

STUDI PENDAHULUAN IDENTIFIKASI SENYAWA POLISIKLIK AROMATIK HIDROKARBON (PAH) DARI EMISI PEMBAKARAN BRIKET BATUBARA

NIA ROSNIA H., RETNO DAMAYANTI

Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373
e-mail : gandhi@tekmira.esdm.go.id;

SARI

Polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) merupakan bahan pencemar yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan organik seperti briket batubara. Untuk mengetahui jenis PAH yang dihasilkan dari pembakaran briket batubara dilakukan analisis terhadap emisinya. Pada percobaan ini digunakan 3 jenis contoh briket batubara yakni briket sarang tawon, briket telur dan briket Palimanan.

Percobaan pembakaran briket batubara dilakukan di laboratorium dengan menggunakan sistem pembakaran tertutup. Setiap ± 10 gram briket batubara yang telah dipreparasi berukuran 0,5 cm ditimbang dalam cawan porselin. Suhu ruang pembakaran diatur pada set point ($\pm 20^\circ\text{C}$) dengan pemanas listrik kemudian suhu dinaikkan dengan variasi suhu 400, 500, dan 600 $^\circ\text{C}$, masing-masing selama 2 jam. Udara tekan ditambahkan dengan laju alir 0,503 L/menit. Gas yang dihasilkan dari proses pembakaran diserap dengan adsorben XAD-2 yang dirangkaikan dengan tiga *impinger* yakni; *impinger* 1 berisi metilen klorida, *impinger* 2 kosong (sebagai pengaman), dan *impinger* 3 berisi silika gel. Setelah proses pembakaran selesai XAD-2 dibungkus dengan aluminium foil dan disimpan pada suhu 15 $^\circ\text{C}$ sebelum dilakukan ekstraksi. Hasil ekstraksi dianalisis dengan GC-MS.

Dari hasil analisis GC-MS ditemukan 5 jenis senyawa PAH dengan 2 sampai 4 cincin, yaitu *naphthalene*, *anthracene*, *fluorene*, *benzanthracene* dan *chrysene*. Konsentrasi total PAH yang diemisikan masih berada di bawah nilai ambang batas yang disyaratkan oleh OSHA (the Occupational Safety and Health Administration's).

Kata Kunci : polisiklik aromatik hidrokarbon, PAH, briket batubara, emisi pembakaran.

ABSTRACT

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are pollutant and emitted during combustion of organic materials such as coal briquettes. In this experiments, 3 types of coal briquette samples i.e. wasp nests, eggs and Palimanan briquettes were used to identify the type of PAHs emission from briquette combustion. The experimental combustion were conducted in laboratory using a closed combustion system. About 10 grams of each type prepared coal briquette of 0.5 cm size was weighed in a porcelain crucible, while combustion chamber temperature was set at $\pm 20^\circ\text{C}$ deviation. The electric heater was set at variable temperature of 400, 500, and 600 $^\circ\text{C}$ for 2 hours. The compressed air was flowed with a flow rate of 0.503 L/min. The PAH gas generated was absorbed by the adsorbent containing XAD-2 which was equipped with three impinger i.e: impinger 1 contained methylene chloride, impinger 2 was empty (for safety) and impinger 3 contained silica gel. After the combustion process complete, the XAD-2 was rapped in aluminum foil and stored at 15 $^\circ\text{C}$ prior to extraction. The extracted gas was analyzed by GC-MS. The GC-MS analysis indicated 5 types of PAH compounds with 2 to 4 rings, i.e : naphthalene, anthracene, fluorene, benzanthrecene and chrysene. Concentrations of total PAHs emitted are found under the threshold values required by OSHA (the Occupational Safety and Health Administration's).

Key words: polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs, coal briquette, combustion emission

PENDAHULUAN

Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) merupakan bahan pencemar yang dihasilkan dari proses pembakaran senyawa organik, bersifat racun yang berpotensi menyebabkan kanker (*carcinogenic*) dan mutasi (*mutagenic*) sehingga perlu diperhatikan meskipun jumlah yang diemisikan ke lingkungan ke udara relatif sedikit dibandingkan dengan polutan lainnya seperti SO₂, NO₂, CO₂ dan CO. (Yan *et al*, 2004).

PAH merupakan kelompok senyawa yang memiliki berat molekul besar, berbentuk datar dan memiliki struktur dengan banyak cincin aromatik. Hingga saat ini terdapat lebih dari 100 jenis PAH yang telah diidentifikasi. Environment Protection and Heritage Council (2003) telah mengidentifikasi dan memrioritaskan 16 jenis senyawa PAH karena banyak ditemukan di lingkungan, lima senyawa di antaranya dikategorikan sebagai senyawa yang dapat menyebabkan kanker terhadap hewan dan manusia (Yan *dkk.*, 2004; Liu *dkk.*, 2008; Sloss, 2001). Klasifikasi sifat karsinogenik dan faktor potensi relatif untuk senyawa - senyawa PAH terhadap indikator karsinogenitas yaitu senyawa *benzo(a)pyrene* (BaP), dapat dilihat pada Tabel 1.

PAH dapat terbentuk selama proses pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar fosil seperti briket

batubara (Sai, 1995). Pembentukan PAH selama pembakaran briket batubara dapat terjadi melalui reaksi pembentukan senyawa siklik pada saat batubara dipanaskan (Liu *dkk.*, 2008). Jumlah dan jenis PAH yang dihasilkan bergantung pada komposisi prekursor organik, kondisi pembakaran dan suhu reaksi.

Untuk tahap awal identifikasi jenis PAH yang dihasilkan dari pembakaran briket batubara dilakukan terhadap emisi pembakaran briket batubara yang telah digerus dan dibakar dengan sistem tertutup di laboratorium. Emisi diadsorpsi dengan menggunakan polimer XAD-2, kemudian dilakukan ekstraksi dengan Metode 3542, USEPA selanjutnya dianalisis dengan GC-MS. Briket batubara yang digunakan merupakan briket yang ada di pasar.

METODOLOGI

Pemercontohan PAH dari Pembakaran Briket Batubara

Percobaan pembakaran briket batubara dilakukan di laboratorium dengan menggunakan rangkaian alat pada Gambar 1. Setiap ± 10 gram briket batubara yang telah dipreparasi (digerus) ukuran ± 0,5 cm ditimbang dalam cawan porselin (7) dimasukkan ke dalam *combustion tube* yang dipanaskan dengan tungku listrik (*furnace*). (6). Suhu ruang pembakaran

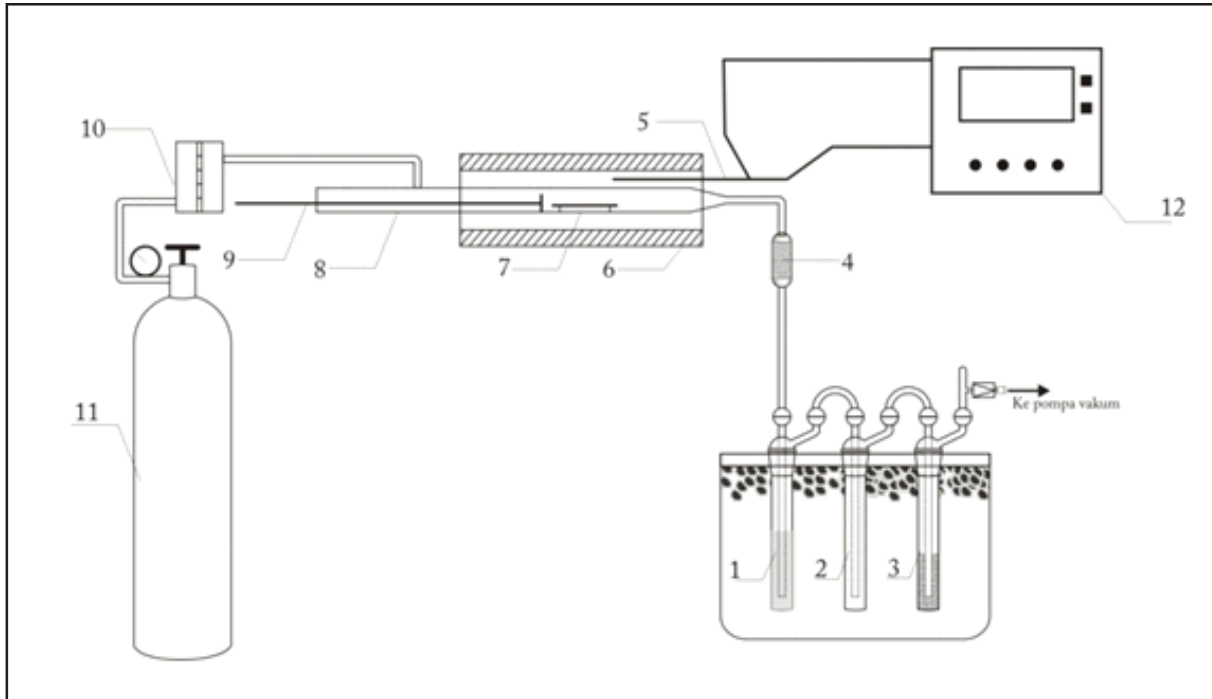
Tabel 1. Senyawa PAH yang bersifat karsinogenik dan faktor potensi relatif karsinogenitasnya

Senyawa PAH	Klasifikasi sifat karsinogenitas	Faktor Potensi Relatif
<i>Acenaphthene</i>	-	-
<i>Acenaphthylene</i>	D	-
<i>Anthracene</i>	D	0,01
<i>1,2-Benzanthracene</i>	-	-
<i>Benzo(a)pyrene</i>	B2	1
<i>Benzo(b)fluoranthene</i>	B2	0,1
<i>Benzo(g,h,i)perylene</i>	D	0,01
<i>Benzo(k)fluoranthene</i>	B2	0,1
<i>Chrysene</i>	B2	0,01
<i>Dibenze(a,h)anthracene</i>	B2	5
<i>Fluoranthene</i>		0,001
<i>Fluorene</i>	D	0,001
<i>Indeno(1,2,3-cd)pyrene</i>	B2	0,1
<i>Naphthalene</i>	D	-
<i>Phenanthrene</i>	D	-
<i>Pyrene</i>	D	-

Keterangan :

D : Belum diklasifikasikan

B2 : Karsinogenik bagi manusia (terbukti secara *in vivo*)



Gambar 1. Skema rangkaian alat pemercontohan PAH

diatur pada *set point* ($\pm 20^{\circ}\text{C}$) dengan pemanas listrik, kemudian temperatur pemanas dinaikkan dengan variasi suhu 400, 500, dan 600°C , selama 2 jam (6). Pada ruang pemanas, udara tekan ditambahkan dengan laju alir maksimum sesuai kemampuan alat yakni 0,503 L/menit. Gas yang dihasilkan dari proses pembakaran diserap dengan adsorben XAD-2 (4), yang dirangkaikan dengan 3 *impinger*; *impinger* 1 berisi metilen klorida, *impinger* 2 kosong (sebagai pengaman), dan *impinger* 3 berisi silika gel. Setelah proses pembakaran selesai XAD-2 dibungkus dengan aluminium foil dan disimpan pada suhu 15°C sebelum dilakukan ekstraksi.

Ekstraksi PAH

Ekstraksi PAH mengacu pada Metode 3542 (USEPA, 2009). Sepuluh batu didih dimasukkan ke dalam labu bundar (RBF, *round bottom flask*), lalu dihubungkan dengan sokhlet ekstraktor. Sumbat *glass wool* dilepas dari wadah XAD-2. XAD-2 dipindahkan dari wadahnya ke dalam timbel ekstraktor. Setelah itu wadah XAD-2 dibilas dengan metilen klorida dan bilasannya dimasukkan ke timbel ekstraktor. *Glass wool* ditambahkan pada bagian atas sebagai sumbat pada timbel ekstraktor.

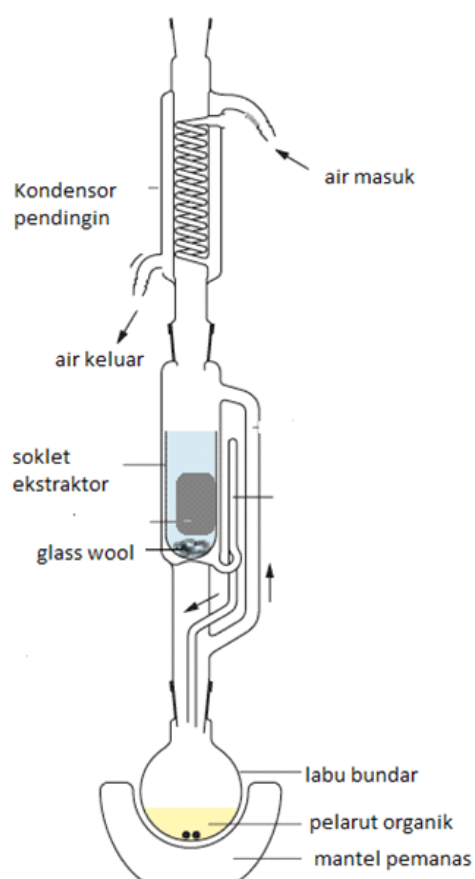
Sebanyak 1 mL larutan *aliquot surrogate* ditambahkan ke XAD-2 dengan menggunakan *syringe*/pipet vol-

ume (*syringe*/pipet terpenetrasi ke dalam XAD-2 ketika larutan *aliquot surrogate* ditambahkan). Metilen klorida ditambahkan ke dalam sokhlet ekstraktor sampai labu bundar terisi setengah penuh. Ekstraksi dilakukan selama minimal 18 jam tapi tidak lebih dari 24 jam, siklus ekstraksi berlangsung setiap 25-30 menit. Untuk proses PAH dengan alat sokhlet dapat dilihat pada Gambar 2.

Prosedur kromatografi kolom

Kromatografi kolom yang digunakan adalah silika gel (Gambar 3). Kolom dielusi dengan 40 mL heksan, dengan laju alir semua elusi sekitar 2 mL per detik. Sebanyak 1 mL larutan ekstrak dimasukkan ke dalam kolom, lalu tempat ekstrak dibilas dengan heksan. Elusi dimulai dengan 25 mL heksan dilanjutkan dengan 25 mL metilen klorida-heksan (2:3)(v/v). Seluruh eluat dikumpulkan, kemudian dipekatkan menjadi 5 mL dengan pemekat (*Kuderna Danish concentrators*). Ekstrak (larutan pekat) tidak boleh dibiarkan kering.

Ekstrak dipindahkan dengan bilasan heksan dan dipekatkan secara vakum hingga 450 μL . Ekstrak disimpan dalam lemari pendingin kurang dari 4°C , dan dijauhkan dari cahaya sampai dianalisis dengan GC-MS.



Gambar 2. Proses ekstraksi PAH dengan alat sokhlet

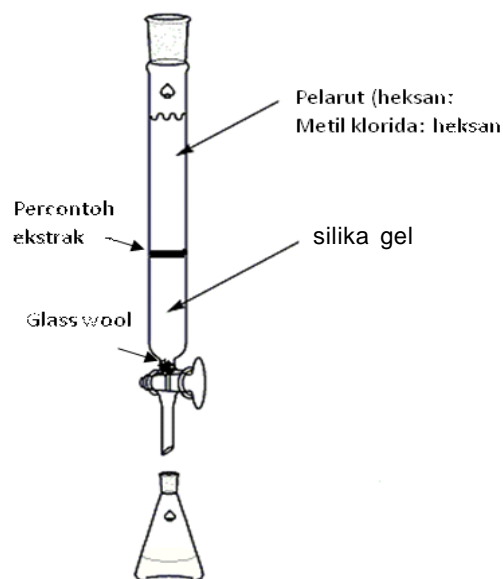
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Briket Batubara

Karakteristik briket batubara yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

a. Air Lembab

Contoh briket mempunyai kadar air lembab berkisar antara 12,33 – 18,71 %. Dibandingkan dengan spesifikasi briket batubara yang tertuang di dalam Permen No. 47 tahun 2006, maka nilai tersebut berada di atas standar yang dipersyaratkan, yakni maksimum 12 %. Tingginya kandungan air jenis briket batubara dengan pengikat kanji disebabkan kanji mudah untuk menyerap air. Kadar air yang tinggi pada briket batubara akan berpengaruh terhadap kecepatan awal pembakaran, serta efisiensi pembakaran, sehingga membutuhkan waktu yang relatif lebih lama untuk membentuk PAH



Gambar 3. Kromatografi kolom

dan akan menghasilkan kadar PAH yang lebih besar (Chomanee dkk., 2009).

b. Kandungan Zat Terbang

Kadar zat terbang (*volatile matter*) dalam semua percontoh briket cukup tinggi, yaitu berkisar antara 34,46 – 35,53 % (adb). Kandungan zat terbang briket non karbonasi yang dipersyaratkan di dalam Permen ESDM No. 47 tahun 2006 disesuaikan dengan kadar zat terbang asal batubaranya. Pada jenis briket non karbonisasi tidak dilakukan karbonisasi atau pengurangan zat-zat terbang sehingga briket masih mengandung zat terbang asal batubaranya (Sebayang dkk., 2008). Batubara yang digunakan umumnya adalah batubara peringkat rendah dengan kadar zat terbang rata-rata di atas 35%. Kadar zat terbang merupakan sumber penting dalam pembentukan PAH (Yan dkk., 2004). Pada penelitian ini kadar zat terbang dari ketiga briket berkisar antara 34,46 – 35,53 % sehingga tidak memperlihatkan perbedaan nyata terhadap kadar PAH yang dihasilkan.

c. Nilai Kalor

Nilai kalor briket batubara non karbonisasi yang dipersyaratkan di dalam Permen ESDM No. 47 tahun 2006 adalah 4400 kkal/kg, sedangkan nilai kalor percontoh briket batubara berada pada kisaran 4390 – 4669 kkal/kg. Untuk briket batubara produk industri kecil yang ada di

Tabel 2. Karakteristik Briket Batubara

PARAMETER ANALISIS (adb)	Satuan	Kode percontoh		
		Briket Sarang Tawon (BKG)	Briket Telur (BPG)	Briket Palimanan (Titan)
PROKSIMAT:				
Air lembab,	%	16,95	18,71	12,33
Abu	%	14,25	14,79	20,19
Zat terbang	%	35,13	34,46	35,53
Karbon padat	%	33,67	32,04	31,95
Nilai kalor	kcal/kg	4.669	4.523	4.390
ULTIMAT:				
Karbon	%	50,65	48,99	49,13
Hidrogen	%	5,05	4,91	4,48
Nitrogen	%	0,72	0,71	0,57
Total sulfur	%	0,39	0,39	0,4
Oksigen	%	28,94	30,21	25,23

Adb : *air dried basis*, dasar kering udara



Gambar 4. Briket batubara : (a) sarang tawon (BKG); (b) telur (BPG); (c) briket Palimanan (Titan)

Palimanan nilai kalornya berada sedikit di bawah nilai yang dipersyaratkan.

d. Sulfur Total

Kadar sulfur dalam semua percontoh briket batubara berada di bawah nilai yang dipersyaratkan, yakni maksimum 1 %. Total sulfur berkaitan dengan kandungan relatif total senyawa organik dalam batubara. Hubungan kadar sulfur dengan PAH, tidak terlalu signifikan karena senyawa PAH tidak mengandung gugus sulfur, sulfonat dll.

Secara keseluruhan percontoh briket yang digunakan masih berada pada kualitas standar yang disyaratkan di dalam Permen ESDM No. 47 tahun 2006 sehingga diharapkan akan sebanding dengan kualitas pembakaran dan emisinya.

Konsentrasi PAH yang dihasilkan dari emisi pembakaran briket batubara diperlihatkan pada Tabel 3.

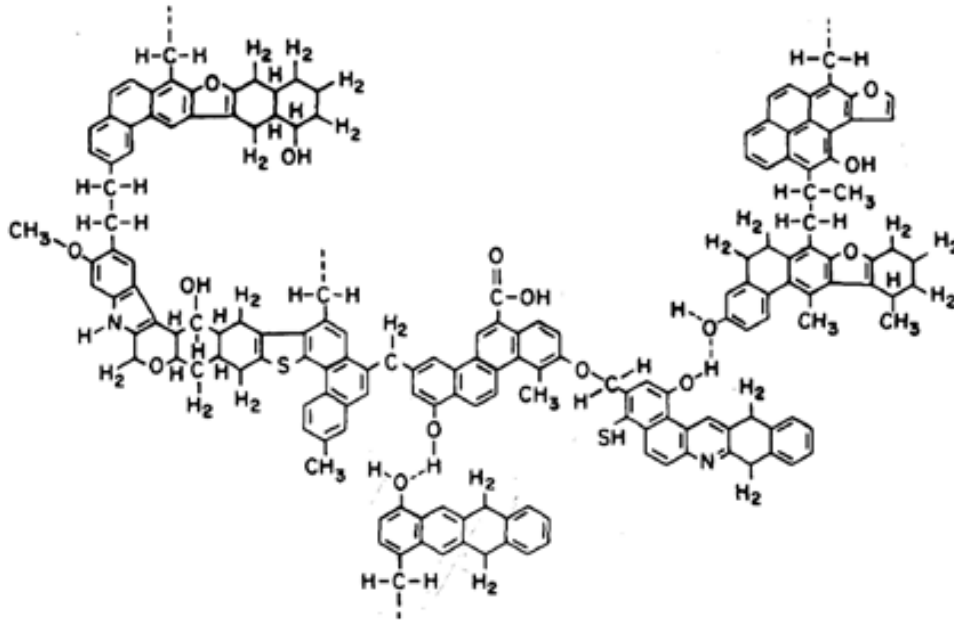
PAH dari Emisi Pembakaran Briket Batubara

Struktur senyawa batubara dapat digambarkan sebagai struktur makromolekul yang terdiri atas kelompok cincin aromatik. Seperti halnya polimer, batubara terdiri atas rangkaian monomer yang terdiri atas gugus polisiklik, seperti terlihat pada Gambar 5.

Setiap tingkatan batubara mempunyai jumlah cincin aromatik, alipatik dan aromatisitas yang berbeda. Hal tersebut mempengaruhi jumlah konsentrasi PAH yang dihasilkan pada saat batubara dibakar (Guofeng dkk., 2010). Batubara peringkat rendah yang akan menghasilkan PAH dengan dua sampai 3 cincin, sedangkan batubara peringkat tinggi akan

Tabel 3. Konsentrasi PAH dari emisi pembakaran briket batubara

Senyawa PAH	Jumlah Cincin	Suhu Pembakaran Briket Batubara (°C)												
		Titan			BKG			BPG						
		400	500	600	400	500	600	400	500	600				
Naphthalene	2	0	13,24	19,89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acenaphthene	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acenaphthylene	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anthracene	3	0	0	13,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluorene	3	0	16,67	8,87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phenanthrene	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,2-Benzanthracene	4	25,15	0	0	35,24	20,63	37,78	66,07	10,33	48,82	0	0	0	0
Chrysene	4	24,75	0	0	34,67	20,3	37,15	65,02	10,17	46,07	0	0	0	0
Fluoranthene	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pyrene	4	0	0	0	0	0	0	0	0	26,58	0	0	0	0
Benzo(a)pyrene	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzo(b)fluoranthene	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzo(g,h,i)perylene	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzo(k)fluoranthene	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dibenze(a,h)anthracene	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total PAH	mg/L	49,9	29,91	41,9	69,9	40,93	74,93	131,1	20,5	121,5	0	0	0	0
Vol. udara	6,041 L													
Vol. ekstrak	0,005 L													
Jumlah total PAH dalam ekstrak	mg	0,2495	0,14955	0,2095	0,3495	0,20465	0,37465	0,6555	0,1025	0,6075	0	0	0	0
Konsentrasi PAH di udara (emisi)	mg/L	0,04	0,02	0,03	0,06	0,03	0,06	0,11	0,02	0,1	0	0	0	0
	mg/m ³	4,13E-05	2,48E-05	3,47E-05	5,79E-05	3,39E-05	6,20E-05	1,09E-04	1,70E-05	1,01E-04	0	0	0	0



Gambar 5. Struktur batubara (Solomon, 1984)

menghasilkan PAH lebih dari 4 cincin.

Briket yang digunakan merupakan briket dengan bahan baku batubara peringkat rendah dengan penambahan kanji atau karbohidrat sebagai pengikat. Karbohidrat merupakan senyawa organik yang juga dapat membentuk PAH, terutama dalam proses pirolisis yakni pada suhu tinggi dan tanpa oksigen udara (Philip *dkk.*, 2004).

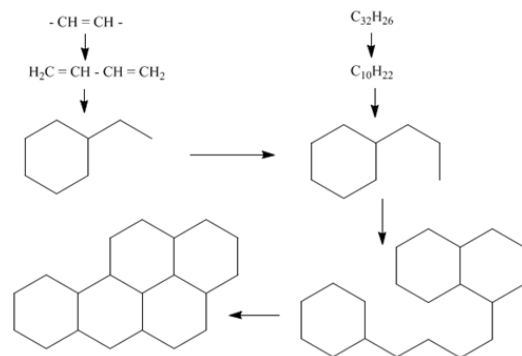
Pembakaran briket batubara dilakukan di laboratorium dalam sistem pembakaran tertutup dengan variasi suhu 400 sampai dengan 600 °C. Suhu tersebut merupakan suhu kritis ketika briket mengalami devolatilisasi/pirolisis, terjadi penguapan senyawa-senyawa *volatile*.

Pembakaran batubara menyebabkan terjadi perubahan struktur fisika dan kimianya serta terjadi pelepasan fraksi organik. Dalam reaksi ini, briket batubara tereduksi secara kimia dengan bantuan oksigen pada nyala pembakaran (*flame burning*). Pada kondisi tersebut fragmen C2 – C4 tak jenuh bergabung dengan fragmen hidrokarbon lain dalam reaksi rantai membentuk molekul aromatik terkondensasi berupa cincin pertama, C6 – C4, kemudian membentuk senyawa tetrahidronaftalen teralkilasi (Neff, 1979). Mekanisme reaksi pembentukan PAH dapat dilihat pada Gambar 6.

Molekul polisiklik tersebut dapat terdistribusi dalam fasa gas atau padat. Suhu dan tekanan uap di sekitar serta jumlah molekul merupakan kondisi yang menentukan distribusi PAH dalam fasa gas atau partikulat. PAH yang kurang dari 6 cincin (< 6 cincin PAH), biasanya terdapat dalam fasa gas, sedangkan PAH yang lebih dari 6 cincin (> 6 cincin PAH) terdapat dalam fasa padat (Hoffman *dkk.*, 2008 dalam Liu *dkk.*, 2008).

Emisi Pembakaran Briket Batubara

Jenis PAH yang dihasilkan dari emisi pembakaran briket batubara Titan, BKG dan BPG adalah senyawa



Gambar 6. Mekanisme pembentukan PAH (Neff, 1979)

PAH dengan 2 sampai 4 cincin. Briket batubara Titan menghasilkan lebih banyak senyawa PAH, yaitu *naphthalene*, *anthracene*, *fluorene*, *1,2-benzanthracene* dan *chrysene*. Briket batubara BKG dan BPG hanya menghasilkan dua jenis senyawa PAH yaitu *1,2-benzanthracene* dan *chrysene*. Senyawa *pyrene* hanya dihasilkan oleh briket batubara BPG.

Pembakaran briket batubara Titan pada suhu 600 °C mengemisikan *naphthalene* sebesar 19,89 mg/L, kadar tersebut lebih tinggi dibandingkan pembakaran pada suhu 500 °C, namun senyawa *fluorene* yang diemisikan relatif lebih rendah dari pada pembakaran pada suhu 500 °C, yaitu sebesar 8,87 mg/L, serta adanya senyawa *anthracene* hanya diemisikan oleh briket batubara Titan.

Kadar senyawa PAH yaitu *1,2-benzanthracene* dan *chrysene* tertinggi diemisikan oleh briket batubara BPG pada suhu pembakaran 400 °C, yaitu masing-masing sebesar 66,07 mg/L dan 65,02 mg/L.

Konsentrasi PAH yang diemisikan dapat dihitung dari total PAH dalam ekstrak dengan laju alir udara yang ditambahkan dalam pembakaran, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total PAH yang diemisikan dalam satuan mg/m³ sangat kecil, yaitu berkisar antara 1,7E-05 mg/m³ sampai dengan 1,09E-04 mg/m³.

KESIMPULAN

Parameter kualitas percontohan briket batubara yang digunakan tidak seluruhnya sesuai dengan spesifikasi yang dipersyaratkan seperti kadar air, serta nilai kalor yang berada sedikit di bawah nilai yang dipersyaratkan.

Jenis PAH yang dihasilkan dari emisi pembakaran briket batubara adalah senyawa PAH dengan 2 sampai 4 cincin, yaitu *naphthalene*, *anthracene*, *fluorene*, *benzanthracene* dan *chrysene* dengan konsentrasi dibawah nilai ambang batas.

DAFTAR PUSTAKA

Chomanee, J., Tekasakul, S., Tekasakul P., Furuuchi, M., Otani, Y., 2009. Effect of Moisture Content and Burning Period on Concentration of Smoke Par-

title and Particle-Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Rubber-Wood Combustion. *Aerosol and Air Quality Research*, 9: 404-411.

Environment Protection and Heritage Council. 2003. Air Toxic NEPM - PAHs Health Review, National Environmental Protection Council, *Environment Protection Heritage Council*, May, Australia

Guofeng S., Wei W., Yifeng Y., Chen Z., Yujia M., Miao X., Junnan D., Wei Li, Bin W., Huizhong S., Rong W, Xilong W., Shu T., 2010. Emission factors and particulate matter size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons from residential coal combustions in rural Northern China. *Atmospheric Environment*. Vol. 44, Issue 39, Dec: 5237-5243

Liu, G., Niu, Z., Van Niekerk D., Xue J., Zheng, L., 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from coal combustion : emissions, analysis, and toxicology. In Whitacre, D.M., Dr (ed). 2008. *Reviews of environmental contamination and toxicology*, volume 166 G. W. Ware (ed.) Springer-Verlag, New York, p. 1-28.

Neff, J. M., 1979. *Polycyclic Hydrocarbon in The Aquatic Environment*. New York : Applied Science Publisher.

Phillip, F., Owens, Jr., Britt, A.C., Buchanan and Clyde, V., 2004. Mechanistic Investigation into the Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from the Pyrolysis of Terpenes. *Prepr.Pap.Am. Chem.Soc., Div. Fuel; Chem.* 49(2), 868.

Sai, X.C., 1995. The pollution of PAH. *Environment protection*, 10 :31-33.

Sebayang, P., Zaini, K.T.A., Anggito, 2008. Pengaruh aditif lempung terhadap sifat mekanik dan nilai kalor dalam pembuatan briket batubara. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi II*.hal V-178.

Sloss, L., 2001. *Organic compound from coal utilization*. CCC/51. London. UK. IES Coal Research. 6 pp. (Sept 2001).

Solomon, P. R., 1984. *In Pulverized Coal Combustion: Pollutant Formation and Control*. EPA, in press.

USEPA, 2009. *Method 3542. Extraction of Semivolatile Analytes Collected Using Method 0010 (Modified Method 5 Sampling Train)*.

Yan, J.H, You, X.F, Li, X.D, Ni, M.J., Yin, X.F., Cen, K.F., 2004. Performance of PAHs emission from bituminous coal combustion. *Journal of Zhejiang University Science*. 5 (12) : 1554-1564.