

ANALISIS BEBERAPA UNSUR RUNUTAN BATUBARA BUKIT ASAM DENGAN METODE PENGAKTIFAN NETRON

Slamet Suprpto*, Nining Sudini Ningrum*,
Achmad Hidayat**, Sobana**, Tini Tjintarsih**, Lenny Kumalasari**
*Pusat Pengembangan Teknologi Mineral
**Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

ANALISIS BEBERAPA UNSUR RUNUTAN BATUBARA BUKIT ASAM DENGAN METODE PENGAKTIFAN NETRON. Peningkatan penggunaan batubara di Indonesia sebagai bahan bakar langsung pada pembangkit-pembangkit tenaga listrik, dan di lain pihak meningkatnya kesadaran lingkungan, telah membuat unsur-runutan menjadi aspek penting dalam teknologi perbatubaraan. Untuk mengevaluasi unsur runutan dalam contoh batubara Indonesia, telah dikembangkan metode INAA (Instrumental Neutron Activation Analysis) untuk arsen, antimon, selenium, seng dan uranium. Metode ini diharapkan lebih teliti dibanding metode konvensional yang didasarkan pada pengabuan dan pelarutan contoh batubara. Batubara Bukit Asam yang digunakan pada pembangkit listrik Suralaya mengandung kadar arsen, antimon, selenium, seng dan uranium yang rendah dan lebih rendah dari kadar rata-rata pada batubara di dunia. Unsur-unsur tersebut lebih dikonsentrasikan dalam abu-terbang dibanding pada abu-dasar. Sedangkan dalam abu-dasar, unsur-unsur tersebut (kecuali selenium) cenderung terkonsentrasi pada partikel abu berukuran halus.

ABSTRACT

NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS OF SOME TRACE ELEMENTS IN BUKIT ASAM COAL. The increase use of coal in Indonesia as the fuel for power generations, and on the other side the increase of environmental concern, have made trace elements as an important aspect of coal technology. To evaluate trace elements in Indonesia coal samples, INAA method has been developed for the analysis of arsenic, antimony, selenium, zinc and uranium. This method is expected to be more accurate than conventional methods which based on ashing and dissolving of the coal sample. Bukit Asam coal which is used for the Suralaya power plant contains low arsenic, antimony, selenium, zinc and uranium. The contents of those elements are lower than those of the worldwide coals. Those elements are more concentrated on the fly ash rather than on the bottom ash. Except for selenium, the other trace elements tend to be concentrated on the smaller particles of fly ash.

PENDAHULUAN

Batubara merupakan sumber energi fosil terbesar di Indonesia dengan cadangan mencapai 34 milyar ton dan berpotensi menjadi salah satu energi alternatif utama sebagai pengganti bahan bakar minyak bumi. Sampai dengan akhir tahun 1991, produksi batubara Indonesia mencapai 15 juta ton per tahun dengan jumlah konsumsi 6 juta ton, terutama sebagai bahan bakar langsung pada pembangkit tenaga listrik dan pabrik semen. Produksi dan konsumsi tersebut akan terus ditingkatkan sesuai dengan kebutuhan energi dalam negeri. Tetapi di lain pihak, usaha peningkatan penggunaan batubara tersebut dikhawatirkan dapat mengganggu kelestarian lingkungan mengingat batubara termasuk bahan bakar yang tidak bersih dan mengeluarkan gas CO_2 , SO_x , NO_x dan abu sela-

ma pembakaran. Akhir-akhir ini, emisi unsur runutan yang terdiri dari logam-logam berat dari pembakaran batubara juga mulai dipermasalahkan. Oleh karena itu, pengetahuan tentang unsur runutan dalam batubara sangat penting dalam rangka mengantisipasi secara awal terhadap pengaruh negatif akibat peningkatan penggunaan batubara di Indonesia.

Karena proses pembentukan dan keberadaannya, batubara dikomposisikan oleh campuran kompleks material organik dan komponen anorganik. Fraksi organik, yang merupakan sekumpulan berbagai sisa tanaman purba, didapatkan dan dibentuk menjadi batubara selama proses pembatubaraan. Sedangkan material anorganik bergabung dengan batubara sebagai kation-kation dan mineral (Stach 1982).

Komponen organik terutama terdiri dari senyawa kimia karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen dan belerang. Sedangkan material anorganik, yang sebagian besar dikomposisikan oleh mineral dan membentuk abu pembakaran, dikomposisikan terutama oleh Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti, Sr dan lain-lain. Selain unsur-unsur utama (major element) tersebut, batubara juga mengandung unsur-unsur lain yang kadarnya sangat kecil yakni kurang dari 0,02% (Gluskoter 1981) yang disebut unsur runutan. Meskipun kadar unsur-unsur runutan sangat rendah dibanding unsur-unsur utama, beberapa unsur runutan seperti As, Sb, Hg, Cd, Zn, Se, U, V, Pb, Be dan Tl bersifat racun.

Apabila batubara dibakar dalam sebuah pembangkit listrik, unsur-unsur runutan dapat tertinggal dalam abu-dasar (bottom ash) atau terbawa bersama gas buang sebagai abu terbang (fly ash). Sebagian dari unsur runutan dalam abu-terbang akhirnya dibuang ke atmosfer bersama partikel abu. Dalam hal ini, penyebaran unsur-unsur runutan dalam abu sangat penting untuk mengevaluasi kemungkinan emisinya ke udara.

Melalui uji pencucian (washability test), unsur-unsur dengan afinitas organik tinggi (tertinggal dalam batubara-bersih), akan terpisah dari unsur-unsur dengan afinitas organik rendah (tercuci dengan mineral). Oleh karena itu, proses pencucian batubara mungkin dapat memisahkan beberapa unsur runutan yang mempunyai ikatan anorganik dari batubara (Lim 1979).

Analisis unsur runutan dengan cara kimia yang biasa digunakan seperti AAS, umumnya didasarkan pada pengabuan contoh batubara sebelum analisis, dan pada mulanya diaplikasikan untuk batubara *rank* tinggi pada mana bahan anorganik terdapat terutama sebagai mineral dan tidak akan diuapkan selama pembakaran. Bahan anorganik batubara muda terutama terdapat sebagai kation yang terikat dengan grup asam organik dan asam-asam anorganik sederhana (Singer 1991, Benson 1984). Dengan asosiasi semacam ini, unsur-unsur anorganik lebih cenderung teruapkan dibanding apabila dengan asosiasi dengan fasa mineral. Oleh karena itu, problem utama dari metode berdasarkan pengabuan adalah bahwa beberapa unsur runutan dapat diuapkan meskipun pengabuan batubara dilakukan pada suhu rendah. Dalam hal ini, hasil yang diperoleh dapat

lebih rendah karena adanya penguapan dari unsur runutan.

Analisis unsur runutan dalam batubara dan abu batubara menggunakan metode INAA telah dikembangkan sejak awal tahun 70-an (Abel & Rancitelli 1975). Sejak itu, beberapa penelitian yang dilakukan untuk menentukan unsur-unsur yang berbahaya dalam batubara dan abu batubara kebanyakan didukung oleh teknik ini.

Makalah ini membahas tentang pengembangan metode analisis arsen, antimon, seng, uranium, selenium dalam batubara dan abu batubara dengan menggunakan metode INAA. Dengan metode tersebut kemudian dilakukan evaluasi terhadap unsur-unsur runutan batubara Indonesia Bukit Asam, Sumatera Selatan yang digunakan untuk PLTU Suralaya.

METODE PERCOBAAN

Metode INAA

Metode INAA didasarkan pada iradiasi contoh secara langsung dalam sebuah reaktor nuklir tanpa pelarutan atau ekstraksi contoh. Dengan penembakan neutron, banyak unsur dalam contoh batubara memproduksi radioisotop. Apabila komponen-komponen lain dari contoh tidak mengganggu, identifikasi terhadap unsur yang ada dapat dilakukan. Konsentrasi masing-masing unsur dapat ditentukan dengan membandingkan intensitas puncak (area) masing-masing elemen dengan intensitas puncak dari standar dalam spektrum γ .

Untuk analisis unsur-unsur yang menghasilkan isotop dengan waktu paruh pendek dan waktu paruh menengah, 50 - 300 mg contoh ditimbang dalam kantong plastik polietilen yang ditutup rapat (heat sealed). Contoh tersebut kemudian dimasukkan dalam wadah *pneumatic rabbit*. Untuk unsur-unsur yang memproduksi isotop dengan waktu paruh panjang, lebih kurang 300 mg contoh dimasukkan ke dalam ampul kuarsa bergaris tengah 5 mm dan panjang 100 mm.

Ampul tersebut kemudian ditutup (sealed) menggunakan pembakar mecker dan dimasukkan ke dalam wadah iradiasi dari aluminium.

Contoh dan standar diiradiasi bersama-sama dalam reaktor TRIGA MARK II selama 30 detik (untuk isotop dengan waktu paruh pendek), 15 menit (untuk isotop waktu paruh menengah) dan 70 jam (untuk isotop waktu paruh panjang) dengan 10^{12} n per detik.

Pencacahan dilakukan setelah contoh diluruhkan selama 3 - 5 menit (isotop dengan waktu paruh pendek), 1 minggu (isotop dengan waktu paruh menengah) dan 4 minggu (isotop dengan waktu paruh panjang) dengan menggunakan spektrometer multichannel sinar γ (Tennelec Nucleus - Oxford).

Pengambilan Contoh

Contoh yang dievaluasi yakni batubara Bukit Asam diambil dari Terminal Batubara Tarahan dan PLTU Suralaya. Sedangkan abu batubara Bukit Asam diambil dari PLTU Suralaya berupa abu-dasar (bottom ash) dan abu-terbang (fly ash).

Contoh batubara diambil di Terminal Batubara Tarahan secara sistematis berdasarkan ASTM (American Standard and Testing Materials) D2234-86 (contoh LBA). Sedangkan di Pembangkit Listrik Suralaya, batubara diambil dari keluaran bunker atau pemasukan batubara untuk mesin penggiling (contoh SBA).

Preparasi Contoh

Contoh batubara yang diperoleh kemudian dipreparasi berdasarkan ASTM sehingga diperoleh contoh yang representatif dengan kehalusan lolos ayakan 60 mesh. Untuk contoh abu (abu-dasar dan abu-terbang), preparasi dilakukan untuk memperoleh contoh berukuran lolos ayakan 200 mesh dan kering oven (100°C). Untuk menyelidiki penyebaran unsur runtuhan dalam abu-terbang, sebagian contoh abu-terbang hasil *sampling* diayak dengan ayakan 200, 250, 270, 325 dan 400 mesh.

HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

Kondisi (dengan hasil pengulangan terbaik) metode INAA yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1 yang terdiri dari radioisotop, energi masing-masing radioisotop, waktu iradiasi dan peluruhan masing-masing contoh. Dengan menggunakan kondisi tersebut ketelitian metode

Tabel 1. Kondisi metode INAA yang digunakan untuk analisis arsen, antimon, uranium, seng dan selenium.

Unsur	Iso-top	Energi (keV)	Waktu Iradiasi	Waktu peluruhan
As	^{76}As	559,2	15 menit	1 minggu
Sb	^{122}Sb	564,0	15 menit	1 minggu
U	^{239}Np	74,7	15 menit	1 minggu
Se	^{75}Se	136,0	72 jam	4 minggu
Zn	^{65}Zn	1115,4	72 jam	4 minggu

de INAA terhadap contoh standar (Standard Reference Material) untuk arsen, antimon, seng dan uranium cukup tinggi. Untuk analisis selenium, hasil yang diperoleh sedikit lebih tinggi dari data standar sehingga masih perlu dicari kondisi yang lebih optimal (lihat Tabel 2).

Tabel 2. Ketelitian metode INAA terhadap contoh standar

Unsur	Hasil INAA (ppm)	Data standar (ppm)	Tanda contoh
As	$0,44 \pm 0,01$	$0,42 \pm 0,15$	SRM 1635
	155 ± 26	145 ± 15	SRM 1635a
Sb	$0,18 \pm 0,01$	0,14*	SRM 1635
	$7,4 \pm 0,8$	$6,8 \pm 0,4$	SRM 1635a
Zn	$4,16 \pm 1,9$	$4,7 \pm 0,5$	SRM 1635
Se	$2,05 \pm 0,58$	$0,9 \pm 0,3$	SRM 1635
U	$10,4 \pm 0,40$	$10,2 \pm 0,1$	SRM 1633a

* = tidak disertifikatkan

Data analisis batubara Bukit Asam seperti terlihat pada Lampiran 1 menunjukkan bahwa batubara Bukit Asam yang digunakan untuk PLTU Suralaya termasuk *rank* rendah yakni subbituminous A. Batubara tersebut dikarakterisasikan oleh kadar abu dan kadar belerang rendah, kadar air dan kadar zat terbang termasuk tinggi, dan kadar karbon padat serta nilai kalor sedang.

Batubara Bukit Asam mengandung kadar arsen, antimon, selenium, seng dan uranium yang rendah dan lebih rendah dari kadar rata-rata yang dimiliki oleh batubara di dunia (Tabel 3). Bahkan kadar arsen, antimon dan uranium

Tabel 3. Kadar As, Sb, Se, Zn dan U batubara Bukit Asam dan batubara di dunia (ppm).

Unsur	LBA	SBA	Batubara di dunia	
			Rata-rata	Rentang
As	ttd	ttd	5	0,3 - 93
Sb	ttd	ttd	1	0,1 - 9,0
Se	0,8	1,2	3	0,04 - 10
Zn	6,9	6,3	50	3 - 300
U	ttd	ttd	1	0,005 - 200

batubara Bukit Asam tak terdeteksi dengan metode INAA.

Kadar arsen, antimon, dan uranium rata-rata dalam batubara di dunia masing-masing

tercatat sebesar 5, 1 dan 1 ppm. Sedangkan rentang kadar unsur-unsur tersebut masing-masing mencapai 93 ppm untuk arsen, 9 ppm untuk antimon dan 200 ppm untuk uranium.

Kadar selenium dan seng batubara Bukit Asam rata-rata sebesar 1 dan 6,6 ppm. Rentang kadar kedua unsur tersebut dalam batubara di dunia masing-masing mencapai 10 ppm untuk selenium dan 300 ppm untuk seng. Dengan kadar yang rendah tersebut, diharapkan emisi arsen, antimon, uranium, seng dan selenium tidak menyebabkan gangguan terhadap kelestarian lingkungan di sekitar pembangkit listrik.

Distribusi unsur-unsur tersebut selama pembakaran batubara seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 menyatakan bahwa unsur-unsur

Tabel 4. Kadar As, Sb, Se, Zn dan U abu dasar dan abu terbang PLTU Suralaya (ppm).

Unsur	Abu dasar	Abu terbang
As	ttd	10,4
Sb	ttd	1,7
Se	14,0	16,3
Zn	48,3	68,5
U	14,0	16,3

arsen, antimon, selenium, seng dan uranium lebih terkonsentrasi pada abu-terbang.

Kadar arsen dan antimon dalam abu-dasar bahkan tidak terdeteksi. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa unsur-unsur runutan tersebut sebagian besar diupayakan dan kemudian terendapkan pada abu-terbang dan terbuang bersama-sama gas-buang.

Distribusi unsur-unsur runutan dalam abu-terbang dapat dilihat pada Tabel 5. Kecuali selenium, keempat unsur lainnya yakni arsen, antimon, seng dan uranium terkonsentrasi pada partikel abu-terbang berukuran kecil. Pada abu-terbang berukuran kasar (+ 400 mesh), kadar arsen, antimon, seng dan uranium masing-masing sebesar 14,1; 3,1; 33,6 dan 4,7 ppm. Sedangkan dalam abu terbang berukuran halus (-400 mesh), kadar unsur-unsur tersebut masing-masing sebesar 55,9 ppm untuk arsen, 12,7 ppm untuk antimon, 71,4 ppm untuk seng dan 11,4 ppm untuk uranium.

Untuk selenium, kecenderungan tersebut tidak terjadi, dan konsentrasinya cenderung tetap dengan semakin kecilnya ukuran partikel abu-terbang. Bahkan pada abu yang dan

Tabel 5. Kadar As, Sb, Se, Zn dan U abu-terbang batubara Bukit Asam pada berbagai ukuran (ppm)

Ukuran abu mesh	As	Sb	Se	Zn	U
+ 200	14,1	3,1	16,9	33,6	4,7
-200+250	24,7	4,8	15,8	45,3	7,3
-250+270	35,3	6,7	15,6	73,3	7,9
-270+325	36,0	6,2	16,6	80,2	8,3
-325+400	45,3	8,4	17,7	107,0	10,2
-400	55,9	12,7	12,2	71,4	11,4

berukuran paling halus (- 400 mesh) kadarnya turun menjadi 12,2 ppm.

Kecenderungan distribusi unsur-unsur tersebut (kecuali selenium) adalah sesuai dengan distribusinya dalam abu-dasar dan abu-terbang di mana selama pembakaran (batubara) sebagian besar arsen, antimon, seng dan uranium diupayakan, kemudian diendapkan dan terkonsentrasi pada abu-terbang berukuran halus.

Dengan kecenderungan ini, unsur-unsur yang perlu lebih diperhatikan dari kelima unsur tersebut sehubungan dengan emisi abu ke atmosfer adalah arsen, antimon, seng dan uranium. Hal ini mengingat tidak semua abu-terbang dapat ditangkap oleh penangkap debu (maksimum 99,5% abu-terbang tertangkap) dalam pembangkit listrik.

Sebagai gambaran, Lampiran 2 menunjukkan hasil fraksinasi (berdasarkan ukuran) abu-terbang batubara Bukit Asam dari PLTU Suralaya. Sekitar 23 % abu-terbang tersebut berukuran halus (- 400 mesh).

KESIMPULAN

1. Metode INAA telah dikembangkan untuk analisis arsen, antimon, selenium, seng dan uranium dalam batubara dan abu batubara. Ketelitian metode INAA tersebut yang dilakukan terhadap contoh standar menunjukkan hasil yang cukup baik.
2. Batubara Bukit Asam yang digunakan pada PLTU Suralaya mengandung kadar arsen, antimon, selenium, seng dan uranium yang rendah dan lebih rendah dari kadar rata-rata batubara di dunia.
3. Distribusi arsen, antimon, seng, selenium dan uranium selama pembakaran menunjukkan bahwa unsur-unsur tersebut lebih terkonsentrasi pada abu-terbang dibanding pada abu-dasar.

4. Kecuali selenium, keempat unsur lainnya yakni arsen, antimon, seng dan uranium lebih terkonsentrasi pada partikel abu-ter-

bang berukuran halus. Semakin halus ukuran abu-terbang, kadar keempat unsur tersebut cenderung semakin tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abel, K.H. and Rancitelli, L.A., In: Babu, S.P. (ed.). Trace elements in fuel. American Chemical Society Advances in Chemistry Series No. 141 (1973) 118-138.
2. Benson, S.A. et al., . Inorganic constituent in low-rank coal-direct coal analysis or ash Center, North Dakota (1984).
3. Bowen, H.J.M., Environmental chemistry of the elements, Academic Press, London (1979).
4. Gluskoter et al., In : Elliot, M.A. (ed.). Chemistry of coal utilization. 2nd. suppl. vol., John Wiley & Sons, New York, (1981) 369-424.
5. Lim, M.Y., Trace elements from coal combustion. Atmospheric Emissions, IEA Coal Research, Report No. ICTIS/TROS (1979).
6. Singer, Y.G. (ed.), Combustion - Fossil Power, Combustion Engineering, Inc. Connecticut (1991).
7. Stach, E., Mackowsky, M.Th., Teichmuller, M., Taylor, G.H., Chandra, D and Teichmuller, R., Stach's Textbook of Coal Petrology, Gebruder Borntraeger, Stuttgart (1975).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil analisis batubara Bukit Asam (kering udara)

Analisis	SBA	LBA
Air lembab, %	14,55	16,99
Abu, %	7,40	4,73
Zat terbang	32,29	36,24
Karbon padat	45,76	42,04
Nilai kalor, kal/g	5,869	5,886
Belerang, %	0,27	0,30
Nitrogen, %	0,84	0,66
Karbon, %	60,07	60,81
Hidrogen, %	5,87	6,17
<i>Rank</i>	<i>Subbituminous A</i>	<i>Subbituminous A</i>

Lampiran 2. Hasil fraksinasi ukuran abu-terbang batubara Bukit Asam.

Ukuran mesh	Fraksi berat (%)
+ 200	25,90
- 200 + 250	9,41
- 250 + 270	22,55
- 270 + 325	8,79
- 325 + 400	10,14
- 400	23,21