondensor dihitung dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut (Nainggolan, 1987) :

$$\text{Energi yang dilepas, } Q_a = Q_1 - Q_2 + (V_2^2 - V_1^2) / (2 \cdot g_0 \cdot J) \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan/Note :

- Q_a = Energi yang dilepas selama proses pembentukan asap cair (kJ/kg asap)
- Q₁ = Energi yang dilepas oleh asap saat masuk dalam kondensor (kJ/kg)
- Q₂ = Energi yang dilepas oleh asap cair setelah keluar dari kondensor (kJ/kg)
- V₁² = Kecepatan alir dari asap (m/s)
- V₂² = Kecepatan alir dari asap cair (m/s)
- g₀ = Kecepatan gravitasi standar = 981,46 cm/s²
- J = Bilangan konversi; 778,16 ft. Lb.BTU = 101,97 m. kg/kJ

Energi yang dilepas oleh asap (Q₁) dan asap cair (Q₂) yang melalui kondensor dapat dihitung dengan perhitungan :

$$Q_1 = c \text{ asap} \times T \text{ asap} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan/Note:

- Q₁ = energi yang dilepas oleh asap saat masuk dalam kondensor (kJ/kg)
- c asap = panas jenis (*specific heat*) asap, diasumsikan sebagai c uap air = 2010 J/kg. °C (Abdullah, 2005 : 49)
- T asap = suhu pirolisis (°C).

$$Q_2 = c \text{ asap cair} \times T \text{ asap cair} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan/Note :

- Q₂ = energi yang dilepas oleh asap cair setelah keluar dari kondensor (kJ/kg)
- c asap cair = panas jenis (*specific heat*) asap cair, diasumsikan sebagai c air = 4200 J/kg. °C (Abdullah, 2005 : 48)
- T asap cair = suhu asap cair di penampung (°C)

Kecepatan alir dari asap dan asap cair dapat dihitung dengan perhitungan :

$$q = A \cdot v \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan/Note:

- q = Debit (*flow rate*) (m³/s)
- A = Luasan penampang kondensor (m²), diameter dalam kondensor = 29 mm dan diameter luar = 32 mm
- v = Kecepatan alir (m/s)

Sedangkan untuk menentukan volume asap, dikonversikan dulu bobot asap yang tercatat dengan massa jenisnya dengan perhitungan :

$$\rho \text{ asap} = m \text{ asap} / V \text{ asap} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan/Note:

- ρ = Massa jenis asap (m³/kg); diasumsikan sebagai massa jenis uap air = 0,0163 m³/kg (Perry & Green, 1984 : 3-239)
- m = Bobot asap (kg); diasumsikan = bobot serbuk gergaji - bobot arang sehingga diperoleh besarnya = 67,37% dari bobot serbuk gergaji
- V = Volume asap (m³).

Selanjutnya dengan waktu pirolisis 8 jam dapat ditentukan besarnya *flow rate* asap.

Energi yang diserap air kondensor dapat dihitung dengan perhitungan:

$$Q_k = c \text{ air} \times (T \text{ outlet} - T \text{ inlet}) \text{ kondensor} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan/Note:

- Q_k = energi yang diserap oleh air kondensor (kJ/kg air)
- c air = panas jenis (*specific heat*) air = 4200 J/kg. °C (Abdullah, 2005 : 48)
- T *outlet* = suhu *outlet* kondensor tercatat (°C)
- T *inlet* = suhu *inlet* kondensor tercatat (°C)

Bobot air yang dibutuhkan untuk mengembunkan 1 kg asap dapat dihitung dengan perhitungan :

$$m \text{ air kondensor} = Q_a / Q_k \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan/Note :

- m air kondensor = Bobot air kondensor yang dibutuhkan untuk mengembunkan 1 kg asap menjadi asap cair (kg air)
- Q_a = energi yang dilepas selama proses pembentukan asap cair (kJ/kg asap)
- Q_k = energi yang diserap oleh air kondensor (kJ/kg air).

Kinerja Alat

Kinerja alat penghasil asap cair terutama didasarkan pada bobot asap cair yang tertampung setiap satu jam yang dihasilkan oleh kondensor. Perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut (Hanendyo, 2005) :

$$\text{Kinerja alat} = \frac{\text{bobot asap cair tertampung (g)}}{\text{wkt. pirolisis (jam) X panj. kondensor (m)}} \dots(11)$$

Analisis Komposisi Kimia Asap Cair

Preparasi sampel

Asap cair yang diperoleh diendapkan satu malam lalu disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman No. 42. Penyaringan diulangi dengan menggunakan *microliter syringes* 0,10 ml dan *syringe* 10,000 µl dengan *filters* 0,45 µm PVDF dia. 25 mm. Filtrat diencerkan dengan metanol sampai 1000 kali, kemudian dimasukkan dalam tabung sampel lalu diinjeksikan ke GCMS Shimadzu – QP2010.

Kondisi pengoperasian GCMS Shimadzu – QP2010

Kondisi pengoperasian GCMS Shimadzu – QP2010 saat digunakan untuk analisis adalah sebagai berikut. Suhu oven 75°C dipertahankan selama 2 menit, kemudian ditingkatkan menjadi 130°C dengan kecepatan peningkatan suhu 8°C/menit dan dipertahankan selama 3 menit, ditingkatkan lagi menjadi 290°C dengan kecepatan peningkatan suhu 10°C/menit yang dipertahankan selama 3 menit dan kemudian ditingkatkan lagi menjadi suhu 300°C selama 24 menit. Tekanan gas diatur 75,0 kPa dan

laju alir gas 0,57 mL/menit. Suhu injektor 250°C dengan volume sampel yang diinjeksikan sebanyak 1 µl. Analisis dilakukan dari berat molekul (m/z) 50 sampai 500 dengan waktu retensi (*retention time*) dari 5 sampai 55,50 menit (Variasi dari Guillen & Ibargoitia, 1999).

HASIL DAN BAHASAN

Kadar Air Bahan Baku

Serbuk gergaji kayu jati sabrang atau sungkai (*Peronema canescens*) yang digunakan mempunyai kadar air sebesar 10,26%. Nilai ini berada pada selang nilai kadar air yang sudah pernah dilakukan penelitiannya pada bahan pengasap lainnya (kayu karet, kayu singkong, dll.) yaitu 8,6–12,51% (Guillen & Ibargoitia, 1999; Darmadji, 2002).

Suhu, Volume Asap Cair Tertampung dan Flow Rate

Dalam penelitian ini diharapkan suhu pirolisis 200–450°C dan yang tercatat adalah 203,3–430,0°C sehingga dapat dikatakan kondisi perlakuan yang diharapkan sudah tercapai. Suhu pada *inlet* kondensor adalah 28,1–32,7°C dan pada *outlet* kondensor 28,3–33,5°C. Sedangkan *flow rate* air kondensor adalah 840 ml/menit dan asap cair 0,14 ml/menit. Hasil pencatatan suhu dan volume asap cair yang tertampung dapat dilihat pada Tabel 1.

Persentase Asap Cair, Arang dan Komponen yang Hilang

Asap cair yang dihasilkan berwarna coklat pekat. Total asap cair yang tertampung adalah (67,0±15,7) ml. Berdasarkan pada perhitungan (1), (2) dan (3)

Tabel 1. Suhu dan volume destilat pada penampung I - V
Table 1. Temperature and volume of distillate in flask I - V

Penampung asap cair/ Distillate flask	Kisaran suhu/ Temperature range (° C)	Volume asap cair/ Distillate volume (mL)
I	35.4–47.2	17.7 ± 6.7
II	30.0–40.4	25.8 ± 10.3
III	29.0–36.2	23.5 ± 12.8
IV	29.0–34.1	-
V	29.0–34.5	-

berturut-turut diperoleh rendemen asap cair adalah 38,0%; arang (57,1±3,8) gram atau 32,0% dan komponen yang hilang sebesar 30,0%. Dari penelitian yang sudah pernah dilakukan kisaran rendemen asap cair 30,74–50,09%; arang 33,48–44,1% dan komponen yang hilang 15,52–47,35% (Tranggono *et al.*, 1996; Hadiwiyoto *et al.*, 2000; Kuntjahjawati & Darmadji, 2004), sehingga dapat dikatakan uji coba alat penghasil asap cair skala laboratorium ini sudah berjalan dengan baik.

Selama proses berlangsung, masih banyak asap yang keluar di penampung V, sehingga sampai diakhir proses volume asap cair yang tertampung pada penampung IV dan V tidak dapat terukur. Hal ini diduga karena kondensor lurus berjumlah 4 buah dengan panjang total 120 cm belum mampu mengembunkan asap yang melaluinya secara sempurna sehingga menjadi komponen yang hilang. Selain kondensor, faktor-faktor yang berpengaruh pada besarnya komponen yang hilang ini adalah proses teknis, kondisi konstruksi alat penghasil asap cair dan suhu sumber air awal.

Energi Lepas, Energi Serap dan Bobot Air Kondensor

Energi yang dilepas oleh asap saat masuk dalam kondensor dengan menggunakan perhitungan (5) diperoleh sebesar 636,47 kJ/kg. Energi yang dilepas oleh asap cair setelah keluar dari kondensor dengan menggunakan perhitungan (6) sebesar 160,02 kJ/kg. Kecepatan alir (perhitungan 7) asap dengan luas penampang $8,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ adalah 0,31 m/s. Sedangkan kecepatan alir asap cair dengan luas penampang $6,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ adalah 0,01 m/s. Maka dapat ditentukan besarnya energi yang dilepas dari pembentukan asap menjadi asap cair (Q_a) dengan perhitungan 4 adalah (-) 476,45 kJ/kg asap, tanda negatif berarti melepaskan energi. Energi yang diserap air kondensor (Q_k) dengan menggunakan perhitungan (9) diperoleh 2,1 kJ/kg air. Sehingga jumlah air bersuhu 30,4°C yang dibutuhkan untuk mengembunkan 1 kg asap menjadi asap cair dengan suhu pirolisis 316,7°C (perhitungan 10) adalah 226,88 kg atau sebanyak 226,88 liter.

Kinerja Alat Penghasil Asap Cair

Dengan kondensor sepanjang 1,2 m dan lama waktu pirolisis 8 jam maka diperoleh besarnya kinerja alat dengan menggunakan perhitungan (11) adalah 6,98 g/(jam. m). Dari penelitian sebelumnya diperoleh kisaran dari kinerja alat adalah 2,28–11,51 g/(jam. m) (Hanendyo, 2005). Kinerja alat ini sudah tinggi dengan menghasilkan asap cair sebesar 38,0%.

Komposisi Kimia

Komposisi kimia asap cair yang dianalisis menggunakan GCMS dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 didapatkan komponen yang banyak terkandung dalam asap cair adalah *1,2-benzenedicarboxylic acid, diethyl ester* ($\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_4$) dengan konsentrasi 23,61%. Komponen-komponen yang dihasilkan adalah kelompok asam, ester, keton, turunan *pyran* dan senyawa-senyawa lainnya sedangkan kelompok fenol dan *polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)* tidak ditemukan. Hal ini disebabkan kondensor tidak dapat mengembunkan semua komponen asap yang melaluinya sehingga kelompok fenol dan *PAH* menjadi bagian dari komponen yang tidak terkondensasi.

KESIMPULAN

Suhu pirolisis tercatat adalah 203,3–430,0°C menghasilkan asap cair 38,0%, produksi arang 57,1 g (32,0%) dan komponen yang hilang 30,0%. Energi yang dilepas oleh asap saat masuk dalam kondensor sebesar 636,47 kJ/kg. Energi yang dilepas oleh asap cair setelah keluar dari kondensor 160,02 kJ/kg. Kecepatan alir asap adalah 0,31 m/s dan asap cair 0,01 m/s. Besarnya energi yang dilepas dari pembentukan asap menjadi asap cair (-) 476,45 kJ/kg asap. Energi yang diserap oleh air kondensor sebesar 2,1 kJ/kg air sehingga jumlah air bersuhu 30,4°C yang dibutuhkan untuk mengembunkan 1 kg asap menjadi asap cair dengan suhu pirolisis 316,7°C adalah sebanyak 226,88 liter. Kinerja alat sebesar 6,98 g/(jam. m). Komponen asap cair terbesar adalah *1,2-benzenedicarboxylic acid, diethyl ester* ($\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_4$) dengan konsentrasi 23,61%.

Perlu dilakukan penyaringan dan redistilasi asap cair yang sudah dihasilkan untuk menghilangkan senyawa-senyawa yang tidak diinginkan dan memperbaiki warnanya dari coklat kehitaman menjadi coklat kekuningan. Perlu dilakukan perhitungan detail untuk menentukan dimensi kondensor sesuai dengan kebutuhan dalam memproduksi asap cair.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2005. *Fisika 1B*. Penerbit Erlangga. p. 20–63
- Chamidah, A., Tjahyono A. dan Rosidi, D. 1999. *Pengembangan Produk Tradisional Ikan Bandeng (Chanos-chanos Forsk) Asap dengan Metode Pengasapan Cair*. Pusat Kajian Makanan. Lembaga Penelitian. Universitas Brawijaya. 65 pp.
- Darmadji, P. 1996. Aktivitas antibakteri asap cair yang diproduksi dari bermacam-macam limbah pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. UGM. Yogyakarta. *Agritech*. 16(4): 19–20.

Tabel 2. Komposisi kimia asap cair
 Table 2. Chemical composition of liquid smoke

Nama senyawa/Compound	Indeks kemiripan/ Similarity index	Waktu retensi (menit)/ Retention time (minute)	Konsentrasi/ Concentration (%)	Puncak/ Peak
Acids				
Oleic acid (C ₁₈ H ₃₄ O ₂)	91	31.617	18.93	7
Hexadecanoic acid or Palmitic acid (C ₁₆ H ₃₂ O ₂)	93	29.532	5.05	6
9-Hexadecenoic acid (C ₁₆ H ₃₀ O ₂)	85	33.913	4.27	8
Tetradecanoic acid (C ₁₄ H ₂₈ O ₂)	96	27.012	3.84	5
Esters				
1,2-Benzenedicarboxylic acid, diethyl ester (C ₁₂ H ₁₄ O ₄)	98	23.013	23.61	3
Oleic acid, 3-hydroxypropyl ester (C ₂₁ H ₄₀ O ₃)	86	34.861	6.28	9
Octadecanoic acid, ethyl ester (C ₂₀ H ₄₀ O ₂)	88	42.067	3.17	13
5-chloro-2,4-dimethyl-pentanoic acid methyl ester (C ₈ H ₁₅ ClO ₂)	60	45.8	2.87	15
1,2-Benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester (C ₁₀ H ₁₀ O ₄)	70	21.567	1.43	2
Ethyl ester of docosanoic acid (C ₂₄ H ₄₈ O ₂)	83	50.333	1.12	19
Ketone				
4-Hexen-3-one, 5-methyl- (C ₇ H ₁₂ O)	76	43.8	3.82	14
Pyran derivative				
2H-1-Benzopyran-6-ol, 3, 4-dihydro-2, 7, 8-trimethyl-2-(4, 8, 12-trimethyltridecl)- (C ₂₈ H ₄₈ O ₂)	81	38.145	8.43	11
Others				
Phosphonous dichloride, methyl (1-methylethyl) cyclohexyl- (C ₁₀ H ₁₉ O ₁₂ P)	79	40.564	4.92	12
Propanedinitrile, dicyclohexyl (C ₁₅ H ₂₂ N ₂)	68	36.786	3.73	10
Stigmast-5-en-3-ol, (3.beta., 24S)- (C ₂₉ H ₅₀ O)	94	52.578	2.12	20
Stigmast-5, 22-dien-3-ol, (3.beta., 22E)- (C ₂₉ H ₄₈ O)	91	48.926	1.76	18
Ergost-5-en-3-ol, (3.beta.)- (C ₂₈ H ₄₈ O)	87	47	1.35	16
Cyclopropa 5, 6 stigmast-22-en-3-one, 3', 6'-dihydro-, (5.beta., 6.alpha., 22E)- (C ₁₆ H ₃₁ IO ₂)	50	47.933	1.01	17
1-Dodecanol (C ₁₀ H ₁₀ O ₄)	81	20.2	0.91	1
1-Tetradecanol (C ₁₄ H ₃₀ O)	86	25.933	0.86	4
Ergosta-5, 24(28)-dien-3-ol, (3.beta.)- (C ₂₈ H ₄₆ O)	55	53.4	0.32	21
1H-indene, 5-butyl-6-hexyloctahydro- (C ₁₉ H ₃₆)	58	54.6	0.17	22

- Darmadji, P., Supriyadi dan Hidayat, C. 1999. Produksi asap rempah cair dan limbah padat rempah dengan cara pirolisis. Fakultas Teknologi Pertanian. UGM. Yogyakarta. *Agritech*. 19(1): 12.
- Darmadji, P., Oramahi, H. A., Haryadi dan Armunanto, R. 2000. Optimasi produksi dan sifat fungsional asap cair kayu karet. Fakultas Teknologi Pertanian. UGM. Yogyakarta. *Agritech*. 20(3): 148.
- Darmadji, P. 2002. Optimasi proses pembuatan tepung asap. Fakultas Teknologi Pertanian. UGM. Yogyakarta. *Agritech*. 22(4): 173–175.
- Fatimah, F. 1998. *Analisis Komponen-komponen Penyusun Asap Cair Tempurung Kelapa*. Tesis. Program Pasca Sarjana. UGM. Yogyakarta.
- Firmansyah. 2004. *Penggunaan Kombinasi Serbuk Kayu Jati dan Cangkang Telur Ayam pada Produksi Asap Cair*. Skripsi. Fapet-IPB. Bogor. 43 pp.
- Guillen, M.D. and Ibargoitia, L. 1999. Influence of the moisture content on the composition of the liquid smoke produced in the pyrolysis of *Fagus sylvatica* L. Wood. *J. Agric. Food Chem.* 47: 4126–4136.
- Hadiwiyoto, S., Darmadji, P., dan Purwasari, S. 2000. Perbandingan pengasapan panas dan penggunaan asap cair pada pengolahan ikan; tinjauan kandungan benzopiren, fenol dan sifat organoleptik ikan asap. Fakultas Teknologi Pertanian. UGM. Yogyakarta. *Agritech*. 20(1): 14–19.
- Hanendyo, C. 2005. *Kinerja Alat Ekstraksi Asap Cair dengan Sistem Kondensasi*. Skripsi. Faperikan-IPB. Bogor. 36 pp.
- Hollenbeck, C.M. 1977. Novel Concept in Technology and Design of Machinery for Production and Application of Smoke in the Food Industry. In Rutkowski, A. (ed.). *Advance in Smoking of Foods*. Oxford. Pergamon Press.
- Kuntjahjawati dan Darmadji, P. 2004. Identifikasi komponen volatil asap cair daun tembakau (*Nicotiana Tabacum* L.) rajangan. Fakultas Teknologi Pertanian. UGM. Yogyakarta. *Agritech*. 24(1): 17–22.
- Maga, J.A. 1988. *Smoke in Food Processing*. CRC Press, Boca Raton. Florida.
- Nainggolan, W.S. 1987. *Termodinamika*. CV. Armico. Bandung. p. 117–155.
- Perry, R.H. and Green, D. 1984. *Perry's Chemical Engineers' Handbook Sixth Edition: 3.1*. McGraw-Hill International Editions. 289 pp.
- Pszczola, D.E. 1995. Tour highlights production and uses of smoke base flavors. *Food Tech.* (49): 70–74.
- Shahidi, F. 1998. *Flavor of Meat, Meat Products and Seafoods*. Second Edition. Blackie Academic & Professional. London. p. 343–354.
- Sulaiman, S. 2004. *Penjernihan Asap Cair Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa Menggunakan Kolom Kromatografi dengan Zeolit Alam Teraktivasi sebagai Fasa Diam*. Skripsi. F-MIPA. UGM. Yogyakarta.
- Tranggono, Suhardi, Setiadji, B., Darmadji, P., Supranto dan Sudarmanto. 1996. Identifikasi asap cair dari berbagai jenis kayu dan tempurung kelapa. Yogyakarta. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. 1(2): 15–24.
- Widajanto, D. 2000. *Pembuatan Karbon Aktif dan Isolasi Asap Cair Tempurung Kelapa dengan Proses Distilasi Kering*. Tesis. UGM. Yogyakarta