

Analisis Karakteristik, Potensi dan Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* PLTU Industri Pupuk

Analysis of Characteristics, Potential and Utilization of Fly Ash and Bottom Ash PLTU Fertilizer Industry

M. Asof^{1*}, S. Arita², Mukiat¹, Luthfia¹, W. Andalia³, M. Naswir⁴

¹Teknik Pertambangan Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang 30662, Indonesia

²Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang 30662, Indonesia

³Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti, Palembang 30129, Indonesia

⁴Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jambi, Indonesia

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

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di Indonesia masih didominasi menggunakan bahan bakar batubara pada boilernya. 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 bahan berbahaya dan beracun (B3). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik unsur dan potensi logam berat yang terkandung dalam limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* hasil pembakaran batubara pada boiler yang dihasilkan oleh PLTU industri pupuk. Uji analisa sampel dilakukan menggunakan instrument analisa *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui unsur-unsur dan oksida pembawa logam berat yang terkandung dalam limbah *fly ash* dan *bottom ash*. Hasil analisa menunjukkan bahwa unsur-unsur dominan dalam *fly ash* dan *bottom ash* adalah Silika (Si), Aluminium (Al), Besi (Fe), Kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg) dalam konsentrasi yang berbeda-beda antara kandungan *fly ash* dan *bottom ash*, sedangkan beberapa oksida dominan pembawa logam berat yang terdeteksi seperti Fe_2O_3 sebesar 3,658% pada *fly ash* dan sebesar 2,237% pada *bottom ash*; Ag_2O 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*. Hasil penelitian ini sangat bermanfaat untuk mengetahui kandungan emisi gas buang dari *fly ash* dan *bottom ash* yang terlepas ke udara.

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

Abstract

Steam Power Plants (PLTU) in Indonesia are still dominated by using coal as fuel in their boilers. The higher the electricity demand in Indonesia, the higher the demand for coal, so that more fly ash and bottom ash will be produced. Fly ash and bottom ash are classified as hazardous and toxic waste (B3). This study aims to analyze the elements and potential weight contained in fly ash and bottom ash solid waste from coal combustion in boilers produced by PLTU fertilizer industry. Sample analysis test was carried out using X-Ray Fluorescence (XRF) instrument analysis to determine the elements and heavy metal carrier oxides contained in fly ash and bottom ash waste. The results of the analysis show that the dominant elements in fly ash and bottom ash were Silica (Si), Aluminum (Al), Iron (Fe), Calcium (Ca) and Magnesium (Mg) in different concentrations between fly ash content and bottom ash, while some of the dominant oxides detected as heavy metal carriers such as Fe_2O_3 were 3.658% in fly ash and 2.237% in bottom ash; Ag_2O in fly ash samples contained as much as 0.143% and in bottom ash as much as 0.01%; MnO of 0.036% in fly ash and 0.015% in bottom ash and ZnO oxide with levels of 0.016% in fly ash and 0.019% in bottom ash. The results of this study are very useful to determine the content of exhaust gases from fly ash and bottom ash that are released into the air.

Kata Kunci: *Bottom Ash*, *Fly Ash*, Heavy Metals, *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 sejumlah PLTU yang beroperasi di Indonesia, dan bahan bakar yang digunakan sebagian besar ialah batubara. Abu batubara itu sendiri merupakan sisa dari proses pembakaran batubara, dimana abu batubara yang melayang di udara dikategorikan sebagai *fly ash* dan abu batubara di bagian bawah tungku dikategorikan sebagai abu dasar atau *bottom ash* dengan jumlah yang dihasilkan tergantung pada kualitas batubara (Kumar, dkk., 2014).

Fly ash dan bottom ash telah menjadi salah satu masalah di perusahaan energi, karena produksinya melimpah sedangkan pemanfaatannya dan pengolahannya belum maksimal. Permintaan batubara yang terus meningkat setiap tahunnya mengakibatkan produksi limbah abu menjadi tidak terkendali (Putri, dkk., 2021). Peningkatan limbah padat tersebut sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan baku untuk proses pembakaran di industri (Harijono, 2006). Pembakaran batubara di PLTU dan cerobong-cerobong asap pabrik industri menghasilkan sisa pembakaran berupa limbah padat abu dasar 25% dan abu terbang 75% (Goodarzi, dkk., 2008). Menurut Haspiadi, dkk. (2021) pembakaran batubara menghasilkan limbah padat fly ash yang mengandung 39,70% karbon (C) dan 46,99% silika dioksida (SiO₂) dan berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan penyerap. 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.

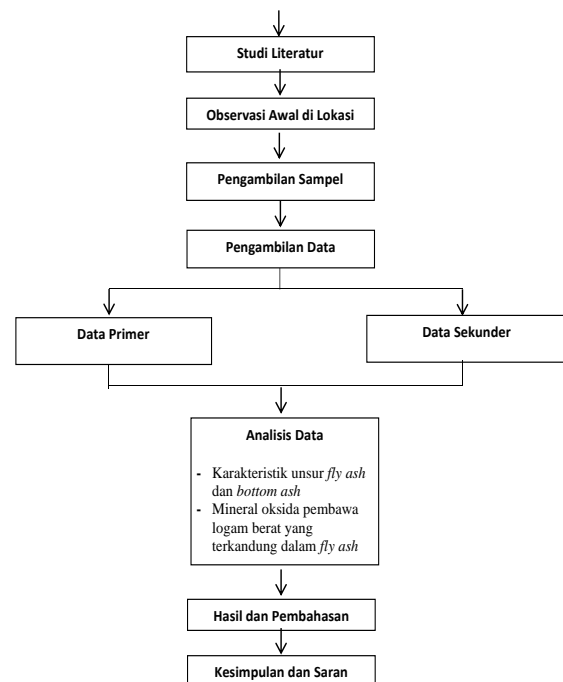
Fly ash batubara umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Abu batubara dalam jumlah besar disimpan dalam bentuk timbunan atau endapan, yang kontaminasinya diperkirakan menimbulkan ancaman serius terhadap lingkungan sebagai sumber utama pencemaran anorganik. Perilaku banyak polutan logam dan pelepasan logam seperti itu selama penyimpanan dapat memiliki efek merusak terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Damayanti, 2018). Menurut Winarno, dkk. (2019) *fly ash* dan *bottom ash* dapat dijadikan bahan campuran dalam pembuatan *paving block* sebagai bahan substitusi agregat pengganti pasir. Adapun

campuran maksimum yang didapatkan pada penelitiannya yaitu 1:2:2 untuk semen, *fly ash* dan *bottom ash*.

Pembangkit listrik tenaga uap ada pada setiap industri yang membutuhkan uap air (*steam*) dan energi listrik untuk kebutuhan industri. Setiap PLTU membutuhkan bahan bakar, Sebagian besar menggunakan batubara karena nilai kalornya lebih tinggi dibandingkan dengan bahan baku yang lain. Kandungan unsur dan logam berat dalam *fly ash* dan *bottom ash* sangat tergantung dengan jenis batubara yang digunakan, jenis boiler, suhu dan tekanan yang digunakan dalam proses pembakaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik unsur dan potensi logam berat yang terkandung dalam limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* hasil pembakaran batubara pada boiler yang dihasilkan oleh PLTU industri pupuk untuk dapat memberikan informasi mengenai kandungan unsur dan logam berat dalam *fly ash* dan *bottom ash* sehingga *fly ash* dan *bottom ash* dapat di manfaatkan dan di kelola dengan efektif dan efisien.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang diterapkan adalah dengan pendekatan kuantitatif dimana variabel penelitian dapat diukur sebagai data primer. Pendekatan kuantitatif menggunakan data primer diperoleh dari hasil pengujian sampel terhadap karakteristiknya. Tahapan pelaksanaan penelitian yang dilakukan merujuk pada Gambar 1 dibawah ini :



Gambar 1. Bagan alir penelitian

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 Industri pupuk.

Sumber data sekunder adalah data yang diperoleh dari perusahaan, berupa data *proximate* dan *ultimate* analisis batubara yang digunakan dalam boiler PLTU, sedangkan data primer adalah data hasil uji analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang memberikan data komposisi setiap unsur dan logam berat yang terkandung dalam *fly ash* dan *bottom ash*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa *Proximate* dan *Ultimate* Batubara

Karakteristik batubara yang digunakan dalam boiler PLTU telah diketahui dari analisis *proximate* dan *ultimate* pada Tabel 1. Dengan analisa *proximate* diketahui kandungan air (*moisture content*) 28% wt, kandungan abu 6%, *volatile matter* 35%, kandungan sulfur 1%, *fixed carbon* 31% dan nilai kalor batubara yang digunakan adalah 5000 Kkal/kg. Dari analisa *ultimate* diketahui kandungan oksida logam tertinggi dalam batubara yang digunakan adalah silika oksida 49,12%, alumina 20% dan ferri oksida 6,39%.

Tabel 1. Analisa *proximate* dan *ultimate* batubara

Parameter	Unit	Value	
		As Received Basis (Arb)	Air Dried Basis (Adb)
<i>Proximate Analysis</i>			
Total	% wt	28,00	
Moisture Inherent	% wt		12,00
Moisture Ash	% wt	6,00	
Content			
Volatile	% wt	35,00	
Matter			
Fixed	% wt	31,00	
Carbon			
Total	% wt	1,00	
Sulfur			
Gross			
Caloric	Kcal/kg	5,000	6.111
Value			
Hardgro	Point		min. 55
ve	Index		
Grindabi			
lity			
Index			
<i>Ultimate Analysis</i>			
Nitrogen	% wt		0,80
Hidrogen	% wt		4,45
Carbon	% wt		60,63
Oxygen	% wt		13,56

Ash Fusion Temperature (*Reducing / Oxidizing*)

<i>Deformat ion</i>	°C	1323 Approx
<i>Spherical</i>	°C	1379 Approx
<i>Hemisph erical</i>	°C	1381 Approx
<i>Flow</i>	°C	1398 Approx
<i>In ash</i>		
<i>Analysis</i>		
(SiO ₂)	%	49,12 Ap
(Al ₂ O ₃)	%	20,10 Ap
(Fe ₂ O ₃)	%	6,39 Ap
(CaO)	%	3,84 Ap
(MgO)	%	2,83 Ap
(TiO ₂)	%	0,90 Ap
(K ₂ O)	%	0,38 Ap
(P ₂ O ₅)	%	0,44 Ap
(Na ₂ O)	%	4,64 Ap
(Mn ₃ O ₄)	%	0,06 Ap
(SO ₃)	%	4,24 Ap

3.2. Karakteristik Unsur dan Oksida Logam *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Teknik analisa yang digunakan untuk mengetahui karakteristik unsur dan oksida logam berat yang terdapat dalam limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* adalah dengan menggunakan instrumen kimia *X-Ray Fluorescence* (XRF) PANalytical Epsilon 3, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan unsur pada *fly ash* dan *bottom ash*

Unsur	<i>Fly Ash</i> (%)	<i>Bottom Ash</i> (%)	Mineral Oksida	<i>Fly Ash</i> (%)	<i>Bottom Ash</i> (%)
Mg	1,639	1,323	MgO	1,840	1,499
Al	27,700	26,879	Al ₂ O ₃	31,579	30,385
Si	51,093	60,361	SiO ₂	54,320	61,806
P	1,550	1,305	P ₂ O ₅	1,500	1,177
S	2,404	0,031	SO ₃	2,498	0,000
K	1,556	1,921	K ₂ O	0,758	0,883
Ca	4,797	2,266	CaO	2,648	1,183
Ti	1,285	1,115	TiO ₂	0,810	0,675
V	0,025	0,017	V ₂ O ₅	0,016	0,011
Cr	0,009	0,008	Cr ₂ O ₃	0,005	0,004
Mn	0,076	0,033	MnO	0,036	0,015
Fe	7,081	4,475	Fe ₂ O ₃	3,658	2,237
Co	0,036	0,023	Co ₃ O ₄	0,017	0,011
Ni	0,010	0,003	NiO	0,004	0,001
Cu	0,008	0,005	CuO	0,004	0,002
Zn	0,039	0,046	ZnO	0,016	0,019
Ga	0,007	0,008	Ga ₂ O ₃	0,003	0,004
As	0,006	0,001	As ₂ O ₃	0,003	0,000
Rb	0,002	0,014	Rb ₂ O ₂	0,004	0,005
Sr	0,006	0,000	SrO	0,076	0,020
Y	0,013	0,007	Y ₂ O ₃	0,005	0,003
Zr	0,087	0,069	ZrO ₂	0,039	0,031
Ag	0,327	0,018	Ag ₂ O	0,143	0,010

Eu	0,003	0,018	Eu ₂ O ₃	0,002	0,003
Pb	0,010	0,009	PbO	0,004	0,003

Hasil analisis kualitatif ini berupa unsur-unsur dan oksida logam yang terkandung dalam *fly ash* dan *bottom ash* sedangkan analisis kuantitatif yaitu mengidentifikasi jumlah unsur dan oksida logam yang terkandung di dalam sampel berupa konsentrasi unsur dan oksida logam dalam persen (%).

Berdasarkan Tabel 2, 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) strontium (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 abu dasar terdapat kelimpahan unsur dengan urutan berikut 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). Adapun unsur dengan konsentrasi terendah yang terkandung dalam *fly ash* ialah rubidium (Rb) dan pada *bottom ash* ialah arsen (As).

Seperti yang tertera pada Tabel 1, silika memiliki konsentrasi tertinggi baik dalam *fly ash* maupun dalam *bottom ash*. Pemanfaatan silika atau pasir kuarsa dalam *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) sekarang ini mulai diminati untuk digunakan dalam industri semen, gelas, keramik dan lain-lain. 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 yang terpapar debu silika dapat menderita silicosis (napas pendek, demam, dan *cyanosis* atau kulit yang berwarna kebiruan) (Yunita, 2017).

Surplus aluminium (Al) di atmosfer bila terhirup oleh manusia dapat 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. Sedangkan ketika konsentrasi kalsium (Ca) 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, dan toksisitas Fe pada manusia ditandai sakit perut, diare atau muntah yang berwarna kecoklatan 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.

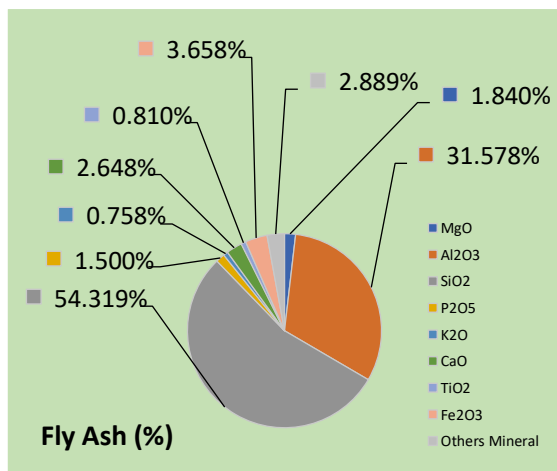
Menurut Lokeshappa dan Dikshit (2012), abu batubara mengandung logam beracun dalam konsentrasi yang jauh lebih tinggi apabila dilepaskan ke lingkungan oleh pembangkit listrik berbahan bakar batubara di Amerika Serikat. Kandungan logam berat yang perlu mendapatkan perhatian dari abu batubara yaitu As (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). Pada penelitian ini hasil analisa dengan XRF membuktikan bahwa *fly ash* dan *bottom ash* dari sampel bahan baku yang diteliti mengandung As 6-1 ppm, Cr 9-8 ppm, Cu 8-5 ppm, Rb 2-14ppm, Sr 6-0 ppm, Zn 39-46 ppm, Ti 1285-1115 ppm, Co 36-23 ppm dan yang paling tinggi adalah Ag 3270-18 ppm. Data pada Tabel 2 adalah data hasil analisa *fly ash* dan *bottom ash*, dimana sebelah kiri utk *fly ash* dan sebelah kanan adalah data *bottom ash*. Besarnya kandungan logam beracun dalam *fly ash* dan *bottom ash* sangat tergantung dengan tingginya suhu pembakaran dan titik leleh masing-masing logam.

Komposisi mineral Oksida dalam *Fly Ash* dan *Bottom Ash* tergantung pada proses oksidasi yang terjadi sebagaimana terdeteksi dari unsur-unsurnya maka mineral oksida dominan adalah 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*.

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 fraction* partikel (Naganathan, dkk., 2015). Menurut (Miod, 2008; Lam, dkk., 2010; Mal'chik, dkk., 2015) proses pembakaran yang belum sempurna akan menyebabkan oksida atau unsur-unsur mayor dalam *bottom ash* diperkirakan lebih kecil dari yang ada dalam *fly ash*. Dalam kajian analisis pada penelitian (Hadijah dan Damayanti, 2006; Kurniawan, dkk., 2014) menjelaskan bahwa abu batubara yang berasal dari *fly ash* maupun *bottom ash* memiliki potensi untuk menurunkan tingkat keasaman tanah pada lahan yang menjadi bekas pertambangan.

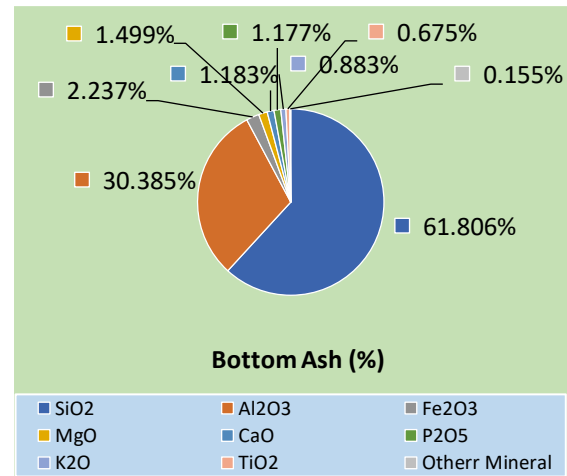
Hasil analisa mineral oksida ini juga selaras dengan penelitian Tiwari, dkk. (2014) yaitu abu pembakaran batubara terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), besi (III) oksida (Fe_2O_3), alkali tanah dan logam oksida (CaO , Al_2O_3 , MgO , dan K_2O). Unsur Si, Al, Fe, Ca, Mg, dan K mungkin diubah menjadi oksida yang lebih stabil untuk menghitung jumlah total penyusun *fly ash* dan *bottom ash*. Persentase pembagian daerah dari silika dioksida (SiO_2), besi (III) oksida (Fe_2O_3), alkali tanah dan logam oksida (CaO , Al_2O_3 , MgO , dan K_2O) untuk *fly ash* dan *bottom ash* digambarkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 2. Komposisi mineral pada *fly ash*.

Dari Gambar 2 dan 3 terlihat bahwa oksida dengan konsentrasi tertinggi ialah SiO_2 yaitu sebesar 54,320% pada *fly ash* dan 61,806% pada *bottom ash*. Kemudian disusul dengan oksida Al_2O_3 sebesar 31,579% pada *fly ash* dan 30,385% pada *bottom ash*. Selanjutnya ialah besi (III) oksida (Fe_2O_3) sebesar 3,658% pada *fly ash* dan 2,237% pada *bottom ash*. Adapun Hasil ini berbeda dari penelitian sebelumnya oleh Utami (2018) yang melaporkan

bahwa unsur terbanyak pada *fly ash* ialah besi. Perbedaan komposisi abu ini disebabkan karena perbedaan jenis batubara yang digunakan saat proses pembakaran.



Gambar 3. Komposisi mineral pada *bottom ash*.

Jenis *fly ash* bisa ditentukan berdasarkan kandungan Fe_2O_3 , CaO , dan MgO nya. Pengklasifikasian ini ialah ke dalam kelas bituminus atau lignit. Apabila konsentrasi Fe_2O_3 lebih besar dari konsentrasi MgO dan CaO , maka *fly ash* tersebut digolongkan dari kelas bituminus, sedangkan apabila konsentrasi Fe_2O_3 lebih kecil dari MgO dan CaO maka *fly ash* itu digolongkan ke dalam kelas lignit (Utami, 2018). Pada penelitian ini, konsentrasi Fe_2O_3 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 bituminus dikarenakan konsentrasi Fe_2O_3 lebih besar dari konsentrasi MgO dan CaO . Dengan komposisi kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , 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 abu batubara berdasarkan ASTM-C-618, dimana *fly ash* dan *bottom ash* pada penelitian ini ialah abu batubara kelas F. Kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ minimalnya 70% sedangkan sampel *fly ash* dan *bottom ash* jauh diatasnya, yaitu 89,56% dan 94,43%. Kandungan SO_3 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, misalnya pada pembuatan paving (Singh dan Siddique, 2015). Hal ini karena total oksida untuk $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$ telah mencukupi kriteria peraturan yaitu lebih dari 50%. Persyaratan abu terbang yang digunakan pada beton harus memenuhi persyaratan kimia dan fisik seperti yang telah diuraikan pada SNI 2460:2014. Persyaratan kimia abu terbang kelas F untuk campuran beton ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Persyaratan kimia abu terbang untuk campuran beton

Uraian	Kelas F
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, min, %	70
SO_3 , maks, %	5
Kadar air, maks, %	3
Hilang pijar, maks, %	6
CaO	<10%

Sumber : binamarga.pu.go.id

maka berdasarkan persentasi komposisi oksida yang dihasilkan, *fly ash* dan *bottom ash* hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai substitusi bahan baku di *raw mill* dan di *finish mill*. Kinerja kolom beton sangat dipengaruhi oleh bahan pengikat serta jenis dan geometri agregat kasar. Sushree, dkk. (2019) telah mencoba mencampur daur ulang agregat kasar dengan *fly ash* sebagai pengganti semen, mereka menjelaskan bahwa beban daya dukung spesimen kolom lebih tinggi sekitar 4-9%.

Di *Greenland* toksisitas logam berat dalam *fly ash* diturunkan dengan metode elektrolisis, setelah itu flyash tersebut dapat dikontribusikan sebagai sumber daya lokal dalam konstruksi sebagai pengganti semen di beton atau tanah liat di batu bata (Gunvor, dkk., 2018). Nagendra, dkk. (2021) mengkaji pencampuran gabungan antara flyash 20%, klinker semen 30 %, partikel slag blasting furnace 15% dengan tanah dispersif yang sangat rentan terhadap erosi menunjukkan hasil kekuatan kompresi tak terbatas. Tes difraksi sinar-X (XRD) mengungkapkan pembentukan partikel terhidrasi memainkan peran penting untuk meningkatkan kekuatan karena reaksi antara tanah dan aditif.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa oksida dominan pembawa logam berat yang terdeteksi seperti Fe_2O_3 sebesar 3,658% pada *fly ash* dan sebesar 2,237% pada *bottom ash*; Ag_2O 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

- Damayanti, R., 2018. Abu batubara dan pemanfaatannya: Tinjauan teknis karakteristik secara kimia dan toksikologinya. *J. teknol. mineral batubara*, 14(3): 213-231.
- 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*, 3(1): 10-16.
<http://dx.doi.org/10.33387/josae.v3i1.2070>
- Goodarzi, F., Huggins, F.E., Sanei, H., 2008. Assessment of elements, speciation of As, Cr, Ni and emitted Hg for Canadian power plants burning bituminous coal. *Int. J. Coal Geol.*, 74, 1–12.
<https://doi.org/10.1016/j.coal.2007.09.002>
- Gunvor M. Kirkelund, Pernille E. J., 2018, Electrolytic treatment of Greenlandic municipal solid waste incineration fly ash, *Waste Manage*, 80: 241–251.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.019>
- Hadijah, N. R. and Damayanti, R., 2006. Penelitian abu batubara sebagai pembenah tanah: pengaruh waktu inkubasi terhadap parameter kualitas tanah (derajat keasaman tanah (pH- H_2O), Mn, Fe, P-total dan Ptersedia), *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 36(14): 9–17.
- Harijono, D, 2006. Fly ash dan Pemanfaatannya. Seminar Nasional Batubara. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
<https://doi.org/10.36706/jtk.v26i2.538-https://doi.org/10.36706/jtk.v26i1.439>
- Haspiadi, H., Fitriani, F., Budiarta, Y., 2021. Pengaruh Aktivasi Kimia terhadap Adsorben Fly Ash Batubara untuk Penyerap Polutan Emisi Gas Buang. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 15(1): 65-74.
<http://dx.doi.org/10.26578/jrti.v15i1.6880>
- Kumar, D., Kumar, N., Gupta, A., 2014. Geotechnical properties of fly ash and bottom ash mixtures in different proportions, *Int. J. Sci. Res.*, 3(9):1487-1494.
- Kurniawan, A. R., Suroño, W. and Alimano, M., 2014. Potensi pemanfaatan limbah pembakaran batubara PLTU sebagai media tanam dalam kegiatan revegetasi lahan bekas tambang batubara, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 10(3): 142–154.
<https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol10.No3.2014.730>
- Lam, C. H. K., Ip, A. W. M., Barford, J. P. and McKay, G., 2010, Use of incineration MSW

- ash: A review, *Sustainability*, 2(7): 1943–1968. <https://doi.org/10.3390/su2071943>
- Lokeshappa B and Dikshit, A. K., 2012. Behaviour of metals in coal fly ash ponds, *APCBEE Procedia*, 1: 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.03.007>.
- Mal'chik, A. G., Litovkin, S. V. and Rodionov, P. V., 2015. Investigation of physicochemical properties of bottom-ash materials for use them as secondary raw materials,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 91. Yurga, Russia: IOP Publishing, 1–7.
- Miod, M. C., 2008. The determination of heavy metals in coal ash. University Malaysia Sarawak.
- 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. <http://dx.doi.org/10.29122/jtl.v19i2.2778>
- 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. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.068>
- Nagendra R., Suresh P.S, Parveen S., 2021, Strength and durability of flyash, GGBS and cement clinker stabilized dispersive soil. *Cold Reg Sci Technol*, 191: 103358. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2021.103358>
- Putri, N. N., Purabaya, S., Roziki, A., Siswanto, N., 2021. Literature Review of Coal Waste Utilization. Proceedings of the 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Singapore, March 7-11, 2021.
- Singh, M., Siddique, R., 2015. Properties of Concrete Containing High Volumes of Coal Bottom Ash as Fine Aggregate. *J. Clean. Prod.*, 91, 269–278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.026>
- Sushree S., Sudhirkumar V. B., 2019, Performance of fly ash incorporated recycled aggregates concrete column under axial compression: Experimental and numerical study, *Eng. Struct.*, 196: 109258
- Tiwari, M., Sahu, S. K., Bhangare, R. C., Ajmal, P. Y., Pandit, G. G., 2014. Elemental Characterization of Coal, fly Ash, And Bottom Ash Using an Energy Dispersive X-Ray fluorescence Technique. *Appl. Radiat. Isot.*, 90: 53–57. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2014.03.002>
- Utami, S.W. 2018. Karakteristik Kimiawi Fly Ash Batu Bara dan Potensi Pemanfaatannya sebagai Bahan Pupuk Organik. *Jurnal Agrotek*, 12(2): 108-112. <https://doi.org/10.21107/agrotek.v12i2.4048>
- Winarno, H., Muhammad, D., Wibowo, Y. G., 2019. Pemanfaatan limbah fly ash dan bottom ash dari pltu sumsel-5 sebagai bahan utama pembuatan paving block. *Jurnal Teknik*, 11(1): 1067-1070. <https://doi.org/10.30736/jt.v11i1.288>
- 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).