



Pengaruh Penambahan Kaolin Terhadap Reduksi Logam Pb pada Proses Pembakaran Batubara

The Effect of Kaolin Addition on the Leads Reduction in Coal Combustion Process

Isdawani Is¹, Asri Gani^{2*}

¹ Dinas Kesehatan Pemerintah Aceh, Jl. Tgk. Syech Mudawali No.6 Banda Aceh

² Program Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala, Jl. Syech Abdurrauf No.7 Banda Aceh 23111

*E-mail: axgani@yahoo.com

Abstrak

Adsorpsi emisi pembakaran briket batubara dengan menggunakan adsorben kaolin telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh rasio adsorben terhadap performa penyerapan SO₂ dan logam berat plumbum (Pb). Kaolin dicampur dalam briket batubara dengan variasi massa 2, 4, 6, 8, dan 10%. Briket dibakar pada *electrically stainless steel reaction tube* pada kondisi temperatur pembakaran yaitu 600, 700, dan 800°C. Analisis kadar pb dilakukan dengan menggunakan *atomic absorbtion spectroscopy* (AAS) Perkin Elmer. Konsentrasi emisi SO₂ dalam gas buang dianalisis menggunakan industrial gas combustion and emission analyzer (E4400i). Hasil percobaan dan analisis menunjukkan, bahwa tingginya rasio adsorben dapat menurunkan *trend* emisi SO₂ yang dihasilkan. Pada emisi logam tingkat kejenuhan penyerapan oleh kaolin berada pada rasio adsorben 6%-10%. Kapasitas adsorpsi yang dihasilkan cenderung tinggi pada suhu pembakaran 600°C.

Kata kunci: Batubara, kaolin, kapasitas adsorpsi, Pb, SO₂

Abstract

The adsorption of coal briquettes combustion emission has been done by using kaolin as adsorbents. The objective of this research is to study the effect of adsorbent ratio on the adsorption performance of SO₄ and leads. Kaolin are blended into coal briquette with variation of mass of 2, 4, 6, 8, and 10%. Briquettes are burned in electrically stainless steel reaction tube with combustion temperature of 600, 700 and 800°C. The concentration of Pb was analyzed by using atomic absorption spectroscopy (AAS) Perkin Palmer. Emission levels of SO₂ in the flue gas was analyzed using industrial gas combustion and emission gas analyzer (E 4400i). The results indicate that the high ratio of adsorbent can reduce SO₂ emissions. While the saturation level of the Pb emission absorption by kaolin adsorbent ratio was at 6% -10%. Adsorption capacity was high on the combustion temperature of 600°C.

Keywords: Adsorption capacity, coal, kaolin, Pb, SO₂

1. Pendahuluan

Pemanfaatan batubara sebagai sumber energi menjadi pilihan yang paling diminati oleh para pengusaha di Indonesia karena ketersediaannya cukup melimpah dan nilai bakarnya yang tidak jauh berbeda dengan bahan bakar lainnya. (Putra dkk., 2011; Hadi dkk., 2012). Di sisi lain, bahan bakar batubara identik sebagai bahan bakar yang kotor dan tidak ramah lingkungan karena komposisinya yang terdiri dari C, H, O, N, S, dan abu yang tertahan di *bottom ash* serta *trace metal* yang terbang ke udara (*fly ash*). Kandungan C per mol batubara jauh lebih besar dibandingkan bahan bakar fosil lainnya, sehingga pengeluaran CO₂ dari batubara jauh lebih banyak. Kandungan S

dan N batubara bisa terlepas sebagai SO_x dan NO_x yang menyebabkan terjadinya hujan asam. Selain itu, *fly ash* dapat mencemari air tanah dengan kandungan didalamnya seperti arsenik, barium, berillium, boron, kadmium, kromium, thallium, selenium, molibdat, dan merkuri.

Hasil pembakaran batubara dari *bottom ash* mengandung alumina oksida (Al₂O₃), silika oksida (SiO₂), fero oksida (Fe₂O₃), kalsium oksida (CaO), magnesium oksida (MgO), fosfor trioksida (P₂O₅), sulfur trioksida (SO₃) titanium oksida (TiO₂), alkalin (Na₂O dan K₂O (Wilcox dkk., 2012). Haryati (2010), mengidentifikasi ruang lingkup dan besarnya efek samping logam-logam berat yang melayang di udara (*trace metal*) ketika

terlepas ke atmosfer. Karakteristik abu terbang (*fly ash*) yang dihasilkan dari pembakaran batubara sangat berbeda-beda, tergantung dari bahan induk, dan tipe kontrol emisi yang digunakan. Keberadaan SO_2 di udara dalam konsentrasi yang berlebihan dari ambang batas memberi efek berbahaya bagi kehidupan manusia dan lingkungan (Yao dan Naruse, 2010). Untuk mengatasi masalah ini pemerintah mengeluarkan peraturan yang ketat tentang perlunya kontrol polusi seperti CO_2 , NO_x , SO_x dan logam-logam berat (*heavy metal*) yang terbang ke udara

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan dapat mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh emisi pembakaran batubara dan *trace metal* melalui proses adsorpsi. Dengan proses adsorpsi diharapkan emisi dapat tertahan di *bottom ash* dan tidak ikut terbang ke udara. Adsorben kaolin dicampur ke dalam proses pembakaran briket batubara untuk mengikat senyawa Pb agar tidak terbang ke udara. Penelitian tentang kaolin sebagai adsorben bagi logam-logam berat telah dilakukan antara lain pada absorpsi Cu dan Ni dengan menggunakan kaolin dan bentonit (Liu dan Zhou, 2010).

2. Metodologi Penelitian

2.1. Pembuatan Briket Batubara

Batubara dihaluskan menggunakan *crusher* hingga ukuran partikel dihomogenkan hingga mencapai -60 mesh (*pan*) 1,25 in. Kaolin dicampur dalam briket batubara dengan variasi massa 2, 4, 6, 8, dan 10%. Dibuat campuran bahan briket untuk masing-masing variasi rasio perbandingan lalu dicetak menggunakan pencetak briket batubara, dimana tekanan yang digunakan untuk mencetak briket batubara menurut SNI 047, (2006) adalah dengan tekanan 10

ton/cm². Briket batubara dicetak membentuk silinder kecil seperti batangan.

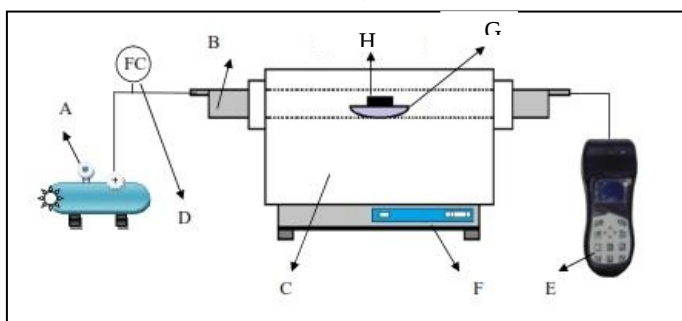
2.2. Pembakaran Batubara

Proses pembakaran diperlihatkan pada Gambar 1. Pembakaran dilakukan dengan menggunakan *tube furnace* selama 30 menit, pada temperatur 600°C, 700°C, dan 800°C, serta laju alir udara pembakaran sebesar 1,5 liter/menit. Analisa pelepasan SO_2 dilakukan selama pembakaran menggunakan gas *analyzer E-Instrument* dengan interval waktu 5 menit.

Batubara yang sudah menjadi briket dibakar di *furnace electric* 120, dilengkapi dengan *industrial gas combustion and emission analyzer* (E4400, E instrument). Alat ini berguna untuk menganalisis SO_2 yang terlepas melalui *outlet stainless steel furnace reaction tube* sejak awal pembakaran. Dengan demikian dapat diketahui banyaknya sulfur yang terlepas ke udara dengan mencatat kandungan emisi pada *emission analyzer* sesuai variabel waktu yang ditentukan.

2.3. Analisis Sampel Atomic Analyzer Spectrometer (AAS) 600

Dari 15 (Lima belas) sampel, masing masing sampel dibuat larutan induknya. Prinsip kerja pada *atomic analyzer spectrometer* (AAS) 600 yaitu dengan sistem kalibrasi larutan induk dengan larutan yang telah diencerkan karena alat ini sangat sensitif terhadap konsentrasi larutan sampel. Tujuan dari kalibrasi larutan induk dengan larutan hasil pengenceran tersebut adalah untuk kalibrasi sebelum dilakukan analisis dari masing-masing sampel sehingga kandungan sampel dapat dianalisa dalam jumlah *part per million* (ppm).



Keterangan:

- A. Compressor (Penyedia Udara)
- B. Stainless Steel Reaction Tube
- C. Electrically Furnace
- D. Flow Meter
- E. Industrial Gas Combustion Emission Analyzer (E4400)
- F. Set Time & Temperature Control
- G. Ceramics Boat
- H. Sampel Briket Batubara

Gambar 1. Skema alat penelitian (*Furnace electric* 120)

Digestion sampel yang dilarutkan dengan reagenya masing-masing di multiwave 3000, dari hasil *digestion* didapat 15 (lima belas) sampel larutan untuk di analisa masing-masing kandungan logam Pb yang terkandung pada sampel tersebut.

2.4. Efisiensi Adsorpsi

Tinjauan performa dari adsorben kaolin dalam menyerap emisi logam pembakaran batubara dapat dilihat dari efisiensi penyerapan elemen logam berat. Efisiensi adsorpsi ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{Ca - Ca_0}{Ca} \times 100\% \quad (1)$$

η : Efisiensi adsorpsi (%)

Ca : konsentrasi setelah penambahan adsorben (ppm)

Ca_0 : konsentrasi tanpa adsorben (ppm)

2.5. Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi menggambarkan kemampuan penyerapan terhadap adsorbat pada tiap gram adsorben. Dimana nilai tersebut dapat menjadikan acuan penggunaan jumlah adsorben yang digunakan dalam skala besar. Dengan membandingkan nilai kapasitas adsorpsi dari tiap-tiap rasio adsorben yang digunakan maka akan di dapat kapasitas optimum pada rasio-rasio tertentu. Kapasitas adsorpsi ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{Ca - Ca_0}{M_{adsorben}} \quad (2)$$

Q : kapasitas adsorpsi

Ca : konsentrasi emisi setelah penambahan kaolin

Ca_0 : konsentrasi emisi tanpa penambahan adsorben

$M_{adsorben}$: adalah massa adsorben

Untuk melihat kemampuan adsorpsi tiap gram adsorben terhadap masing-masing variabel logam terhadap kapasitas penyerapan diperlukan agar dapat dilihat kapasitas optimum di antara *range* variabel rasio adsorben yang ada.

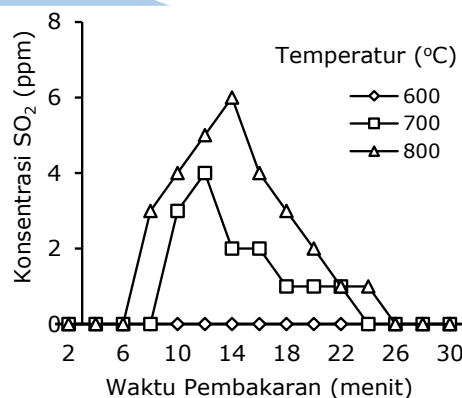
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Waktu Pembakaran terhadap Kandungan SO₂

Fenomena yang terjadi pada proses pembakaran briket batubara cenderung

akan menghasilkan emisi seperti gas SO₂ dan yang lainnya pada saat awal-awal waktu pembakaran. Gas yang dihasilkan cenderung meningkat hingga pada kondisi maksimum dan diikuti penurunan hingga pada kondisi *steady*. Ini dikarenakan pada proses pembakaran batubara dimulai dengan teroksidasinya zat *volatile matter* yang termasuk didalamnya unsur sulfida yang mudah teroksidasi menghasilkan SO₂. Ketika *volatile matter* tersebut telah habis terbakar lalu diikuti dengan teroksidasinya *fixed carbon* dimana pada kondisi tersebut emisi SO₂ telah stabil.

Umumnya penyerapan SO₂ yang baik ditentukan dengan rasio Ca/S (Yao dan Naruse, 2010). Namun teori tersebut tidak dapat dilakukan pada penelitian ini karena kandungan kalsium pada kaolin yang terlalu kecil. Hal ini menunjukkan bahwa kaolin dengan kandungan kalsium sebesar 0,57% hanya mampu mereduksi sedikit emisi SO₂. Untuk penyerapan SO₂ yang baik, sebaiknya digunakan adsorben lain dengan kadar kalsium yang tinggi. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara waktu pembakaran briket batubara terhadap emisi SO₂ yang dihasilkan.

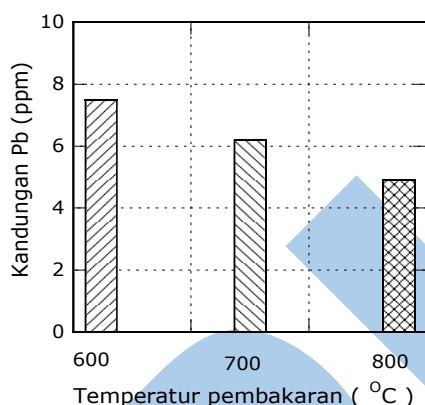


Gambar 2. Profil konsentrasi SO₂ pada berbagai waktu pembakaran

Pada Gambar 2 dapat dilihat kecenderungan emisi SO₂ yang dihasilkan meningkat pada 10 menit proses pembakaran berlangsung, dengan puncak emisi terjadi pada rentang waktu 10 sampai dengan 15. Hubungan antara kondisi pembakaran khususnya temperatur sangatlah berpengaruh pada emisi yang dihasilkan. Pada temperatur 800°C dapat dilihat emisi SO₂ yang dihasilkan berada pada titik tertinggi diikuti dengan temperatur 700°C dan 600°C. Hal ini berdasarkan persamaan Arrhenius, dimana semakin tinggi temperatur maka semakin besar nilai konstanta oksidasi sehingga kecepatan konversi S menjadi SO₂ semakin naik pula.

3.2. Pengaruh Temperatur Pembakaran

Pembakaran batubara akan menghasilkan *fly ash* dan *bottom ash* (Muchjidin, 2006). Kandungan logam-logam berat yang menguap pada proses pembakaran batubara akan tersuspensi pada *fly ash* dan sebagian tetap tinggal pada *bottom ash*. Diharapkan kandungan logam tersebut lebih cenderung terdapat pada *bottom ash* karena lebih mudah penanganannya dibandingkan bebas terbang ke atmosfer. Pada proses pembakaran briket batubara tanpa menggunakan adsorben menghasilkan kandungan Logam Pb pada *bottom ash* yang berbeda seiring dengan variasi temperatur pembakarannya seperti disajikan pada Gambar 3.



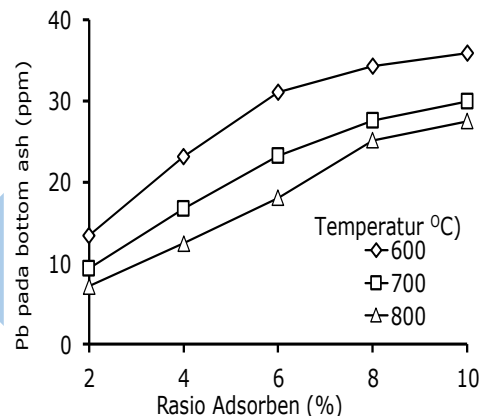
Gambar 3. Konsentrasi logam Pb pada *bottom ash* pada berbagai variasi temperatur pembakaran

Gambar 3 menunjukkan konsentrasi logam Pb yang tersisa pada *bottom ash* pada temperatur pembakaran yang berbeda. Konsentrasi logam Pb yang terdapat pada abu sisa di bawah 8 ppm, dimana kandungannya menurun seiring dengan meningkatnya temperatur pembakaran. Berdasarkan Gambar 3, dapat dinyatakan bahwa peningkatan temperatur pembakaran berbanding lurus dengan jumlah emisi logam yang dihasilkan (Xu dkk., 2003). Kandungan logam Pb pada batubara Aceh (sub-bituminus) relatif tinggi, yaitu sekitar 20,26 ppm/gram (Mahidin dkk., 2009). Logam Pb masuk ke dalam kelas *partially volatile* atau logam yang sebagian menguap (Huang dkk., 2003).

3.3. Pengaruh Adsorben Kaolin

Adsorpsi menggunakan kaolin pada briket batubara dapat mengurangi emisi yang dihasilkan seperti SO₂ dan logam-logam berat. Emisi dapat direduksi dengan cara mengikat emisi yang rentan terbawa oleh *fly*

ash agar cenderung menjadi *bottom ash* yang lebih mudah untuk dikendalikan. Berdasarkan hasil pembakaran briket batubara dengan adsorben kaolin pada berbagai rasio terdapat perbedaan warna secara visual pada *bottom ash*. Warna *bottom ash* cenderung didominasi oleh kaolin seiring dengan tingginya rasio adsorben.



Gambar 4. Hubungan rasio adsorben pada briket batubara terhadap Kandungan Logam Pb dalam *Bottom Ash*.

Gambar 4 memperlihatkan konsentrasi logam Pb yang terserap meningkat berbanding lurus dengan rasio massa adsorben yang digunakan. Penggunaan adsorben kaolin pada penyerapan Pb lebih cenderung efektif pada temperatur pembakaran 600°C dan 700°C. Dimana pada temperatur pembakaran 800°C konsentrasi logam Pb pada *bottom ash* sangatlah sedikit dibandingkan dua variabel temperatur yang lebih rendah. Ini menunjukkan efektifitas adsorben kaolin pada penyerapan Pb optimal pada kondisi operasi pembakaran 600°C dan 700°C. Pengaruh temperatur pembakaran yang tinggi membuat performa adsorben berkurang. Adapun pada temperatur 800°C – 1100°C merupakan titik aktivasi dari adsorben kaolin atau juga kaolin pada temperatur pembakaran 800°C cenderung rentan terjadi desorpsi (Liu dan Zhou, 2010). Hal tersebut terlihat jelas kondisi adsorben sendiri lebih cenderung berkurang kemampuannya pada temperatur 800°C.

Proses penyerapan Logam Pb yang dihasilkan dari pembakaran batubara sangat dipengaruhi oleh proses terbentuknya elemen-elemen yang saling berkaitan dengan elemen organik dan fraksi sulfida. Penambahan kaolin sebagai adsorben diharapkan dapat menciptakan gaya tarik-menarik antara logam berat dengan mineral melalui peristiwa adsorpsi fisik. Logam yang

semulanya tersuspensi pada abu terbang akan diikat oleh adsorben kaolin yang merupakan komponen mineral.

3.4. Efisiensi Adsorpsi Logam Pb

Tinjauan performa dari adsorben kaolin dalam menyerap emisi logam hasil pembakaran batubara dapat dilihat dari efisiensi penyerapan terhadap suatu unsur pada kondisi tertentu. Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa efisiensi penyerapan logam Pb cenderung meningkat seiring peningkatan rasio adsorben. Peningkatan temperatur pembakaran berbanding lurus dengan jumlah emisi logam yang dihasilkan, sehingga efisiensi penyerapan semakin menurun dengan beban adsorben dalam menyerap emisi semakin tinggi (Xu dkk., 2003).

Tabel 1. Efisiensi penyerapan logam berat Pb pada berbagai rasio adsorben

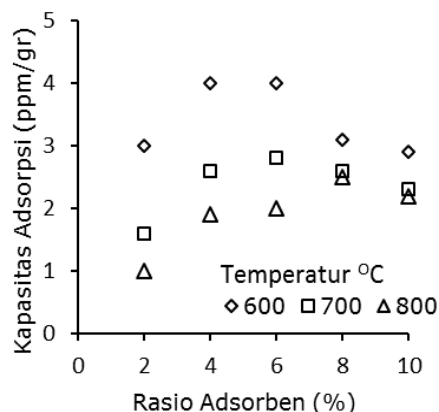
Rasio Adsorben (%)	Efisiensi Penyerapan (%)		
	600 °C	700°C	800°C
2	4	7	2
4	12	17	7
6	18	25	14
8	22	28	20
10	24	30	28

3.5. Kapasitas Adsorpsi Logam Pb oleh Kaolin

Kapasitas adsorpsi menjadikan acuan penggunaan jumlah adsorben yang akan digunakan dalam skala besar. Dengan membandingkan nilai kapasitas adsorpsi dari tiap-tiap rasio adsorben yang digunakan, maka akan didapat kapasitas optimum pada rasio-rasio tertentu. Massa adsorben sebagai penyerap yang mendekati optimum dalam banyak penelitian adalah berkisar 5% untuk adsorben batu kapur (Chen and Yao, 2010) dan 5% kaolin untuk pembakaran 1,5 λ (stoichiometric air ratio) serta 10% untuk kaolin berbasis kalsium dengan 1,2 λ (Liu and Zhou, 2010).

Pada Gambar 5 dapat dilihat garis kecenderungan kapasitas penyerapan untuk logam Pb pada temperatur 800°C terdapat jarak yang jauh dibandingkan dengan kedua variabel temperatur pembakaran lainnya, sehingga mengindikasikan kapasitas penyerapan yang rendah pada temperatur tersebut. Apabila nilai tersebut diratakan antara masing-masing *trend*, perbedaan kapasitas penyerapan adsorben dari masing-masing titik tidak terlalu jauh, sehingga hal ini menginformasikan bahwa kapasitas penyerapan logam Pb oleh kaolin

tidak terlalu berpengaruh terhadap rasio adsorben.



Gambar 6. Pengaruh rasio adsorben terhadap kapasitas penyerapan pada logam Pb

4. Kesimpulan

Emisi gas SO₂ yang dihasilkan cenderung meningkat pada awal-awal waktu pembakaran dimana pengaruh penggunaan kaolin sebagai adsorben untuk mengurangi peningkatan emisi SO₂ yang dihasilkan pada awal-awal pembakaran tersebut. Penyerapan logam berat dipengaruhi oleh partikel logam berat yang terperangkap di dalam matriks *fly ash* dan *bottom ash*, serta volatilitasnya. Pengaruh difusi logam Pb dalam penyerapan oleh adsorben menyebabkan efisiensi cenderung meningkat seiring dengan penambahan adsorben dengan sifat logam tersebut yang memiliki titik uap di atas variabel pembakaran. Pada suhu 800°C performa kaolin cenderung menurun dimana pada kondisi tersebut kaolin mulai jenuh.

Daftar Pustaka

- Chen, J., Yao, H. (2010) *Control of PM1 by kaolin or limestone during O₂/CO₂ pulverized coal combustion*, Wuhan, China.
- Haryati (2010) *Penelitian kesehatan lingkungan*, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Huang, Y., Jin, B., Zhong, Z., Xiao, R., Tang, Z., Ren, H. (2003) Trace elements (Mn, Cr, Pb, Se, Zn, Cd and Hg) in emissions from a pulverized coal boiler, *Fuel Processing Technology*, 86, 23– 32.
- Liu, Z. R., Zhou, S. Q. (2010) Adsorption of copper and nickel on Na-bentonite, *Process Safety and Environmental Protection*, 88, 62-66.

- Mahidin, Khairil, Adisalamun dan Gani, A. (2009) Karakteristik pembakaran batubara peringkat rendah, cangkang sawit dan campurannya dalam fluidized bed boiler, *Jurnal Reaktor*, 12 (4), 253-259.
- Muchjidin, M. (2006) *Pengembalian mutu dalam industri batubara*, Jilid 1 Edisi Pertama, ITB: Bandung.
- Xu, M., Yan, R., Zheng, C., Qiao, Y., Han, J., Sheng, C. (2003) Status of trace element emission in a coal combustion process: A review. *Fuel Processing Technology*, 85, 215- 237.
- Yao, H., Naruse, I. (2010) Control of trace metal emissions by sorbents during coal combustion, *Department of Ecological Engineering*, Toyohashi University of Technology, Japan.
- Wilcox, J., Rupp, E., Ying, S. C., Lim, D. H., Negreira, A. S., Kirchofe, A., Feng, F., Lee, K. (2012) Mercury adsorption and oxidation in coal combustion and gasification processes, *International Journal of Coal Geology*, 90-91, 4-20.
- Putra, S.M. (2012), Teknologi pemanfaatan batubara untuk menghasilkan batubara cair, pembangkit tenaga listrik, gas metana dan briket batubara, *Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3*, Palembang, 26-27 Oktober.
- Hadi, A.I., Refrizon, R., Susanti, E. (2012) Analisis kualitas batubara berdasarkan nilai HGI dengan standar ASTM, *Simetri*, 1 (D), 37-41.