

Analisis Karakteristik Dan Potensi Logam Pada Limbah Padat Fly Ash dan Bottom Ash di PLTU Industri Pupuk

by Marwan Asof

Submission date: 18-Feb-2022 07:00AM (UTC+0700)

Submission ID: 1764997079

File name: 977-Article_Text-3376-1-2-20220217.docx (473.57K)

Word count: 3105

Character count: 17751

Analisis Karakteristik Dan Potensi Logam Pada Limbah Padat *Fly Ash* dan *Bottom Ash* di PLTU Industri Pupuk

Marwan Asof¹, Susila Arita^{2*}, Mukiat³, Luthfia⁴, Winny Andalia⁵

^{1,3,4}Dept of Mining Engineering, Fac. of Engineering, Universitas Sriwijaya, Palembang 30662, Indonesia

²Dept of Chemical Engineering, Fac. of Engineering, Universitas Sriwijaya, Palembang 30662, Indonesia

⁵Dept of Industrial Engineering, Fac. of Engineering, Universitas Tridinanti, Palembang 30129, Indonesia

*Email: susilaarita@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Batubara adalah suatu bahan bakar fosil yang berkomposisi maseral tertentu. Di Indonesia, batubara banyak digunakan sebagai bahan bakar pada boiler, salah satunya ialah pembakaran pada boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Indonesia masih didominasi menggunakan bahan bakar batubara pada boilemya. Dari pembakaran ini, akan menyisakan limbah padat berupa abu batubara yaitu *fly ash* dan *bottom ash*. Semakin tinggi kebutuhan listrik di Indonesia akan membuat kebutuhan batubara semakin tinggi, sehingga limbah *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan akan semakin banyak. *Fly ash* dan *bottom ash* digolongkan dalam limbah B3. Pengujian menggunakan instrument analisa X-Ray Fluorescence (XRF) akan diketahui unsur-unsur dan oksida pembawa logam berat yang terkandung dalam limbah *fly ash* dan *bottom ash*. Unsur-unsur tersebut antara lain magnesium (Mg), aluminium (Al), silika (Si), posfor (P), sulfur (S), kalium (K), kalsium (Ca), titanium (Ti), vanadium (V), kromium (Cr), mangan (Mn), besi (Fe), kobal (Co), nikel (Ni), tembaga (Cu), seng (Zn), galium (Ga), arsen (As), rubidium (Rb) stronsium (Sr), itrium (Y), zirkon (Zr), argentum (Ag), europium (Eu), timbal (Pb) dalam konsentrasi yang berbeda-beda antara kandungan *fly ash* dan *bottom ash*. Beberapa oksida dominan pembawa logam berat yang terdeteksi seperti Fe₂O₃ sebesar 3,658% pada *fly ash* dan sebesar 2,237% pada *bottom ash*; Ag₂O pada sampel *fly ash* kandungannya sebanyak 0,143% dan pada *bottom ash* sebanyak 0,01%; MnO sebesar 0,036% pada *fly ash* dan sebanyak 0,015% pada *bottom ash* serta oksida ZnO dengan kadar sebesar 0,016% pada *fly ash* dan 0,019% pada *bottom ash*.

Kata Kunci: *Bottom Ash*, *Fly Ash*, logam berat, X-Ray Fluorescence (XRF)

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki kekayaan sumber daya alam yang cukup besar. Sumber daya alam Indonesia sangat beragam, khususnya di sektor pertambangan dan energi. Kekayaan ini meliputi sumber daya minyak bumi, batubara, mineral, dan lain-lain. Salah satu sumber daya unggulan yang terdapat di Indonesia adalah batubara. Di Indonesia, batubara merupakan salah satu sumber daya yang digunakan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Saat ini, terdapat puluhan Pembangkit Listrik Tenaga Uap yang beroperasi di Indonesia, dan bahan bakar yang digunakan sebagian besar ialah batubara. Tentu saja hal ini akan menghasilkan jutaan ton limbah padat setiap tahunnya dari pembakaran batubara tersebut. Limbah padat dari hasil

pembakaran batubara yaitu berupa *fly ash* (abu terbang) dan *bottom ash* (abu dasar).

Di Indonesia, produksi limbah abu dasar dan abu terbang dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan baku untuk proses pembakaran industri (Harijono, 2006). Pembakaran batubara di PLTU dan cerobong-cerobong asap pabrik industri menghasilkan sisa pembakaran berupa limbah padat abu dasar 25% (*bottom ash*) dan abu terbang 75% (*fly ash*) (Goodarzi, 2008). Abu terbang merupakan partikel abu yang terbawa gas buang, sedangkan abu dasar adalah abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku. Jika tidak diolah lebih lanjut, maka abu batubara dapat menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan.

Received _____, Revised _____, Accepted for publication _____

7 Abu terbang atau *fly ash* batubara umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Abu batubara dalam jumlah besar disimpan dalam bentuk timbunan atau endapan, yang kontaminasinya diperkirakan menimbulkan ancaman serius terhadap lingkungan sebagai sumber utama pencemaran anorganik. Perilaku banyak polutan logam dan pelepasan logam seperti itu selama penyimpanan dapat memiliki efek merusak terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Damayanti, 2018).

Dengan pertimbangan itu maka perlu dilakukan penelitian dalam mengidentifikasi karakteristik unsur limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* hasil pembakaran batubara pada boiler yang dihasilkan oleh PLTU untuk dapat memberikan informasi mengenai potensi pembentukan limbah dan logam berat sehingga dapat ditangani dengan efektif dan efisien.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan memerlukan langkah-langkah sebagai berikut: pendekatan penelitian, bahan dan peralatan, jenis dan sumber data, teknik pengambilan sampel, prosedur pengambilan sampel *fly ash* dan *bottom ash*, metode pengolahan dan analisis data karakteristik unsur sampel *fly ash* dan *bottom ash* yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

2.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Pendekatan kuantitatif membuat variabel penelitian harus dapat diukur sebagai data primer. Pendekatan kuantitatif menggunakan data primer diperoleh dari hasil pengujian sampel terhadap karakteristiknya.

2.2 Bahan dan Alat

A. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah padat hasil pembakaran batubara yaitu *fly ash* dan *bottom ash* berasal dari silo dan tungku boiler PLTU PT. Pupuk Sriwidjaja.

B. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ialah sebagai berikut :

- Plastik perekat atau *plastic zipper*
- Wadah plastik
- Spatula
- Cawan porselen
- Neraca
- Microwave*
- X-Ray Flourescence*
- Kertas Label

2.3 Jenis dan Sumber Data

Jenis dan Sumber Data pada penelitian ini meliputi data sekunder dan data primer yang melalui prosedur berikut:

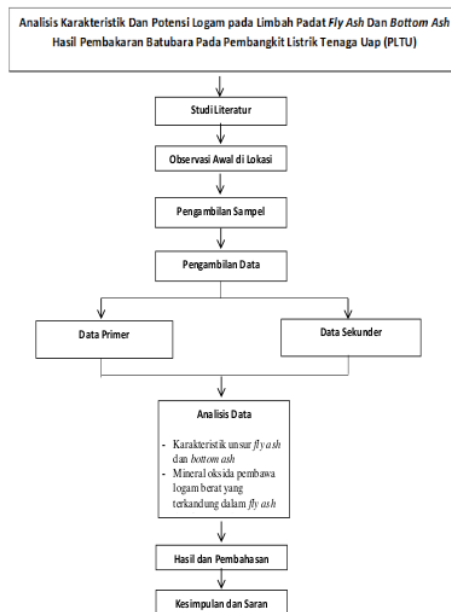
- Data sekunder adalah data yang diperoleh dari perusahaan atau instansi berupa hasil uji analisis XRF di laboratorium.
- Data Primer adalah data kadar air pada *fly ash* dan *bottom ash* yang diperoleh melalui pemanasan sampel *fly ash* dan *bottom ash* dalam *microwave*.

2.4 Metode Pengolahan dan Analisis Data

- Data primer berupa data kadar air yang terandung dalam sampel *fly ash* dan *bottom ash* yang diperoleh melalui pemanasan, kemudian diolah dan dihitung menggunakan *microsoft excel* dengan menggunakan matematika sederhana.
- Untuk mengenai karakteristik unsur dan oksida logam pada limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* di uji dan di analisis menggunakan instrument *X-Ray Flourescence (XRF)*.

2.5 Bagan Alir Penelitian

Tahapan penelitian yang dimulai dengan mencari studi literatur, pengambilan sampel, pengambilan data primer dan data sekunder, analisis data yang telah didapat, hingga didapatkan kesimpulan mengenai karakteristik dan potensi oksida pembawa logam berat dalam *fly ash* dan *bottom ash*. Tahapan pelaksanaan penelitian yang dilakukan beserta dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1. Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Unsur Fly Ash dan Bottom Ash

Teknik analisa yang digunakan untuk mengetahui karakteristik unsur yang terdapat dalam

limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* ini ialah menggunakan instrumen kimia analisa X-Ray Fluorescence (XRF) PANalytical Epsilon 3.

Tabel 3.1. Hasil Analisis Unsur Pada Fly Ash dan Bottom Ash

Element	Fly Ash (%)	Bottom Ash (%)
Mg	1,639	1,323
Al	27,700	26,879
Si	51,093	60,361
P	1,550	1,305
S	2,404	0,031
K	1,556	1,921
Ca	4,797	2,266
Ti	1,285	1,115
V	0,025	0,017
Cr	0,009	0,008
Mn	0,076	0,033
Fe	7,081	4,475
Co	0,036	0,023
Ni	0,010	0,003
Cu	0,008	0,005
Zn	0,039	0,046
Ga	0,007	0,008
As	0,006	0,001
Rb	0,002	0,014
Sr	0,006	0,000
Y	0,013	0,007
Zr	0,087	0,069
Ag	0,327	0,018
Eu	0,003	0,018
Pb	0,010	0,009

Tabel 3.1. di atas merupakan hasil dari unsur-unsur yang terkandung dalam *fly ash* dan *bottom ash*. Hasil analisis menggunakan instrumen XRF ialah berupa hasil analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif ini berupa unsur-unsur yang terkandung dalam *fly ash* dan *bottom ash* sedangkan analisis kuantitatif yaitu mengidentifikasi jumlah unsur yang terkandung di dalam sampel berupa konsentrasi unsur dalam persen (%).

Berdasarkan Tabel 3.1, pada sampel *fly ash* dan *bottom ash* teridentifikasi unsur-unsur berupa unsur mayor dan unsur minor. Unsur-unsur tersebut antara lain magnesium (Mg), aluminium (Al), silika (Si), posfor (P), sulfur (S), kalium (K), kalsium (Ca), titanium (Ti), vanadium (V), kromium (Cr), mangan (Mn), besi (Fe), kobalt (Co), nikel (Ni), tembaga (Cu), seng (Zn), gallium (Ga), arsen (As), rubidium (Rb), stronsium (Sr), itrium (Y), zirkonium (Zr), perak (Ag), europium (Eu), plumbum (Pb) dalam konsentrasi yang berbeda-beda antara kandungan *fly ash* dan *bottom ash*.

Konsentrasi unsur-unsur yang terkandung di setiap abu batubara bervariasi tergantung pada jenis batubara yang digunakan untuk bahan bakar. Pada limbah abu terbang terdapat kelimpahan unsur

mayor dengan urutan Si > Al > Fe > Ca > S > Mg > K > P > Ti > Ag > Zr > Mn > Zn > Co > V > Y > Ni > Pb > Cr > Cu > Ga > Br > As > Sr > Eu. Sedangkan dalam unsur dasar terdapat kelimpahan unsur dengan urutan Si > Al > Fe > Ca > K > Mg > P > Ti > Zr > Sr > Zn > Mn > S > Co > Ag > Eu > V > Rb > Pb > Cr > Ga > Y > Cu > Ni > As. Unsur dominan dengan konsentrasi besar yang teridentifikasi dalam *fly ash* dan *bottom ash* ialah silika (Si), aluminium (Al), besi (Fe), dan kalsium (Ca). Sedangkan unsur dengan konsentrasi terendah yang terkandung dalam *fly ash* ialah rubidium (Rb) dan pada *bottom ash* ialah arsen (As).

Seperti yang tertera pada Tabel 3.1, silika memiliki konsentrasi tertinggi dalam *fly ash* dan *bottom ash*. Pemanfaatan silika atau pasir kuarsa ini digunakan dalam industri semen, gelas, keramik dan lain-lain. Dan dapat diperkirakan bahwa kebutuhan akan pasir kuarsa akan terus meningkat sesuai dengan pertumbuhan industri-industri di masa depan. Apabila silika (Si) dibiarkan begitu saja maka akan menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan sekitar. Dimana dalam jangka lama, seorang terpapar debu silika dapat menderita silicosis (napas

pendek, demam, dan *cyanosis* atau kulit yang berwarna kebiruan) (Yunita, 2017).

Surplus aluminium (Al) mengakibatkan pengurangan atau hilangnya memori, mengurangi aktivitas enzim yang terakumulasi di dalam plasma darah penyebab anemia, merusak jaringan pernapasan di paru-paru dan menimbulkan efek beracun kronis pada ginjal. Konsentrasi kalsium (Ca) yang tinggi akan menyebabkan pengapuran pembuluh darah, penyakit jantung dan urat darah (cardiovascular), penyakit jantung ischemic dan stroke, tekanan darah tinggi, asam perut rendah, sakit otot/tulang sendi, depresi, kelelahan, glaucoma, osteoporosis, osteoarthritis, terjadi pegerasan kapur, kulit kering, sembelit (konstipasi), peningkatan resiko terhadap ginjal (hypercalcaemia), sehingga terjadi radang air kencing. Toksisitas Fe ditandai sakit perut, diare atau muntah yang berwarna kecocoklatan atau warna darah (Wiyono, 2018).

Abu batubara ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembenah lahan (*soil conditioner*) dengan pertimbangan bahwa secara kimia abu batubara mengandung unsur-unsur makro seperti Fe, Ca, Al, Si, K dan Mg dengan persentase tinggi, dan mengandung unsur-unsur mikro seperti Zn, Mn dan Cu dalam jumlah sedang, serta sejumlah kecil unsur C dan N yang terdapat dalam bentuk silikat, oksida, sulfat dan karbonat. Selain itu, abu batubara dapat menaikkan pH air asam tambang (AAT) dan mengabsorb logam-logam berat seperti Pb, Cu, Zn, Ni, Cr, Co yang terdapat dalam limbah aat (Damayanti, 2018). Namun demikian pada pemanfaatan ini masih perlu kajian secara detail terkait keekonomian mengingat untuk bahan penetral dan pengabsorb, kebutuhan abu diperkirakan akan cukup besar yakni mencapai 10% abu batubara per liter limbah.

Kandungan logam berat yang pe⁴1 mendapatkan perhatian dari abu batubara yaitu As (4,4-20 ppm), Cr (26-43 ppm), Cu (30,7-42,6 ppm), Pb (22,2-29,3 ppm), Zn (77,5-128 ppm), Ni (10,6-24,8 ppm) dan Mn (144-396 ppm) (Firman, 2020)6.

3.2 Komposisi Oksida dalam Fly Ash dan Bottom Ash

Mineral yang teridentifikasi dari abu terbang dan abu dasar ialah berupa mineral oksida. Hal ini karena pada proses pembakaran batubara merupakan proses oksidasi yang menghasilkan panas. Kandungan oksida dominan dari sampel abu batubara, baik *fly ash* maupun *bottom ash* seperti diperlihatkan pada tabel 3.2.

Uji XRF ini bertujuan untuk mengetahui kandungan oksida dominan pembawa logam berat. Dari tabel 3.2 terdapat beberapa oksida dominan pembawa logam berat, seperti Fe₂O₃ sebesar 3,658%

pada *fly ash* dan 2,237% pada *bottom ash*; Ag₂O pada sampel *fly ash* kandungannya sebanyak 0,143% dan pada *bottom ash* sebanyak 0,01%; MnO sebesar 0,036% pada *fly ash* dan sebanyak 0,015% pada *bottom ash* serta oksida ZnO dengan kadar sebesar 0,016% pada *fly ash* dan 0,019% pada *bottom ash*.

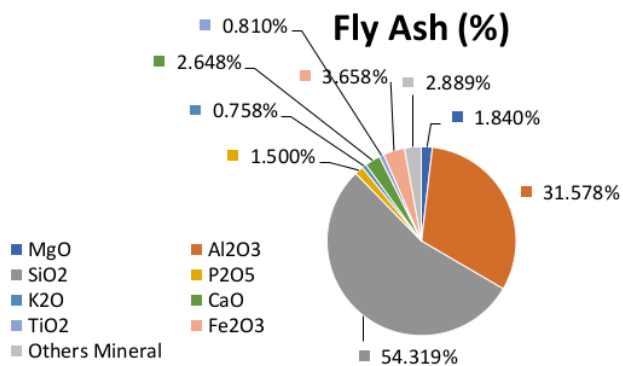
Oksida pembawa logam berat yang lain juga terdeteksi dengan uji XRF, tetapi dalam konsentrasi kurang dari 0,01%. Oksida tersebut diantaranya yaitu krom (Cr), tembaga (Cu), nikel (Ni), arsen (Ar) dan timbal (Pb). Kadar oksida Cr₂O₃ sebesar 0,005% pada *fly ash* dan sebesar 0,004% pada *bottom ash*, sedangkan kadar oksida CuO pada *fly ash* sebesar 0,004% dan pada *bottom ash* sebesar 0,002%. Untuk oksida NiO yang terkandung pada *fly ash* sebesar 0,004% dan pada *bottom ash* sebesar 0,001%; oksida PbO terkandung dalam *fly ash* sebesar 0,004% dan pada *bottom ash* sebesar 0,003%. Oksida pembawa logam arsen (As) yaitu As₂O₃ sebesar 0,003% pada *fly ash* sedangkan pada *bottom ash* tidak terdeteksi. Selain arsen (As) terdapat oksida pembawa logam berat yang lain belum terdeteksi dengan uji XRF, diantaranya oksida yang membawa logam air raksa (Hg), kadmium (Cd), dan timah (Sn). Logam berat tersebut boleh jadi ada dalam sampel tetapi kandungannya kecil sehingga tidak terdeteksi dengan uji XRF.

Meningkatnya kadar *fly ash* dapat mengurangi kebutuhan air, hal ini dikarenakan oleh bentuk partikel *fly ash* yang bulat dan memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga mengurangi void (Naganathan et al., 2015).

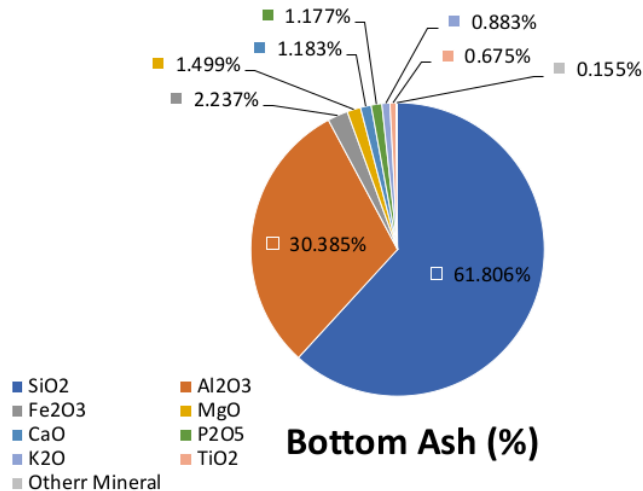
Tabel 3.2 ini juga selaras dengan penelitian Tiwari (2014) yaitu abu pembakaran batubara terdiri dari silikon dioksida (SiO₂), besi (III) oksida (Fe₂O₃), alkali tanah dan logam oksida (CaO, Al₂O₃, MgO, dan K₂O). Unsur Si, Al, Fe, Ca, Mg, dan K mungkin diubah menjadi oksida yang lebih stabil untuk menghitung jumlah total penyusun *fly ash* dan *bottom ash*. Persentase pembagian daerah dari silika dioksida (SiO₂), besi (III) oksida (Fe₂O₃), alkali tanah dan logam oksida (CaO, Al₂O₃, MgO, dan 18 D) untuk *fly ash* dan *bottom ash* digambarkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.

Tabel 3.2. Komposisi Oksida Penyusun Fly Ash dan Bottom Ash

Mineral Oksida	Fly Ash (%)	Bottom Ash (%)
MgO	1,840	1,499
Al ₂ O ₃	31,579	30,385
SiO ₂	54,320	61,806
P ₂ O ₅	1,500	1,177
SO ₃	2,498	0,000
K ₂ O	0,758	0,883
CaO	2,648	1,183
TiO ₂	0,810	0,675
V ₂ O ₅	0,016	0,011
Cr ₂ O ₃	0,005	0,004
MnO	0,036	0,015
Fe ₂ O ₃	3,658	2,237
Co ₃ O ₄	0,017	0,011
NiO	0,004	0,001
CuO	0,004	0,002
ZnO	0,016	0,019
Ga ₂ O ₃	0,003	0,004
As ₂ O ₃	0,003	0,000
Rb ₂ O ₂	0,004	0,005
SrO	0,076	0,020
Y ₂ O ₃	0,005	0,003
ZrO ₂	0,039	0,031
Ag ₂ O	0,143	0,010
Eu ₂ O ₃	0,002	0,003
PbO	0,004	0,003



Gambar 3.1. Persentase komposisi mineral pada fly ash. (others mineral ialah mineral yang terkandung dalam fly ash dengan konsentrasi kecil seperti NiO, PbO, dan lain.lain)



Gambar 3.2. Persentase komposisi mineral pada *bottom ash*. (*others mineral* ialah mineral yang terkandung dalam *fly ash* dengan konsentrasi kecil seperti NiO, PbO, dan lain-lain)

Dari Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 terlihat bahwa oksida dengan konsentrasi tertinggi ialah SiO₂ yaitu sebesar 54,320% pada *fly ash* dan 61,806% pada *bottom ash*. Kemudian disusul dengan oksida Al₂O₃ sebesar 31,579% pada *fly ash* dan 30,385% pada *bottom ash*. Selanjutnya ialah besi (III) oksida (Fe₂O₃) sebesar 3,658% pada *fly ash* dan 2,237% pada *bottom ash*. Adapun Hal ini berbeda dari penelitian sebelumnya oleh Utami (2018) 9 yang melaporkan bahwa unsur terbanyak pada *fly ash* ialah besi. Perbedaan komposisi abu ini disebabkan karena perbedaan jenis batubara yang digunakan saat proses pembakaran.

Jenis *fly ash* bisa ditentukan berdasarkan kandungan Fe₂O₃, CaO, dan MgO nya. Pengklasifikasian ini ialah ke dalam kelas bituminus atau lignit. Apabila konsentrasi Fe₂O₃ lebih besar dari konsentrasi MgO dan CaO, maka *fly ash* tersebut digolongkan dari kelas bituminous, sedangkan apabila konsentrasi Fe₂O₃ lebih kecil dari MgO dan CaO maka *fly ash* itu digolongkan ke dalam kelas lignit (Utami, 2018). Pada penelitian ini, konsentrasi Fe₂O₃ sebesar 3,658%, sedangkan konsentrasi MgO sebesar 1,840% dan konsentrasi CaO sebesar 2,648%. Sehingga dapat dikatakan bahwa *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini ialah dari kelas bituminous dikarenakan konsentrasi Fe₂O₃ lebih besar dari konsentrasi MgO dan CaO. Dengan komposisi kandungan SiO₂, Al₂O₃, CaO, dan MgO pada hasil uji *fly ash*, maka berdasarkan

ASTM C618-92a batubara yang digunakan pada proses pembakaran di boiler ialah menggunakan batubara bituminus.

Selain mengetahui kandungan oksida dominan, XRF juga digunakan untuk mengetahui kelas batubara berdasarkan ASTM-C-618, dimana *fly ash* dan *bottom ash* pada penelitian ini ialah abu batubara kelas F. Kandungan SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ minimalnya 70% sedangkan sampel *fly ash* dan *bottom ash* jauh di atasnya, yaitu 89,56% dan 94,43%. Kandungan SO₃ maksimal 5% (kelas F) sedangkan pada *fly ash* hanya 2,498% dan pada *bottom ash* tidak terdeteksi. Kadar air sampel *fly ash* 0,08% dan *bottom ash* hanya 2,93% sedangkan untuk kelas F maksimal 3% sehingga masih memenuhi.

Dengan kondisi ini, abu dari hasil pembakaran batubara ini bisa dimanfaatkan sebagai pembuatan produk beton siap pakai (*readymix*), *paving block*, batako, *conblock*, bata ringan, produk *precast* yaitu pemecah ombak, *canstin*, dan produk *precast* sejenis lainnya, produk lain untuk infrastruktur sipil. Bottom ash adalah material yang cocok sebagai bahan pengganti sebagian pasir dalam campuran beton. Penggunaan 100% bottom ash dapat diterapkan pada beton dimana kecacakan bisa diabaikan, misalnya pada pembuatan paving (Singh & Siddique, 2015). Hal ini karena total oksida untuk SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ + CaO telah mencukupi kriteria peraturan yaitu lebih dari 50%. Berdasarkan konsentrasi komposisi oksida yang dihasilkan, *fly*

ash dan *bottom ash* hasil pembakaran ini dapat digunakan sebagai substitusi bahan baku (AM) di *raw mill* dan di *finish mill*. Tentu saja harus dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai mutu produk agar sesuai dengan standar nasional yang berlaku ataupun standar industri.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa oksida dominan pembawa logam berat yang terdeteksi seperti Fe₂O₃ sebesar 3,658% pada *fly ash* dan sebesar 2,237% pada *bottom ash*; Ag₂O pada sampel *fly ash* kandungannya sebanyak 0,143% dan pada *bottom ash* sebanyak 0,01%; MnO sebesar 0,036% pada *fly ash* dan sebanyak 0,015% pada *bottom ash* serta oksida ZnO dengan kadar sebesar 0,016% pada *fly ash* dan 0,019% pada *bottom ash*.

DAFTAR PUSTAKA

- Harijono, D. Fly ash dan Pemanfaatannya. Seminar Nasional Batubara. Yogyakarta: Universitas GajahMada.2006<https://doi.org/10.36706/jtk.v26i2.538>
- Goodarzi, F., Huggins, F.E., Sanei, H., 2008. Assessment of elements, speciation of As, Cr, Ni and emitted Hg for a Canadian power plants burning bituminous coal. *International Journal of coal Geology* 74, 1–12
<https://doi.org/10.36706/jtk.v26i1.439>
- Damayanti, R. (2018). Abu batubara dan pemanfaatannya: Tinjauan teknis karakteristik secara kimia dan toksikologinya. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 14(3), 213-231.
- Yunita, E. (2017). *Analisis Potensi dan Karakteristik Limbah Padat Fly Ash dan Bottom Ash Hasil dari Pembakaran Batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Semen Tonasa* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar).
- Muji, W., & Wahyudi, W. (2018). Analisis Unsur dalam Fly Ash dari Industri PLTU Batubara dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2), 221-226.
- Firman., Rizhan, M., Sahidi, A.A. 2020. Analisis Kandungan Logam Berat Abu Batubara PLTU Bangko Barat Kab. Muara Enim Sumatera Selatan. *Jurnal Of Science And Engineering V3:01* (2020)10-16.
- Naganathan, S., Mohamed, A. Y. O., & Mustapha, K. N. (2015). Performance of Bricks Made Using Fly Ash and Bottom Ash. *Construction and Building Materials*, 96, 576–580.[doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuil.2015.08.068](http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuil.2015.08.068)
- Tiwari, M. Et Al. 2014. Elemental Characterization Of Coal, fly Ash, And Bottom Ash Using An Energy Dispersive X-Ray fluorescence Technique. *Applied Radiation And Isotopes* 90 (2014) 53–57.
- Utami, S.W. 2018. Karakteristik Kimiawi Fly Ash Batu Bara dan Potensi Pemanfaatannya sebagai Bahan Pupuk Organik. *Jurnal Agrotek Volume 12, No. 2*. Politeknik Negeri Cilacap.
- Singh, M., & Siddique, R. (2015). Properties of Concrete Containing High Volumes of Coal Bottom Ash as Fine Aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 91, 269–278. [doi:10.1016/j.jclepro.2014.12.026](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.026)

Analisis Karakteristik Dan Potensi Logam Pada Limbah Padat Fly Ash dan Bottom Ash di PLTU Industri Pupuk

ORIGINALITY REPORT

18%

SIMILARITY INDEX

15%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	www.jergym.hiedu.cz Internet Source	2%
2	media.neliti.com Internet Source	1%
3	Submitted to Universitas Brawijaya Student Paper	1%
4	garuda.kemdikbud.go.id Internet Source	1%
5	juke.kedokteran.unila.ac.id Internet Source	1%
6	Submitted to Universitas Sumatera Utara Student Paper	1%
7	sismibeltris.wordpress.com Internet Source	1%
8	repository.uai.ac.id Internet Source	1%
9	Tiwari, M., S.K. Sahu, R.C. Bhangare, P.Y. Ajmal, and G.G. Pandit. "Elemental	1%

characterization of coal, fly ash, and bottom ash using an energy dispersive X-ray fluorescence technique", Applied Radiation and Isotopes, 2014.

Publication

10

jurnal.poliupg.ac.id

Internet Source

1 %

11

jurnalrekayasa.bunghatta.ac.id

Internet Source

1 %

12

hdl.handle.net

Internet Source

1 %

13

ejournal.ft.unsri.ac.id

Internet Source

1 %

14

siepub.unsri.dev

Internet Source

1 %

15

tekniksipilunibos.ac.id

Internet Source

1 %

16

b-r-s.in

Internet Source

1 %

17

D A A Besari, F Anggara, H T B M Petrus, W. Astuti, W.A. Husnah. "Effect of power plant operating conditions on fly ash and bottom ash composition: a case study from power plant in Lampung", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021

Publication

1 %

18 physicsokta68.blogspot.com 1 %
Internet Source

19 www.prame.be 1 %
Internet Source

20 docplayer.info 1 %
Internet Source

21 jdih.ntbprov.go.id 1 %
Internet Source

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On