

ANALISIS POTENSI DAN KARAKTERISTIK LIMBAH PADAT FLY ASH DAN BOTTOM ASH HASIL DARI PEMBAKARAN BATUBARA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) PT. SEMEN TONASA

Eka Yunita, Rahmaniah, dan Fitriyanti¹

¹Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar
e-mail: ekayunita516@gmail.com, nia.physics08.uin@gmail.com

Abstrack: A research was conducted at Steam Power Plant (PLTU) of PT. Semen Tonasa in which the coal burning resulting waste that is dust, fly ash and bottom ash. This research aimed to find out how much solid waste was resulted and how was the characteristic. Based on the secondary data obtained, it was found out that this Steam Power Plant results $\pm 96,07$ ton of fly ash dan $\pm 41,62$ ton of bottom ash in a day. Then a test was conducted in laboratory with elemental content analysis method using XRF showing that the highest element was silica and iron while as the calculation result of LOI content, it was found that fly ash had low content of carbon so that it is good to use as mixture of cement. Meanwhile, bottom ash contained high content of carbon so that it is fit to apply with polymer materials. Furthermore, the analysis was continued using XRD method and found that fly ash BTG I was dominated with Davyne mineral phasa with hexagonal crystal structure. Bottom ash showed bavenite phasa with orthorhombic crystal structure. Meanwhile, at BTG 2, fly ash showed Quartz phasa with trigonal crystal structure (hexagonal axes) and for bottom ash, there was Berlinite phasa with trigonal crystal structure (hexagonal axes) and Gillespite phasa with yang orthorhombic crystal structure.

Key Word: PLTU, Fly Ash, Bottom Ash, LOI, XRF, XRD

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Penggunaan energi listrik untuk keperluan industri maupun masyarakat sehari-hari semakin meningkat. Salah satunya yaitu adanya industri pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang bahan bakarnya yaitu batubara yang biasanya menghasilkan limbah padat hasil pembakaran berupa abu terbang (*fly ash*), *slag* (*bottom ash*) dan lumpur *flue gas desulfurization*. Sehubungan dengan meningkatnya jumlah pembangunan PLTU berbahan bakar batubara di Indonesia, maka jumlah limbah padat juga akan meningkat. Jumlah limbah PLTU pada tahun 2000 telah mencapai 1,66 juta ton dan pada tahun 2006 mencapai 2 juta ton. Di Indonesia, produksi limbah abu dasar dan abu layang dari tahun ke tahun meningkat

sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan baku untuk proses pembakaran di industri (Harijono, 2006).

Abu terbang (*fly ash*) batubara adalah abu yang dihasilkan dari pelelehan material anorganik yang terkandung dalam batubara, sedangkan abu dasar (*bottom ash*) adalah abu yang terbentuk di bawah tungku proses pembakarannya. Komponen yang terkandung dalam *fly ash* bervariasi bergantung pada sumber batubara yang dibakar, tetapi semua *fly ash* mengandung silikon dioksida (SiO_2) dan kalsium oksida (CaO) (Mufrodi, 2010). Jika tidak diolah lebih lanjut, abu terbang dapat menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan. Abu terbang batubara dapat mengkontaminasi air tanah dengan kandungan pengotor seperti arsenik, barium, berillium, boron, cadmium, komium, thallium, selenium, molibdenum dan merkuri. Abu terbang atau *fly ash* batubara umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukkan abu terbang batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan.

Hal ini merupakan permasalahan besar yang sedang dihadapi industri-industri pembangkit listrik. Sebagai contoh, PT. Semen Tonasa yaitu produsen semen terbesar di Kawasan Timur Indonesia yang menempati lahan seluas 715 hektar di Desa Biringere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep. Perusahaan ini memiliki PLTU dimana terdapat 2 unit pembangkit berupa Boiler Turbin Generator (BTG *Power plant*) yang berlokasi di Pelabuhan Biringkassi Pangkep berdampingan dengan pembangkit listrik BTG 1. Sebelumnya PT. Semen Tonasa dengan kapasitas 2×25 MW dan 2×35 .

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- 1) Untuk mengetahui banyaknya limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara di PLTU PT. Semen Tonasa.
- 2) Untuk mengetahui karakteristik limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara di PLTU PT. Semen Tonasa.

Ruang Lingkup Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas maka penelitian ini dibatasi pada beberapa bagian yaitu:

- a. Data potensi limbah padat hasil pembakaran batubara berupa debu (*fly ash* dan *bottom ash*) adalah data sekunder yang diperoleh dari PLTU PT. Semen Tonasa.
- b. Lokasi pengambilan sampel yaitu di BTG *Power plant* PT. Semen Tonasa dengan kapasitas 2×25 MW dan 2×35 MW yang berada di Pelabuhan Biringkassi Kecamatan Bungoro Kabupaten Pangkep.
- c. Sampel yang akan dianalisis berupa limbah padat hasil pembakaran batubara yaitu *fly ash* dan *bottom ash*.

- d. Karakterisasi yang dimaksud berupa pengujian menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* untuk mengetahui unsur kimia yang terkandung pada sampel, menghitung kadar karbon tidak terbakar/*Loss of Ignition* (LOI) dan menggunakan metode *X-Ray Diffraction* untuk menganalisa fasa mineral yang terkandung pada sampel meliputi formula, pola difraksi, indeks miller dan kristal sistem.

2. METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2016 – Juni 2017. Jangka waktu tersebut mencakup studi literatur, survei lokasi, pengambilan data lapangan dan pengolahan data. Penelitian ini berlokasi di PLTU PT. Semen Tonasa yang berada di Biringkassi Kabupaten Pangkajene Kepulauan dimana pengambilan dan analisis sampel dilakukan pada bulan Juni 2017.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah wadah sampel vakum 8 buah, wadah plastik 12 buah, *thin film sample* 4 buah, cawan platina 2 buah, ayakan 200 mesh, spatula, *furnace*, mortar dan pastel, neraca analitis, neraca digital, *microwave*, *Vibratory ball mill*, *X-Ray Fluorescence* dan *Xray Diffraction*. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah padat hasil pembakaran batubara yaitu *fly ash* dan *bottom ash* berasal dari PLTU PT.Semen Tonasa

Prosedur Penelitian

- a. Data sekunder yang dikumpul kemudian dihitung dan dianalisis menggunakan Microsoft Excel.
- b. Penentuan unsur kimia limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF).
 - 1) Memasukkan sampel pada wadah plastik yang akan ditutupi dengan platik tipis (*Thin Film*) sebanyak ± 5 gram.
 - 2) Menganalisis sampel pada mesin ARL Quant'X EDXRF Analyze dengan software Uniquant agar kandungan unsur yang terkandung didalam sampel dapat diketahui.
- c. Kadar LOI
 - 1) Menimbang 1 gram sampel lalu memasukkan kedalam cawan platina yang telah diketahui bobot kosongnya
 - 2) Memijarkan dalam *furnace* selama 15 menit pada suhu $950^{\circ}\text{C} \pm 50$
 - 3) Mendinginkan kemudian menimbang untuk menentukan presentase hilang pijarnya dengan rumus:

$$\text{LOI} = (A-B)/C \times 100\% \quad (3.1)$$
 dengan: A = Bobot cawan kosong + sampel awal

B = Bobot cawan kosong + sampel sisa pijar

C = Bobot sampel awal

- 4) Mencatat hasilnya pada form yang telah disediakan
 - 5) Mengeluarkan sampel sisa pijar dari cawan platina
- d. Penentuan struktur mineralogi dari limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* dengan menggunakan *X-Ray Diffraction*.
- 1) Mengambil sampel yang telah berbentuk bubuk dengan volume satu sendok teh atau sebanyak 5 gram, kemudian memasukkan ke dalam plat aluminium berukuran 2 x 2 cm.
 - 2) Selanjutnya plat aluminium yang berisi sampel dikarakteristikan dengan menggunakan XRD-7000 SHIMADZU dengan sumber Cu-Kal, yang memiliki panjang gelombang tertentu dalam satuan Å (Amstrong) kemudian mengatur besarnya tegangan dan arus yang akan digunakan.
 - 3) Menganalisis sampel dengan menggunakan software Search-Match.

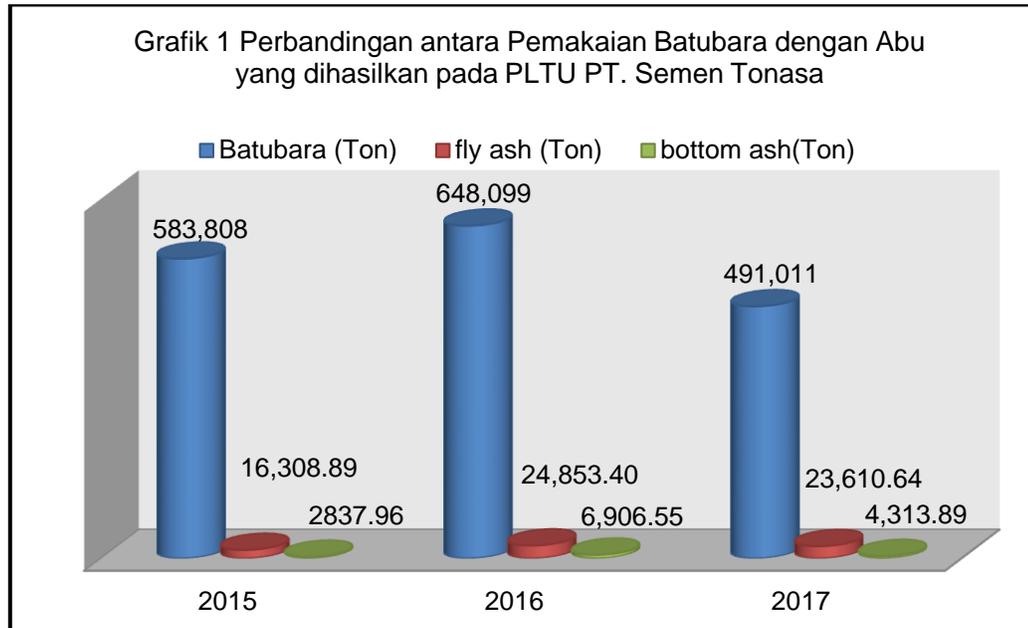
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah padat *fly ash* dan *bottom ash*.

Power plant PT. Semen Tonasa menggunakan boiler dengan tipe pipa air (*Water Tube Boiler*) yang memiliki karakteristik menghasilkan kapasitas dan tekanan *steam* yang tinggi. Jenis batubara yang digunakan yaitu batubara medium kalori 4200 yang berasal dari beberapa pemasok. Teknologi pembakaran batubara pada BTG *Power plant* PT. Semen Tonasa yaitu pembakaran batubara serbuk (*Pulverized Coal Combustion/PCC*).

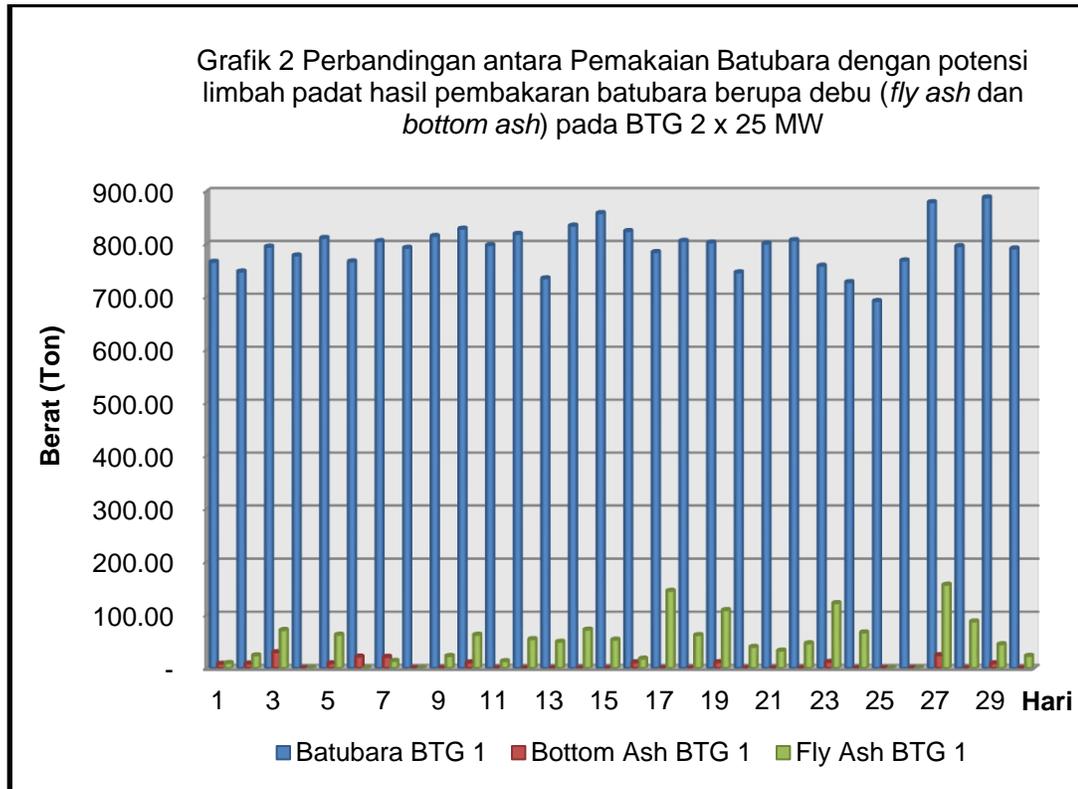
Proses pembakaran PCC dilakukan dengan cara terlebih dahulu diremukkan menggunakan *coal pulverizer (coal mill)* sampai berukuran 200 mesh (diameter 74µm), kemudian bersama-sama dengan udara pembakaran disemprotkan ke boiler untuk dibakar. Pembakaran metode ini sensitif terhadap kualitas batubara yang digunakan, terutama sifat ketergerusan (*grindability*), sifat *slagging*, sifat *fauling*, dan kadar air (*moisture content*). Batubara yang disukai untuk boiler PCC adalah yang memiliki sifat ketergerusan dengan HGI (*Hardgrove Grindability Index*) di atas 40 dan kadar air kurang dari 30%, serta rasio bahan bakar (*fuel ratio*) kurang dari 2. Pembakaran dengan metode PCC ini akan menghasilkan abu yang terdiri dari *clinker ash* sebanyak 15% dan sisanya berupa *fly ash*.

Adapun penggunaan batubara dan banyaknya abu yang dihasilkan pada BTG *Power plant* PT. Semen Tonasa dalam 3 tahun terakhir yaitu tahun 2015-2017 dapat dilihat pada grafik 1 di bawah ini:

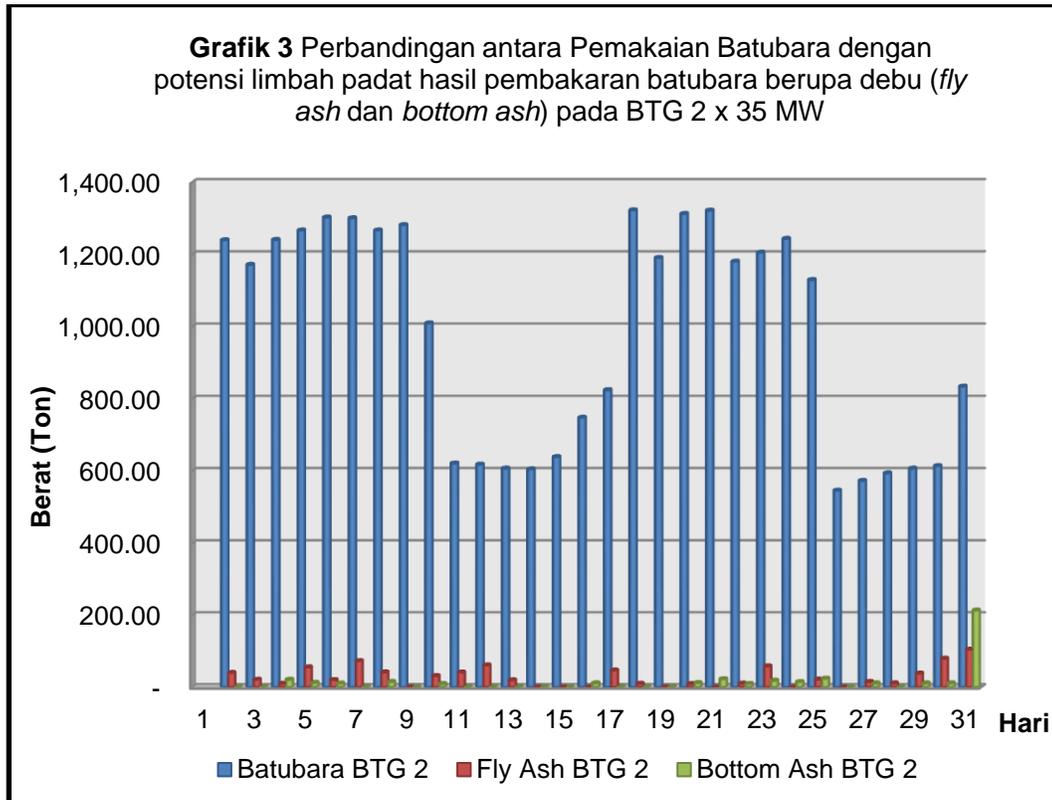


Grafik 1 memperlihatkan perbandingan antara pemakaian batubara dengan abu yang dihasilkan pada PLTU PT. Semen Tonasa dimana pada grafik menunjukkan bahwa di tahun 2015, presentase *fly ash* yang dihasilkan sebesar 2,8% dari keseluruhan pemakaian batubara dan *bottom ash* lebih rendah yaitu 0,5%. Pada tahun 2016, presentase *fly ash* yang dihasilkan dari keseluruhan pemakaian batubara sebesar 3,8% dan *bottom ash* yaitu 1%. Dan di tahun 2017, presentase *fly ash* yang dihasilkan 4,8% dan *bottom ash* lebih rendah yaitu 0,9%. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa banyaknya limbah padat berupa debu yang dihasilkan oleh PLTU PT. Semen Tonasa tergantung dari banyaknya pemakaian batubara dimana terdapat korelasi yang sangat signifikan antara penggunaan batubara dengan limbahnya. Dengan kata lain, semakin banyak batubara yang digunakan akan semakin banyak pula limbah padat yang dihasilkan.

Pemakaian batubara tergantung dari kebutuhan tiap pembangkit yang ada dengan jumlah kebutuhan batubara yang berbeda pada masing-masing pembangkit. Untuk mengetahui hal tersebut agar lebih signifikan, maka dikumpulkan data selama 30 hari pada bulan Juni 2017 sehingga diperoleh perbandingan antara pemakaian batubara terhadap banyaknya limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan pada BTG I dan II. Dimana pemasok batubara pada bulan juni berasal dari PT Harisindo Batu mulia yaitu merupakan tambang batubara dimana batubaranya berasal dari daerah Binuang, Rantau & Kab. Banjar dan PT Setyawan Mahakarya Prima yang merupakan industri pemasaran barang tekstil dan batubara.



Grafik 2 memperlihatkan pemakaian batubara dengan potensi limbah padat hasil pembakarannya yang berupa debu. Dari grafik tersebut diketahui bahwa banyaknya batubara yang dikonsumsi selama 1 bulan oleh BTG I sebesar 23.840,11 ton dan menghasilkan limbah padat *fly ash* sebanyak 1.471,79 ton dan *bottom ash* sebanyak 179,48 ton. Dari hasil tersebut diketahui bahwa dalam sehari batubara yang dikonsumsi oleh BTG I sebanyak 794,67 ton dan limbah *fly ash* yang dihasilkan sekitar 58,87 ton atau sebesar 7,4% dari batubara dan 14,96 ton *bottom ash* atau 1,9%. Sedangkan pada BTG II dapat dilihat pada grafik 3.



Pada grafik 3 menunjukkan bahwa BTG II mengkonsumsi batubara sebanyak 29.406,00 ton dalam sebulan dengan rata-rata konsumsi tiap harinya sekitar 980,20 ton dan menghasilkan *fly ash* sekitar 818,30 ton dengan rata-rata tiap harinya 48,14 ton atau sekitar 5,5% dan *bottom ash* sebanyak 426,56 ton dengan rata-rata tiap harinya 25,09 ton atau sekitar 6% dari pemakaian. Banyaknya *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan tergantung dari banyaknya konsumsi batubara sehingga limbah padat yang dihasilkan BTG dengan kapasitas yang lebih tinggi yaitu BTG II lebih besar dibandingkan BTG I. BTG suatu saat bisa tidak menghasilkan abu seperti yang terlihat pada grafik di hari 11-14 dan 25-30, dimana pada hari itu, BTG II tidak beroperasi karena sedang bermasalah pada boilernya sehingga operasional diberhentikan dalam beberapa waktu sehingga tidak ada limbah padat yang dihasilkan. Dari banyaknya *fly ash* dan *bottom ash* yang belum dimanfaatkan dengan baik tersebut, maka diperlukan upaya untuk mengubahnya menjadi bahan yang lebih berguna. Apabila hal ini tidak dilakukan, maka akan memberikan dampak buruk bagi lingkungan sekitar dan apabila kita membiarkannya begitu saja maka secara tidak langsung kita telah melakukan larangan Allah yaitu berbuat kerusakan di muka bumi karena islam merupakan agama ramah lingkungan maka sebaiknya industri yang menyebabkan adanya limbah ini harus bertanggung jawab atas kelestarian lingkungan sekitarnya.

Karakteristik Limbah Padat *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Karakterisasi XRF

XRF merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sampel dengan menggunakan metode spektrometri. Teknik pengolahan data pada tiap sampel *fly ash* dan *bottom ash* dilakukan di laboratorium EDXRF Spectrometer dengan software *Uniquant*. Adapun hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Analisis Kimia

No	Unsur Kimia	<i>Fly ash</i> (%)		<i>Bottom ash</i> (%)	
		BTG 1 (2 × 25 MW)	BTG 2 (2 × 35 MW)	BTG 1 (2 × 25 MW)	BTG 2 (2 × 35 MW)
1	Si	40.43	41.78	35.67	35.30
2	Fe	36.13	37.56	46.51	39.01
3	Al	10.58	8.48	4.51	9.03
4	Ca	8.12	7.44	8.61	12.30
5	Ti	1.77	1.39	1.62	1.55
6	K	1.30	1.51	0.96	1.29
7	LOI	0.66	0.21	41.8	13.37

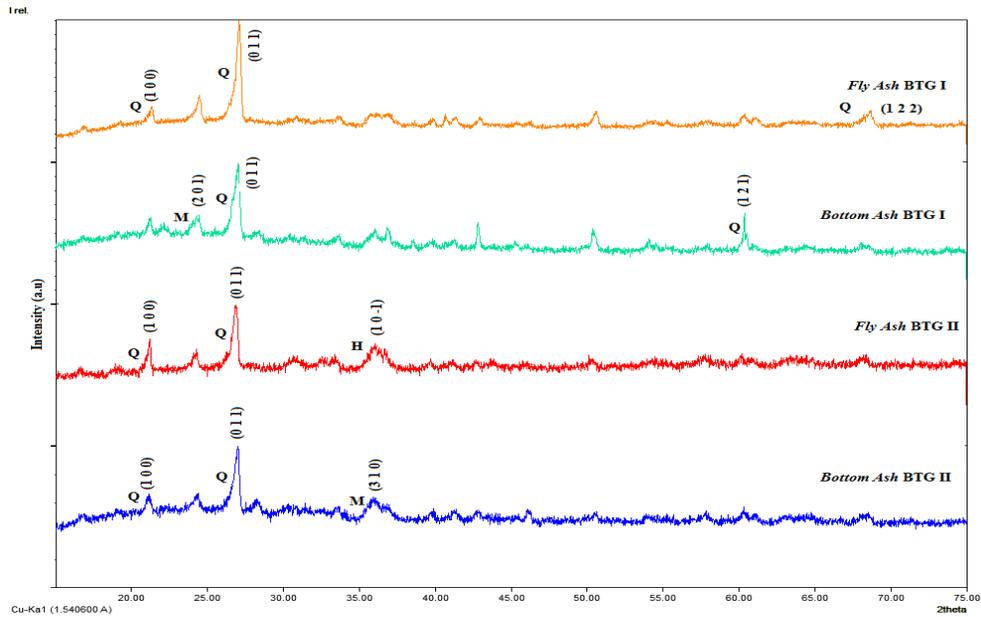
Data pada tabel 1 menunjukkan bahwa unsur yang terdapat pada *fly ash* dan *bottom ash* adalah silika (Si), besi (Fe), aluminium (Al) dan kalsium (Ca) dalam jumlah besar, dan unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil. Dimana unsur tertinggi pada *fly ash* adalah silika (Si) sedangkan pada *bottom ash* adalah besi (Fe). Sebelumnya telah diketahui bahwa slag atau biasa disebut *bottom ash* adalah sisa dari batubara yang terbakar dalam boiler dimana ukurannya agak besar, sehingga tidak dapat terbang oleh gas buang. Oleh karena itu, unsur besi lebih dominan terdapat pada *bottom ash* karena memiliki berat jenis yang lebih berat daripada silika dimana berat jenis silika yaitu 2,65 g/cm³ dan besi 3,9-4,1 g/cm³ sehingga silika lebih mudah terbang oleh gas buang. Seperti yang telah diketahui bahwa penggunaan silika atau pasir kuarsa banyak dipakai dalam industri semen, gelas, penyecoran besi baja, keramik dan lain-lain. Dari gambaran tersebut 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 yang terpapar debu silika dapat menderita silicosis. Silicosis merupakan penyakit yang ditandai dengan napas pendek, demam, dan *cyanosis* (kulit yang berwarna kebiruan). Silicosis terjadi karena partikel silika yang terhirup tidak dapat dikeluarkan lagi dari paru-paru. Adanya benda asing membuat jaringan paru-paru membengkak. Silika ikutan lainnya juga menjadi senyawa racun yang kemudian merusak jaringan paru-paru.

Sedangkan senyawa besi (Fe) dalam jumlah kecil di dalam tubuh manusia berfungsi sebagai pembentuk sel-sel darah merah, dimana tubuh memerlukan 7-35 mg/hari yang sebagian diperoleh dari air. Kelebihan zat besi di dalam tubuh manusia akan menimbulkan efek samping pada seluruh gastrointestinal pada setiap orang, seperti rasa tidak enak pada ulu hati, muntah, dan diare. Frekuensi efek samping ini berkaitan langsung dengan dosis zat besi yang digunakan, dikarenakan tubuh manusia tidak dapat mengsekresi Fe, sehingga bagi mereka yang sering mendapat transfusi darah warna kulitnya menjadi hitam karena akumulasi. Selain itu dalam dosis besar dapat merusak dinding usus. Mengetahui hal itu, maka pemanfaatan abu merupakan salah satu cara menangani abu hasil pembakaran batubara yang jumlahnya sangat besar.

Loss Of Ignition (LOI) adalah suatu ukuran dari kadar karbon yang tidak terbakar dan tertinggal dalam *fly ash* dan *bottom ash* yang dapat diidentifikasi dengan cara kasat mata dengan warna yang bervariasi dimana pada BTG I berwarna coklat keabu-abuan sampai coklat kehitaman dan BTG II berwarna abu-abu sampai abu-abu gelap kehitaman, tergantung pada kadar karbon yang tidak terbakar dalam *fly ash* dan *bottom ash*. Semakin terang warna abu-abu yang dihasilkan dari sampel, semakin rendah kadar karbonnya. *Fly ash* pada BTG I dan II mengandung karbon rendah sehingga cocok digunakan sebagai bahan semen, dan sebaliknya *bottom ash* yang berkadar karbon tinggi cocok untuk bahan pengisi (*filler*) dalam industri polimer atau karet.

Karakterisasi XRD

Dengan adanya komposisi kimia diatas maka sampel di uji lebih lanjut dengan menggunakan XRD. XRD digunakan untuk menentukan jenis dan komposisi mineral disetiap sampel *fly ash* dan *bottom ash*. Dibawah ini merupakan grafik hasil pengujian X-Ray Diffraction pada sampel *fly ash* dan *bottom ash* pada BTG *Power plant* dengan kapasitas 2×25 MW dan 2×35 MW menggunakan difraktometer type XRD7000 SHIMADZU dilengkapi dengan software APD (*Automatic Powder Diffraction*) yang ada di Laboratorim EDXRF Spectrometer UNHAS. XRD menggunakan tabung anod Cu dengan panjang gelombang 1,5406 Å dengan sudut 15° - 75° .



Grafik 4. Perbandingan ke-4 sampel hasil XRD

Sinar X digunakan sebagai alat riset atau penelitian oleh para ahli ilmu fisika yang memungkinkan untuk mengkonfirmasi secara eksperimen teori dari kristalografi. Dengan menggunakan metode pengujian difraksi sinar x (XRD) dapat diketahui unsur atau fasa mineral yang terkandung dalam suatu material serta dapat mengetahui bidang hkl, struktur kristal maupun parameter kisinya.

Tabel 2. Hasil Analisis Data XRD (X-Ray Diffraction) dengan Menggunakan Software Match dalam Menentukan Jenis dan Komposisi Mineral.

No	Sampel	Formula	Nama Mineral	(%)	Sistem Kristal	Ukuran Kristal (nm)
1	Fly ash BTG 1	O_2Si	Quartz	61.8	trigonal (hexagonal axes)	24,38321
		$Al_{0.8}Bi_2Ga_{3.2}O_9$	Mullite	19.4	Orthorhombic	28,349
		Fe_3O_4	Magnetite	9.4	Cubic	32,96094
		Ca O	Lime	9.3	Cubic	25,94989
2	Fly ash BTG 2	O_2Si	Quartz	48.4	trigonal (hexagonal axes)	21,84855
		$Al_{2.383}Ge_{0.617}O_{4.80}Si_{0.75}$	Mullite	42.6	Orthorhombic	23,99399
		Fe_2O_3	Iron(III) Oxide hematite	9.0	Rhombohedral	15,93631
3	Bottom ash	O_2Si	Quartz	42.2	trigonal (hexagonal)	18,49087

	BTG 1				axes)	
		Mn_2O_3	<i>Manganese (III) oxide</i>	24.6	<i>Cubic</i>	29,44869
		AlO_4P	<i>Berlinite</i>	23.1	<i>trigonal (hexagonal axes)</i>	20,40659
		Fe_2O_3	<i>Maghemite</i>	10.1	<i>Cubic</i>	11,07986
4	<i>Bottom ash BTG 2</i>	O_2Si	<i>Quartz</i>	45.6	<i>trigonal (hexagonal axes)</i>	19,28126
		$Ga_{2.31}Ge_{0.69}O_{4.84}$	<i>Mullite</i>	28.7	<i>Orthorhombic</i>	24,29009
		AlO_4P	<i>Berlinite</i>	17.0	<i>trigonal (hexagonal axes)</i>	34,08584
		Fe_2O_3	<i>Maghemite</i>	8.7	<i>Tetragonal</i>	16,71448

Suatu kristal mempunyai bidang-bidang atom yang mempengaruhi sifat dan perilaku bahan. Kelompok bidang tergantung pada sistem kristal. Dua bidang atau lebih dapat tergolong dalam kelompok bidang yang sama. Indeks Miller adalah harga kebalikan dari parameter numerik yang dinyatakan dengan simbol (*hkl*). Pada grafik 4.4 menunjukkan hasil difraktometri pada sampel *fly ash* BTG 1 yakni kapasitas 2×25 MW yang memperlihatkan bahwa intensitas tiga peak yang muncul paling besar adalah fasa *quartz* yang memiliki struktur kristal *trigonal (hexagonal axes)* pada sudut $24,3982^\circ$ dengan bidang *hkl* (100), pada sudut $27,0274^\circ$ dengan bidang *hkl* (011) dan sudut $68,5622^\circ$ dengan bidang *hkl* (122) dimana parameter kisinya adalah $a=4.8362 \text{ \AA}$ $c=5,8433 \text{ \AA}$ serta merupakan kandungan mineral dengan persentase tertinggi pada *fly ash* BTG I. Selain itu terdapat pula kandungan mineral *mullite*, *magnetite*, dan *lime* dengan persentase rendah.

Pada grafik *bottom ash* memperlihatkan bahwa intensitas tiga peak yang muncul paling besar adalah fasa *maghemite* yang memiliki struktur kristal *cubic* pada sudut $24,2015^\circ$ dengan bidang *hkl* (201) dimana parameter kisinya adalah $a = 8.3300 \text{ \AA}$ dan fasa *quartz* yang memiliki struktur kristal *trigonal (hexagonal axes)* pada sudut $26,8855^\circ$ dengan bidang *hkl* (011) dan sudut $60,3219^\circ$ dengan bidang *hkl* (121) dimana parameter kisinya adalah $a=4.9509 \text{ \AA}$ $c=5.4285 \text{ \AA}$ serta merupakan kandungan mineral dengan persentase tertinggi pada *bottom ash* BTG 1. Selain itu terdapat pula kandungan mineral *berlinite* dengan persentase yang hampir sama dengan *manganese (III) oxide*.

Pada grafik BTG 2 yakni kapasitas 2×35 MW, *fly ash* memperlihatkan pada grafik 4.4 bahwa intensitas tiga peak yang muncul paling besar adalah fasa *quartz* yang memiliki struktur kristal *trigonal (hexagonal axes)* pada sudut $21,1307^\circ$ dengan bidang *hkl* (100) dan pada sudut $26,8020^\circ$ dengan bidang *hkl* (011) dimana parameter kisinya adalah $a= 4,9160 \text{ \AA}$ $c= 5,4054 \text{ \AA}$, kemudian fasa *hematite* yang memiliki struktur kristal *rhombohedral* pada sudut $35,9600^\circ$ dengan bidang *hkl* (10-1) dimana parameter kisinya adalah $a=5.4310 \text{ \AA}$ $\alpha=56.230^\circ$, selain kedua fasa tersebut, terdapat pula fasa *mullite* dengan persentase yang hampir sama dengan *quartz*. Sedangkan pada *bottom ash* juga didominasi oleh fasa *quartz*

yang memiliki struktur kristal trigonal (*hexagonal axes*) pada sudut $21,1000^\circ$ dengan bidang hkl (100), dan sudut $26,8841^\circ$ dengan bidang hkl (011) dimana parameter kisinya adalah $a=4,8362 \text{ \AA}$ $c=5.3439 \text{ \AA}$ dan fasa *maghemite* yang memiliki struktur kristal *tetragonal* pada sudut $35,9200^\circ$ dengan bidang hkl (310) dimana parameter kisinya adalah $a=8,3396 \text{ \AA}$ $c=8.3220 \text{ \AA}$. Selain itu terdapat mineral *mullite* dan *berlinite* dengan persentase rendah.

Ukuran kristal (*crystallite size*) dihitung menggunakan persamaan Debye Scherrer dengan nilai panjang gelombang, intensitas, 2θ , dan FWHM yang dihasilkan dari uji XRD. Persamaan Debye Scherrer menunjukkan bahwa nilai ukuran kristal yang dihasilkan akan berbanding terbalik dengan nilai FWHM, sedangkan nilai FWHM dipengaruhi oleh intensitas masing-masing bidang kristal, dimana semakin tinggi intensitas maka nilai FWHM semakin kecil. Dari hasil perhitungan diperoleh ukuran kristal pada *fly ash* dan *bottom ash* sebesar 11,07-34,08 nm

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa mineral-mineral yang terkandung dalam *fly ash* dan *bottom ash* hasil pembakaran batubara pada PLTU PT. Semen Tonasa didominasi oleh fasa *quartz*. *Quartz* atau kuarsa adalah senyawa kimia yang terdiri dari satu bagian silikon dan dua bagian oksigen atau biasa disebut silikon dioksida (SiO_2). Kuarsa merupakan mineral yang paling berlimpah ditemukan di permukaan bumi dan sifatnya yang unik dapat membuatnya menjadi salah satu mineral yang paling berguna. Kuarsa merupakan mineral yang sangat penting dalam industri karena sifat piezoelektriknya (alat pengukur tekanan khusus, osilator, resonator dan penstabil gelombang), kemampuannya untuk memutar bidang polarisasi cahaya (polarimeters) dan transparansi sinar ultraviolet (lampu sinar panas, prisma dan lensa spektograf, dll.). Kuarsa digunakan dalam jumlah besar pada pembuatan kaca, cat, abrasive, refraktori dan instrumen presisi (akselerasi pendukung). Kuarsa juga bahan baku untuk silikon karbida dan abrasive yang sangat keras.

Selain kuarsa terdapat pula mineral *mullite* yang merupakan mineral silikat berserat dari ekspansi termal yang sangat rendah. *Mullite* terbentuk di dalam tubuh porselen selama penembakan dan di industri dengan cara kalsinasi. Morfologi *mullite* juga penting untuk penerapannya. Dalam kasus ini, ada dua morfologi umum untuk *mullite*. Salah satunya adalah bentuk trombosit dengan rasio aspek rendah dan yang kedua adalah bentuk jarum dengan rasio aspek tinggi. Jika bentuk jarum *mullite* dapat terbentuk dalam tubuh keramik selama sintering, ia memiliki efek pada sifat mekanik dan fisik dengan meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan sengatan termal. Kondisi yang paling penting berhubungan dengan komposisi kimia keramik. Jika perbandingan silika dan alumina dengan bahan dasar rendah seperti natrium dan kalsium disesuaikan, bentuk jarum *mullite* terbentuk pada sekitar 1400°C dan jarum akan saling terkait. Ini *interlocking* mekanik memberikan kontribusi untuk kekuatan mekanik tinggi porselen.

Berdasarkan data XRF diketahui bahwa unsur besi pada *bottom ash* sangat besar dibandingkan dengan *fly ash*, ini dibuktikan dengan diperolehnya mineral *maghemite* dari hasil analisis XRD pada *bottom ash* BTG I dan II. *Maghemite* (Fe_2O_3 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) adalah anggota keluarga oksida besi, memiliki struktur ferit spinel yang sama dengan magnetit dan juga ferrimagnetik, sedangkan

pada *fly ash* terdapat mineral *hematite* yaitu salah satu mineral yang paling melimpah di permukaan bumi maupun di kerak bumi yang dangkal. Hematit merupakan oksida besi dengan komposisi kimia Fe_2O_3 . Mineral ini merupakan mineral pembentuk batuan yang umumnya ditemukan pada batuan sedimen, metamorf, dan batuan beku. Hematit merupakan bijih yang cukup penting untuk menghasilkan besi.

Beragam struktur kristal pada *fly ash* dan *bottom ash* ini dapat mengalami perubahan jika suatu material dipanaskan dengan laju pemanasan. Berubahnya struktur dari material akibat temperatur disebabkan karena ketika suatu material dipanaskan maka akan terjadi peningkatan energi yang memungkinkan atom-atom bergetar akan menyebabkan jarak antar atom pun lebih besar sehingga dapat merubah struktur kristal. Dari hasil ini dapat diketahui arah potensi pemanfaatan limbah padat yang dihasilkan oleh PLTU PT. Semen Tonasa sehingga dapat mengurangi permasalahan lingkungan yang ada di industri.

4. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh diketahui bahwa kebutuhan batubara untuk BTG *Power plant* 2×25 MW yaitu sekitar 795 ton/hari dan menghasilkan limbah padat hasil pembakaran sekitar 7,4 % *fly ash* dan 1,9 % *bottom ash*. Sedangkan untuk BTG *Power plant* 2×35 MW membutuhkan batubara sekitar 980,20 ton/hari dan menghasilkan limbah padat hasil pembakaran sekitar 5,5% *fly ash* dan 6 % *bottom ash*. Adapun karakteristik limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara di PLTU PT. Semen Tonasa yaitu diketahui bahwa silika dan besi sebagai unsur kandungan utama pada sampel *fly ash* dan *bottom ash*. Selain kedua unsur tersebut, terdapat pula unsur-unsur yang kecil seperti aluminium, kalsium, titanium dan kalium. *Fly ash* memiliki kadar karbon yang rendah sehingga digunakan sebagai pencampur semen sedangkan *bottom ash* mengandung kadar karbon tinggi sehingga cocok diaplikasikan ke bahan polimer. *Fly ash* dan *bottom ash* didominasi oleh fasa *quartz* dengan struktur kristal *trigonal* (*hexagonal axes*), selain itu juga terdapat fasa *mullite* dengan struktur kristal *orthorombic* dan mineral pembentuk senyawa besi yang dominan terdapat pada *bottom ash* yaitu *maghemite* dengan struktur *cubic* dan *tetragonal*.

DAFTAR PUSTAKA

- Antoni. *Sifat Kimia dan Sifat Fisika Fly ash*. Medan:Universitas Sumatera Utara, 2007.
- Aziz, Abdul. *Pengaruh Ph Dan Tegangan Listrik dalam Elektrolisis Limbah Padat Baja (Slag Eaf) sebagai Upaya Mereduksi Kandungan Logam Fe pada Limbah Padat Industri Galvanis*. Semarang: Universitas Islam Negeri Walisongo, 2015.
- Darmono. *Lingkungan Hidup Dan Pencemaran*. Jakarta: Universitas Indonesia, 2001.

- Harijono, D. *Fly ash dan Pemanfaatannya*. Seminar Nasional Batubara. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada, 2006.
- Harris, dkk. *Studi Pemanfaatan Limbah Padat dari Perkebunan Kelapa Sawit pada PLTU 6 MW di Bangka Belitung*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), 2013.
- Haryanto, Gunady. *Probe Optik Untuk Mengukur Konsentrasi Fitoplankton, Studi Kasus Scenedesmus sp.* Tesis, Pada Departemen Teknik, Universitas Indonesia, 2008.
- Mufrodi, Z. *Modifikasi Limbah Abu Terbang sebagai Material Baru Adsorben*. Yogyakarta: Universitas Pendidikan negeri Yogyakarta, 2010
- Nelson, S A, X-ray Crystallography, www.tulane.edu.2010 (Diakses pada tanggal 28 Desember 2016).
- Pasaribu, D.A. *Penggunaan Electrostatic Precipitator Sebagai Penanggulangan Polusi Udara Pada Cerobong Gas Buang Boiler*.Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara, 2010
- Pusat Penelitian Lingkungan Hidup. *Upaya Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pemantauan Lingkungan PLTU Batubara 2 x 30 MW PT Makmur Sejahtera Wisesa*. Lembaga Penelitian Universitas Lambung Mangkurat, 2007.
- Samijo. *Pembuatan Paving Block Dengan Menggunakan Limbah Abu Boiler PKS Gunung Bayu Sebagai Bahan Pengisi Dengan Perekat Alternatif Limbah Fly ash PLTU Sibolga*. Medan: Universitas Sumatera Utara, 2010.
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir al-Misbah; Pesan, Kesan, dan Keserasian Alquran* Vol. 5 Jakarta: Lentera Hati.
- Soeswanto, Bambang. *Pengaruh Parameter Proses Pada Pemungutan Kembali Silika Dari Abu Batubara*. 2011. Tesis, S-2 Pada Program Studi Teknik Kimia, Universitas Diponegoro Semarang, 2011.
- Taufik, Muhammad, dkk. *Laporan Praktek Kerja Lapangan Pembangkit Listrik (Pltu) PT. Semen Tonasa*. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2014.