

PENURUNAN KANDUNGAN BENZO(A)PIRENA ASAP CAIR HASIL PEMBAKARAN

Feti Fatimah¹ dan Sanusi Gugule²

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sam Ratulangi, Manado

²Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Manado, Tondano

Diterima 01-04-2009; Diterima setelah direvisi 07-04-2009; Disetujui 21-04-2009

ABSTRACT

Fatimah, F and S. Gugule, 2009. Benzo(A)pirena reduction of liquid smoke from burning process.

This research was done to study benzo(a)pirene content produced from liquid smoke by direct burning process, also how to reduced the component. The results show that liquid smoke from coconut pericarb that produced by direct burning method has 28% recovery. The smoke was yellow to brown, smelled as smoke with density 0,9965 g/mL. To reduce benzo (a) pirene of liquid smoke was done using redistilled and absorbed with active carbon. Redistilled liquid smoke was done at 98-100 °C. Redistilled Liquid smoke almost colorless and no color compared with initial liquid smoke, less smoke scent. The density was 0,9970 g/mL with 55% recovery from initial smoke. Absorbed liquid smoke using active carbon (1:5) was acquired more clear liquid, no color and no scent, density 0,9975 g/mL with 51,7% recovery. Benzo(a)pirene concentration can be reduced using redistilled and absorbed with active carbon method. Reduce concentration using redistilled technique was 33.1%, whereas using absorbed technique was 54,3%.

Keywords : benzo(a)pirene, liquid smoke, burning, redistilled

PENDAHULUAN

Pengasapan merupakan salah satu metoda pengawetan bahan makanan tertua di Indonesia. Meskipun demikian, di Indonesia dan di negara-negara Asia lainnya produk makanan asap masih kurang populer dan kurang disukai masyarakat pada umumnya. Salah satu alasan adalah bahwa makanan tersebut mengandung senyawa karsinogenik yakni HPA.

Pembentukan berbagai senyawa HPA selama pembuatan asap tergantung dari beberapa hal, seperti temperatur dan waktu pembuatan asap, kelembaban udara pada proses pembuatan asap serta kandungan udara dalam kayu. Menurut Girard (1992), kandungan HPA bertambah secara linear dengan kenaikan suhu pembakaran kayu. Sedangkan menurut Raja *et al.* (dalam Maga, 1987), adanya aliran udara serta penggunaan kayu yang lembab akan menghasilkan asap dengan kadar benzo(a)pirena yang lebih kecil daripada asap yang dibuat tanpa adanya udara dan menggunakan jenis kayu yang kering. Dilaporkan juga bahwa semua proses yang menyebabkan terpisahnya partikel-partikel besar dari asap akan menurunkan kadar benzo(a)pirena. Proses tersebut antara lain yaitu dengan pengendapan dan penyaringan.

Meskipun mekanisme pembentukan senyawa HPA belum diketahui secara pasti, beberapa ahli menyimpulkan bahwa HPA dibentuk melalui reaksi radikal bebas, adisi intramolekuler, atau reaksi polimerisasi molekul-molekul kecil (Chen dan Lin, 1997). Girard (1992), mengemukakan mekanisme pembentukan benzo(a)pirena terjadi dari dekomposisi senyawa-senyawa volatil yang terbentuk selama pirolisis yang menghasilkan radikal metilen dan hidrogen. Dimerisasi metilen menghasilkan etilena dan melalui reaksi polimerisasi terbentuk cincin benzo(a)pirena. Dilaporkan bahwa senyawa HPA yang memiliki jumlah cincin lebih dari 4 adalah lebih beresiko menjadi penyebab tumor dari pada senyawa HPA dengan jumlah cincin 2 atau 3 IARC (dalam Chen dan Lin, 1997).

Rhee dan Bratzler (1968), telah mengidentifikasi 11 macam senyawa hidrokarbon polisiklis yang aromatis (HPA), maupun yang bukan aromatis pada asap kayu Maple, senyawa-senyawa tersebut adalah naptalena, asenaptena, fluorena, penantrena, antrasena, pirena, flurantena, 1,2-benzantrasena, krisena, 3,4 benzo(a)pirena (benzo(a)pirena), dan 1,2-benzo(a)pirena (benzo(e)pirena). Senyawa

hidrokarbon polisiklis aromatis (HPA) dapat terbentuk pada proses pembakaran tidak sempurna kayu.

Salah satu upaya menurunkan kandungan HPA adalah penggunaan asap cair. Pengasapan menggunakan asap cair telah lama diperkenalkan (Rutkowski, 1976; Dep.Perin, 1982; Maga, 1986; Girard, 1992; Tahir, 1992; Tranggono *et al.*, 1997 serta Fatimah, 1998), tetapi pada kenyataannya, masyarakat pada umumnya kesulitan dalam memproduksi asap cair. Hal ini disebabkan karena sulitnya membuat peralatan pirolisis serta terbatasnya bahan baku yaitu kayu. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian tentang produksi asap cair dengan cara yang mudah yakni teknik pembakaran langsung serta dari bahan dasar yang belum banyak dimanfaatkan yaitu sabut kelapa.

Penggunaan asap cair dilaporkan juga dapat menghindari terdepositnya tar dan senyawa karsinogenik pada makanan yang diasap, tetapi hasil penelitian Maga (1986), O'hara (1974) serta Fatimah (1998), menunjukkan bahwa asap cair yang dibuat dengan proses pirolisis masih mengandung komponen karsinogenik yakni benzo(a)pirena dengan kadar yang bervariasi tergantung pada suhu pirolisis. Berdasarkan hal tersebut, maka dalam penelitian ini dilakukan upaya penghilangan tar dan komponen karsinogenik yakni dengan cara serta redistilasi dibandingkan penjerapan menggunakan arang aktif. Selanjutnya, dilakukan penentuan kandungan komponen karsinogenik (khususnya benzo(a)pirena) pada fraksi asap cair hasil redistilasi, penentuan komponen-komponen penyusun asap cair serta uji sifat antibakteri asap cair.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Penelitian ini diawali dengan pembuatan alat produksi asap cair, alat terdiri dari tungku pembakaran yang akan dibuat dari tanah lempung atau drum bekas, penampung asap serta pendingin. Foto rangkaian alat disajikan pada lampiran 1. Selanjutnya asap cair sabut kelapa yang dihasilkan diredistilasi dan penjerapan dengan arang aktif. Pada masing-masing fraksi asap cair yang dihasilkan, dilakukan analisis komponen penyusun asap cair, analisis kandungan benzo(a)pirena dan uji antibakteri. Langkah kerja pada tahapan ini dirangkum pada Lampiran 1.

Pembuatan Asap Cair dengan Teknik Pembakaran Langsung

Pembuatan asap cair sabut kelapa dengan teknik pembakaran langsung belum pernah dilakukan, guna mendapatkan alat produksi asap cair yang mudah dan murah, dirancang suatu rangkaian alat yang terdiri dari komponen tungku pembakaran yang terbuat dari tanah atau drum bekas, dilengkapi dengan cerobong asap terbuat dari alumunium serta komponen pendingin gelas. Skema rangkaian alat disajikan pada Lampiran 2. Sebanyak 5 kg sabut kelapa yang telah dibersihkan dibakar secara langsung. Asap hasil pembakaran dikondensasikan pada kondensor kemudian ditampung pada penampung asap. Asap cair yang dihasilkan selanjutnya disaring dengan kertas saring 400 mesh. Satu bagian asap cair disaring menggunakan zeolit, sedangkan pada bagian lain dilakukan redistilasi pada 3 variasi suhu yaitu dibawah suhu 150, 200, 250 serta 300 °C. Dihitung rendemen asap yang dihasilkan dan selanjutnya masing-masing fraksi asap cair dilakukan analisis GC-MS guna menentukan komponen-komponen penyusun asap cair, kandungan benzo(a)pirenaa dalam fraksi asap cair serta aktivitas antibakteri. Dengan demikian akan diketahui fraksi asap cair mana yang mempunyai kualitas terbaik berdasarkan parameter-parameter tersebut.

Analisis Kadar Benzo(a)pirena pada Asap Cair (Togonai *et al.*, 1982)

- Sebanyak 50 mL asap cair diekstraksi dengan 50 mL larutan *n*-heksana-eter (4:10) dalam corong pisah selama 5 menit.
- Lapisan bagian atas ditampung dalam Erlenmeyer 250 mL dan lapisan bagian bawah diekstrak sekali lagi dengan 25 mL larutan heksan-eter dan bagian atas ditampung dalam Erlenmeyer yang sama.
- Campuran hasil ekstraksi selanjutnya dipekatkan dengan memanaskannya dalam waterbath yang bersuhu 50°C yang dilanjutkan dengan meniupkan gas nitrogen sampai volumenya mencapai 10 mL.
- Larutan pekat tersebut diambil 1 mL untuk dilewatkan kedalam kaca yang berisi 15 g alumina pada bagian bawah dan 10g Na₂SO₄ anhidrous pada bagian atas.

Elusi pertama dilakukan dengan 15 mL campuran heksana-eter (4:1) dan eluennya dibuang. Elusi ke dua dilakukan dengan 10 mL eter dan eluennya ditampung dalam labu takar 10 mL untuk selanjutnya diperiksa dalam spektrofotometer pada panjang gelombang eksitasi 295 dan emisi 403 nm. Kadar benzo(a)pirenaa ditentukan berdasarkan kurva standar benzo(a)pirenaa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Asap Cair

Produksi asap cair yang dilakukan dalam penelitian ini adalah berdasarkan pada metode pembakaran langsung. Metode pembuatan asap cair berdasarkan pembakaran langsung sejauh ini belum pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Pada umumnya metode pembuatan asap cair dilakukan berdasarkan teknik distilasi kering atau pirolisis. Perbedaan utama dari pembakaran langsung dan pirolisis adalah: pada pirolisis, sistem pembakaran bersifat tertutup sehingga tidak ada udara yang masuk dan pembakaran bersifat tidak sempurna, sedangkan pada pembakaran langsung proses pembakaran bersifat terbuka sehingga memungkinkan adanya aliran udara luar dan proses pembakaran bersifat sempurna.

Keunggulan teknik pembakaran langsung dibandingkan pirolisis adalah bahwa peralatan yang digunakan lebih sederhana dan mudah dibuat karena memperbolehkan adanya udara masuk, sedangkan pada teknik pirolisis harus menggunakan peralatan khusus biasanya berupa reaktor yang terbuat dari baja atau stainless steel. Meskipun demikian, teknik pembakaran langsung juga mempunyai kekurangan yakni adanya udara menyebabkan asap yang dihasilkan banyak yang terbuang sehingga rendemen asap menjadi lebih kecil.

Dalam penelitian ini, peralatan yang digunakan dalam memproduksi asap cair terbuat dari dandang yang dirangkai dengan kondensor gelas. Beberapa modifikasi telah dilakukan guna mendapatkan rendemen asap yang lebih besar. Pada produksi asap cair dengan teknik pembakaran langsung, dari 200 g sabut kelapa diperoleh distilat rata-rata sebanyak 56 mL. Karena berat jenis asap adalah 0,9965 g/mL (Tabel 2), dengan demikian rendemen asap rata-rata adalah $0,9965 \text{ g/mL} \times 0,28 \text{ mL} = 0,27902 \text{ g} = 27,9\%$. Sedangkan arang yang diperoleh adalah 20 g atau 10%, data tersebut disajikan pada Tabel

1. Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa rendemen asap cair yang diperoleh cukup rendah.

Tabel 1. Rendemen asap cair sabut kelapa

Bahan	Asap cair (%)	Arang (%)
Sabut kelapa	28	10

Tabel 2. Data sifat fisik asap cair sabut kelapa

Parameter	Data
Warna	Kuning kecoklatan
Bau	Asap menyengat
Berat jenis	0,9965g/mL

Bila dibandingkan dengan rendemen asap cair yang diperoleh dengan teknik pirolisis, maka rendemen asap cair yang diperoleh dengan pembakaran langsung adalah lebih rendah. Menurut Tranggono *et al.* (1997), rendemen asap yang diperoleh dengan teknik pirolisis untuk berbagai jenis kayu adalah jati (51,35%), Lamtoro gung (52,85%), Tempurung (52,55%), Mahoni (55,85%), Kamper (43,11%), Bangkirai (43,15%), Kruing (59,49%), Glugu (43,05%). Sedangkan menurut Fatimah (1998), rendemen asap cair tempurung kelapa yang dibuat dengan teknik pirolisis adalah berbeda-beda tergantung pada suhu pirolisis, rendemen akan naik sampai pada suhu tertentu dan kemudian turun kembali. Rendemen yang diperoleh yaitu 56,70% (390 °C), 59,30% (520 °C), 61,00% (640 °C) dan 58,20% (770 °C).

Rendahnya rendemen asap cair yang diperoleh telah diduga sebelumnya yakni dikarenakan banyaknya asap yang tidak tertampung dan terbuang ke udara, disamping itu, juga dapat disebabkan oleh perbedaan jenis kayu atau struktur lignin dan selulosanya. Menurut Tranggono *et al.* (1997), perbedaan rendemen asap lebih disebabkan oleh jenis kayu dibandingkan dengan bentuk bahan. Perbedaan jenis bahan terutama disebabkan oleh bentuk kadar lignin dan selulosanya, yang bervariasi antara 38,98-63,09% selulosa dan 19,35-50,44% lignin.

Bila dihitung secara keseluruhan, maka total produk yang bisa direcovery adalah 28% asap dan 10% arang atau 38%. Dengan demikian massa yang hilang dari konversi sabut kelapa adalah 62%. Menurut Tranggono *et al.* (1997),

komponen tersebut juga terdiri dari senyawa yang mudah menguap dan tak dapat dikondensasikan dengan air sebagai medium pendingin. Gas-gas tersebut terdiri dari gas CO₂, CO, H₂, CH₄ dan beberapa hidrokarbon.

Redistilasi Asap Cair

Redistilasi asap cair dimaksudkan guna menurunkan kadar tar dan benzopirin yang terkandung dalam asap cair. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada asap cair tidak dapat dilakukan distilasi fraksinasi pada beberapa tingkat suhu. Asap cair merupakan cairan yang sebagian besar terdiri atas air, sehingga terdapatnya senyawa-senyawa organik semi polar seperti fenol akan membentuk azeotrop dalam air yang berakibat pada ketidakmampuannya untuk dilakukan distilasi fraksinasi pada beberapa fraksi suhu.

Hasil redistilasi fraksinasi asap cair hanya diperoleh pada satu kisaran suhu yaitu suhu titik didih air yakni 98-100 °C. Hasil distilasi fraksinasi asap cair adalah cairan yang masih berbau asap tetapi tidak menyengat, lebih jernih dibandingkan asap asli dan hampir tidak berwarna.

Pada redistilasi asap cair, distilat yang diperoleh rata-rata adalah 55 mL dari 100 mL asap semula atau 55% (Tabel 4). Bagian yang hilang pada proses ini sebagian besar berupa cairan kental semi padat yang tertinggal pada labu distilasi yang diduga adalah merupakan tar dan benzopirina.

Tabel 4. Sifat fisik asap cair hasil redistilasi

Parameter	Data
Suhu distilasi	98-100°C
Warna	Bening, hampir tidak berwarna
Bau	Tidak berbau menyengat
Berat jenis	0,9970 g/mL
Recovery asap	55%

Dugaan bahwa senyawa yang tertinggal merupakan benzo(a)pirenaa adalah dikarenakan benzo(a)pirenaa merupakan senyawa yang non polar dan memiliki kelarutan yang lebih kecil dibandingkan senyawa fenolik lainnya serta memiliki titik didih yang lebih tinggi dibandingkan golongan senyawa fenolik. Diduga senyawa tersebut mempunyai titik didih di atas 300 °C.

Penjerapan Asap Cair Menggunakan Adsorben Arang Aktif

Upaya lain yang ditempuh guna menurunkan kadar benzopirin adalah penggunaan adsorben arang aktif. Arang aktif merupakan salah satu jenis adsorben yang banyak digunakan dalam bidang pangan. Hal ini disebabkan arang aktif berisi karbon yang bersifat inert sehingga aman digunakan, bahkan arang aktif telah lama digunakan sebagai obat sakit perut karena dapat mengadsorbsi racun yang masuk dalam lambung.

Dalam penelitian ini, arang aktif yang digunakan mempunyai rasio 1:5 dengan asap cair, artinya untuk menyerap 100g asap cair, digunakan arang aktif sebanyak 20 gram. Penggunaan rasio tersebut didasarkan alasan bahwa pada rasio tersebut, asap yang dihasilkan tidak berwarna dan sangat jernih. Hal tersebut mengindikasikan bahwa tidak ada lagi tar yang tersisa pada asap, dan diharapkan benzopirin juga tidak terkandung lagi.

Hasil penjerapan menggunakan arang aktif menghasilkan asap cair yang hampir tidak berbau asap. Asap yang diperoleh dari proses ini adalah 48,3% dari jumlah semula. Dengan demikian terdapat 51,7% asap yang terjerap dalam asap cair (Tabel 5). Diduga selain tar dan benzopirin, komponen-komponen fenolik juga terjerap dalam sisi-sisi aktif arang aktif. Bila dugaan ini benar, maka aktivitas antibakteri dari asap cair hasil penjerapan akan berkurang dibandingkan asap cair yang asli.

Tabel 5. Sifat fisik asap cair hasil penjerapan dengan arang aktif (5:1)

Parameter	Data
Warna	Bening, tidak berwarna
Bau	Tidak berbau
Berat jenis	0,9975 g/mL
Recovery asap	51,7%

Kandungan Benzo(A)pirena Asap Cair

Kandungan benzo(a)pirena asap cair dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan metoda spektrofotometri. Larutan standar benzo(a)pirenaa dibuat terlebih dahulu dan dianalisis dengan spektrofotometer. Hasil pembacaan absorbansi larutan standar disajikan pada Tabel 7, sedangkan hasil pembacaan

absorbansi sampel asap cair disajikan pada Tabel 8.

Tabel 7. Hasil pembacaan absorbansi larutan standar

Konsentrasi (ng/mL)	Absorbansi
0,000	0,000
3,420	0,250
4,572	0,334
6,884	0,503
9,140	0,668
11,421	0,834

Tabel 8. Hasil pembacaan absorbansi sampel asap cair

Sampel	Absorbansi		
	λ_1 (403)	λ_2 (295)	$\lambda(\lambda_2-\lambda_1)$
Asap asli	0,136	0,706	0,570
Asap hasil redistilasi	0,031	0,437	0,406
Asap hasil penjerapan	0,013	0,313	0,300

Dari Tabel 7, dapat dibuat kurva standar dengan persamaan $y = 1,209 \times 10^{-4}x + 0,073$. Dengan harga $r = 0,999$. Bila absorbansi yang dihasilkan dari pembacaan sampel dimasukkan pada persamaan tersebut, maka konsentrasi benzo(a)pirena yang terkandung pada sampel disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Konsentrasi benzo(a)pirena sampel

Sampel	Konsentrasi (ng/mL)
Asap asli	$4,111 \times 10^3$
Asap hasil redistilasi	$2,750 \times 10^3$
Asap hasil penjerapan	$1,877 \times 10^3$

Berdasarkan Tabel 6 diketahui bahwa konsentrasi benzo(a)pirena dapat diturunkan dengan cara redistilasi dan penjerapan menggunakan arang aktif. Berdasarkan pada Tabel 6, maka diketahui bahwa terdapat penurunan konsentrasi benzo(a)pirena yang berbeda. Besarnya penurunan konsentrasi benzo(a)pirena dibandingkan asap cair semula disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Penurunan konsentrasi benzo(a)pirena asap cair

Sampel	Besarnya penurunan konsentrasi benzo(a)pirena (%)
Asap cair hasil redistilasi	33,1
Asap cair hasil penjerapan	54,3

Menurut Tranggono *et al.* (1997), penurunan kadar benzo(a)pirena asap cair yang diadsorpsi dengan zeolit adalah berbeda-beda tergantung pada aktivasinya, pada zeolit alam penurunan yang terjadi adalah 26,41%, zeolit aktif 79,09%, zeolit klorida 49,06%, zeolit ammonium 39,26% dan zeolit florida 44,28%. Berdasarkan hal tersebut, maka penurunan benzo(a)pirena dengan cara penjerapan dengan arang aktif sangat baik dibandingkan dengan redistilasi, tetapi dilihat dari aktivitas antibakterinya, maka asap cair yang memberikan aktivitas lebih baik adalah asap cair redistilasi.

KESIMPULAN

Konsentrasi benzo(a)pirena pada asap cair sabut kelapa hasil pembakaran langsung adalah $4,111 \times 10^3$ ng/mL, asap cair hasil redistilasi adalah $2,750 \times 10^3$ ng/mL dan asap cair hasil penjerapan dengan arang aktif adalah $1,877 \times 10^3$ ng/mL.

Konsentrasi benzo(a)pirena dapat diturunkan dengan cara redistilasi dan penjerapan menggunakan arang aktif. Penurunan konsentrasi dengan teknik redistilasi adalah 33,1% sedangkan dengan teknik penjerapan menggunakan arang aktif adalah sebesar 54,3%.

UCAPAN TERIMA KASIH

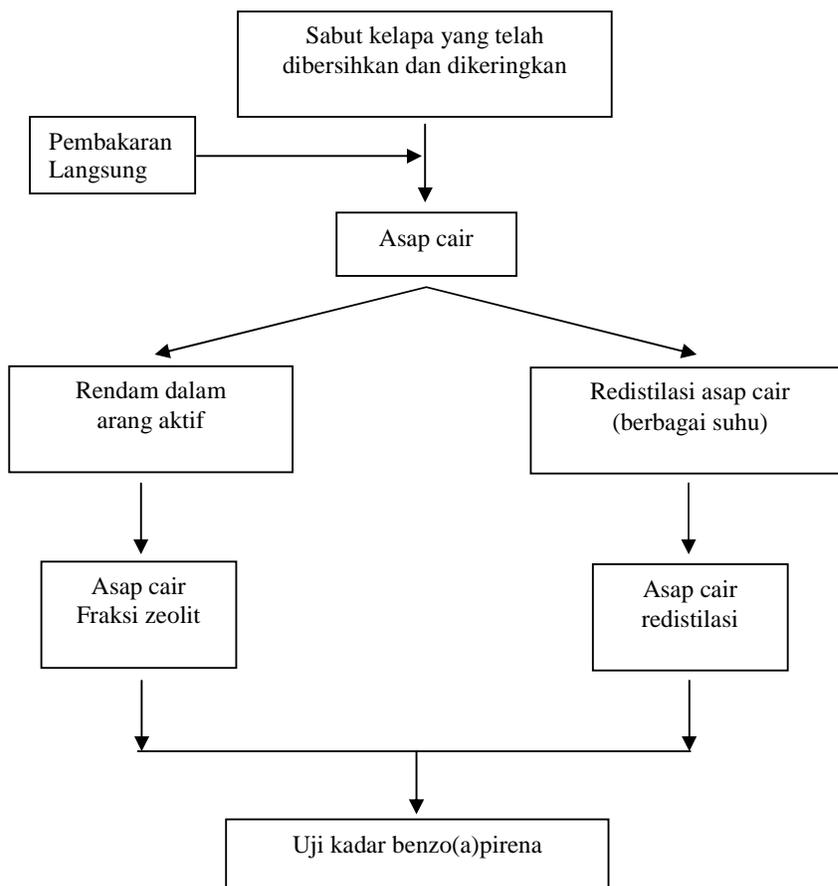
Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Hibah Bersaing Tahun 2007 Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, yang telah membiayai penelitian ini sesuai dengan surat perjanjian pelaksana penelitian hibah bersaing Nomor: 049/SP2H/PP/DP2M/111/2007.

DAFTAR PUSTAKA

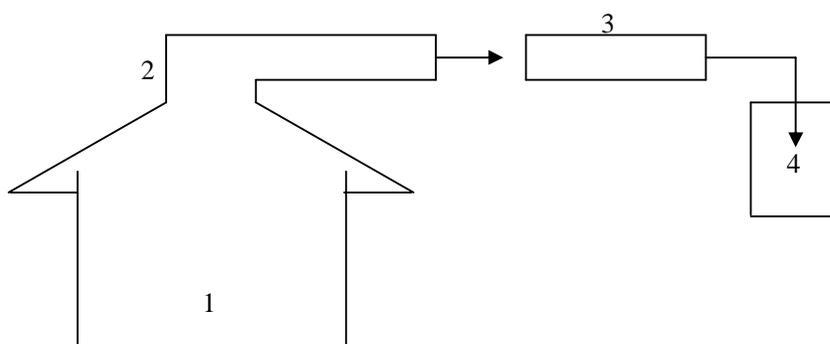
Chen, B.H. dan YS.Lin, 1997, Formation of Polycyclic of Duck Meat, *J.Agric.Food Chem.* Vol.45, 1394-5

- Departemen Perindustrian, 1982, *Prototype Alat pembuatan Arang Aktif dan Asap Cair*, Jakarta
- Daun, H., 1979, Interaction of Wood Smoke Components and Foods, *J.Food Technology*, 67-71
- Fatimah, F., 1998, *Analisis Komponen-Komponen Penyusun Asap cair Tempurung Kelapa*, Thesis S-2, PPS UGM Yogyakarta
- Fatimah, F., M.Muchallal, 1998, *Isolasi Asap Cair Untuk Pengawetan Ikan*, Makalah Disampaikan pada Seminar di fakultas pertanian UNCEN, Manokwari.
- Fretheim, K., P.G.Granum and E.Vold, 1980, Influence of Generation Temperature of Chemical Composition, Antioxidative, and Antimicrobial Effect of Wood Smoke, *J.Food Science*, (45), 999-1002.
- Girard, J.P., 1992, *Smoking in Technology of Meat and Meat Product*, J.P.Girard, New York, Ellis Horwood
- Maga, J.A., 1986, Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Composition of Mesquite Smoke and Grilled Beef, *J.Agric.Food Chem.* (34), 249.
- Maja, J.A., 1986, *Smoke in Food Processing*, CRC Press Inc.. Boca raton, Florida
- Manahan, S.E., 2003, *Toxicological Chemistry and Biochemistry*, 3rd Edition, Lewis Publisher, Washington.
- Mountney, G.J., and W.A.Gould, 1998, *Practical Food Microbiology and Technology*, 3rdEd., New York, Van Nostrand Reinhold Company.
- O'hara, J.R., MS.Chin, B.Danius., 1974, Determination Benzo(a)pirenaa in Smoke Condensates by High Pressure Rapid Liquid Chromatography, *J.Food Science* (39):38-41
- Peszczola, D.E., 1995, Tour Highlights Production and Uses of Somke Based Flavour, *J.Food Techn.* 49 (1):70-74
- Rutkowski, A., 1976, *Advances in Smoking of Foods*, Pergamon Pres, Oxford
- Tahir, I., 1992, *Pengambilan Asap Cair Secara Destilasi Kering pada Proses Pembuatan Arang aktif dari Tempurung Kelapa*, Skripsi, Fakultas MIPA UGM Yogyakarta
- Tranggono, Suhardi dan A.H.Setiadji, 1997, *Produksi Asap Cair Beberapa Jenis Kayu dan Penggunaannya pada Pengolahan Beberapa Bahan Makanan Indonesia*, Laporan Akhir Riset Unggulan Terpadu, kantor Menteri Riset dan Teknologi Jakarta
- Tonogai, Y., S.Ogawa., Y.Ito., and M.Iwaida, 1982, Rapid Fluorometric Determination of Benzopyrena in Food, *J.Food Protection*, Vol. 45 (2): 139-142.
- Wibowo, S., 1996, *Industri Pengasapan Ikan*, Penebar Swadaya, Jakarta, 1-3.

Lampiran 1. Skema penelitian



Lampiran 2. Skema rangkaian alat produksi asap cair dengan teknik pembakaran langsung



Keterangan gambar:

1. Tungku pembakaran
2. Cerobong asap
3. pendingin
4. penampung distilat/asap cair