

PENGARUH PENGGUNAAN *BOTTOM ASH DRY* DAN *SLAG* LIMBAH GASIFIKASI BATUBARA PADA PEMBUATAN BATAKO TERHADAP KUAT TEKAN

Zul Fahmi¹, Rr. Harminuke Eko Handayani², Syarifudin³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jl. Palembang-Prabumulih KM 32, Indralaya, 30662, Indonesia

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, Jl. Jenderal Sudirman No. 623, Bandung, 40211, Indonesia

E-mail : hsbfahmi@gmail.com

ABSTRAK

Proses gasifikasi batubara tidak mengubah batubara seluruhnya dari padatan menjadi gas melainkan meninggalkan sisa proses berupa padatan maupun cairan. Sisa proses padatan berupa bottom ash. Bottom ash jumlahnya tidak banyak, namun apabila dibiarkan di lingkungan, bisa mencemari lingkungan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian pemanfaatannya sebagai agregat pada pembuatan batako. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara fisik bottom ash dari reaktor gasifikasi Palimanan dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu bottom ash dry dan bottom ash slag. Secara kimia, komposisi abunya didominasi oleh SiO_2 dan Al_2O_3 yang bisa dikaitkan dengan sifat pozzolan. Hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa fixed carbon dari ash dry lebih tinggi yaitu 27,61 % (nilai kalori 3131 kal/gram) sedangkan ash slag sebesar 0,74 % (nilai kalori 63,4 kal/gram). Pada penelitian ini dilakukan percobaan pembuatan batako berdasarkan ukuran butir, persentase bottom ash terhadap pasir dan lama waktu pengeringan. Berdasarkan ukuran butir bottom ash dry diketahui bahwa semakin beragam ukuran butir, kuat tekannya semakin tinggi, sedangkan slag tidak memberikan pengaruh yang besar. Berdasarkan persentase diketahui bahwa bottom ash dry memberikan pengaruh terhadap kuat tekan yaitu semakin sedikit jumlah bottom ash dry, maka kuat tekan semakin meningkat dengan hasil uji kuat tekan maksimum sebesar 43 kg/cm² pada saat komposisi bottom ash dry sebanyak 25%. Untuk bottom ash slag tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap kuat tekan batako dan hasil uji kuat tekan maksimum sebesar 47 kg/cm² dengan komposisi bottom ash slag sebanyak 75%. Berdasarkan lama waktu pengeringan 5 dan 10 hari menunjukkan bahwa ada peningkatan kekuatan dari 0,5 - 3 kg/cm².

Kata kunci : Agregat, Bottom Ash, Batubara, Batako, Kuat Tekan

1. PENDAHULUAN

Penggunaan batubara sebagai bahan bakar energi secara langsung maupun tidak langsung semakin diminati oleh industri yang ada di Indonesia karena lebih murah dan ketersediaannya juga cukup banyak. Salah satu penggunaan batubara sebagai energi secara tidak langsung adalah melalui pemanfaatan dan konversi batubara yakni proses gasifikasi. Teknologi ini prinsipnya mengubah batubara dari padat (*solid*) menjadi gas (*gaseous*) di dalam reaktor (*gasifier*). Produk gas yang dihasilkan melalui proses gasifikasi batubara memiliki nilai kalor yang dapat dimanfaatkan sebagai energi pada beberapa industri, seperti PLTD, pabrik pengeringan teh, atau juga memanfaatkan gas sintesis yang dihasilkan untuk bahan baku industri kimia.

Proses gasifikasi batubara bukanlah hal baru, melainkan telah ada 200 tahun yang lalu dan menjadi bagian yang penting dalam penyediaan energi dan bahan baku industri hingga saat ini. Perkembangan teknologi gasifikasi dipengaruhi oleh jumlah cadangan serta harga dari minyak dan gas bumi. Pada masa perang dunia II banyak dibangun pabrik gasifikasi untuk menggantikan minyak. Ketika ditemukan cadangan gas alam, maka industri teknologi gasifikasi tidak bisa berkompetisi. Ketika cadangan minyak dan gas bumi mulai menipis, maka teknologi gasifikasi menjadi menarik lagi. Data statistik tahun 2010 di dunia menunjukkan peningkatan pembangunan pabrik gasifikasi batubara, yaitu 11 buah sedang konstruksi dan 29 tahap perencanaan [1].

Gasifikasi batubara adalah sebuah proses dimana batubara atau char bereaksi dengan sebuah oksidator untuk memproduksi bahan bakar berupa gas yang kaya akan CO dan H₂. Reaktan utamanya adalah batubara, oksigen, steam (uap panas), dan hidrogen serta produk yang dihasilkan adalah karbon monoksida [2]. Produk gas yang akan dihasilkan melalui proses gasifikasi batubara tergantung dengan jenis pereaksi yang dipakai. Proses gasifikasi yang menggunakan pereaksi berupa campuran udara/uap air akan menghasilkan gas kalori rendah yang mampu membakar (*combustible gas*) dengan komponen utama berupa CO, H₂, sedikit CH₄ dan pengotor N₂ yang tinggi. Apabila menggunakan pereaksi oksigen/uap air maka dihasilkan gas yang berkalori menengah yang sering disebut juga dengan gas Lurgi dengan komponen utama CO, H₂, sedikit CH₄ dan pengotor N₂ lebih sedikit dari gas yang menggunakan pereaksi udara/uap air. Apabila gas yang dihasilkan dengan komponen CO dan H₂ diproses lebih lanjut bisa menghasilkan bahan-bahan kimia seperti pupuk dan SNG (*Syntetic Natural Gas*) dimana komponen utamanya adalah CH₄ [3]. Gasifikasi batubara ini, tidak mengubah seluruhnya batubara menjadi gas yang dibutuhkan oleh industri, melainkan menyisakan partikulat dalam bentuk padat maupun cairan. Sisa proses gasifikasi bentuk padatan antara lain abu, atau sering disebut dengan istilah abu dasar (*bottom ash*). Sedangkan sisa proses gasifikasi bentuk cairan antara lain ter dan larutan fenol. Terjadinya terak maupun ter ini diakibatkan temperatur leleh abu melewati temperatur gasifikasi [4].

Abu dasar (*bottom ash*) sisa proses gasifikasi batubara ini, menjadi masalah jika ditumpuk saja atau bahkan dibiarkan ke lingkungan sekitar yang bisa menimbulkan bahaya dan pencemaran. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.101 Tahun 2014 mengenai pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun menyatakan bahwa setiap limbah berbahaya beracun dan (limbah B-3) yang disisakan wajib dikelola serta dimanfaatkan [5]. Di Amerika Serikat pada tahun 2007 tercatat pemanfaatan limbah padat pembakaran batubara mencapai 126 juta ton atau 40 % dari yang dihasilkan. Limbah tersebut digunakan untuk bermacam kebutuhan industri semen dan beton, *backfilling* tambang, penetralan air asam tambang, konstruksi jalan, bahan pengisi (*filler*) [6]. Sementara di Eropa tercatat pemanfaatan limbah sebanyak 63,91 ton limbah padat pembakaran batubara [1]. Oleh sebab itu, pengolahan dan pemanfaatan dari abu dasar (*bottom ash*) sisa proses gasifikasi batubara perlu dilakukan dan pemanfaatannya untuk pembuatan material sipil, seperti pemanfaatan abu dasar (*bottom ash*) sebagai material agregat pada pembuatan batako. Batako adalah suatu jenis unsure bangunan yang berbentuk bata dengan bahan utama berupa semen Portland, air, dan agregat yang dipakai untuk pasangan dinding [7].

Menurut SNI 03-6821-2002 agregat ringan buatan didefinisikan sebagai agregat yang dibuat dengan membekahkan yaitu dengan memanaskan bahan-bahan seperti terak yang berasal dari peleburan besi, *diatome*, tanah liat, abu dari pembakaran batubara, batu tulis, batu serpih dan lempung [8]. Pemanfaatan abu batubara dalam penelitian ini *bottom ash* sisa proses gasifikasi batubara sebagai agregat ringan buatan jika berhasil akan menimalisir dari sisa proses gasifikasi batubara sehingga tidak mencemari lingkungan sekitarnya serta memenuhi Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *bottom ash dry* dan *bottom ash slag* sisa proses gasifikasi batubara secara fisik maupun kimia serta pengaruh penggunaan *bottom ash dry* dan *bottom ash slag* pada pembuatan batako sebagai agregat dengan parameter uji kuat tekan. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui kuat tekan maksimum yang dihasilkan dari batako berbahan baku *bottom ash dry* dan *bottom ash slag* sisa proses gasifikasi batubara.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Batubara, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Batubara. Sampel *bottom ash* dari unit gasifikasi Palimanan dikarakterisasi secara fisik dan kimia melalui analisis ayak, analisis proksimat, analisis nilai kalor, analisis *ash composition* serta pembuatan batako silinder berdasarkan ukuran butir, persentase abu dengan pasir dan pembuatan batako berbentuk balok dengan variasi lama waktu pengeringan.

Adapun sampel bahan baku pada penelitian ini adalah sampel awal berupa *bottom ash* sisa proses gasifikasi batubara dari reaktor gasifikasi skala *pilot plant* di Palimanan, Jawa Barat. *Bottom ash* yang digunakan ada dua jenis yaitu *bottom ash dry* dan *bottom ash slag*. Pada pembuatan benda uji berupa batako digunakan bahan campuran pasir dari dua jenis daerah yaitu pasir daerah Garut dan pasir dari daerah Sumedang serta bahan pengikat berupa semen merk "Holcim". Penelitian pembuatan batako dengan bahan utama *bottom ash* sisa proses gasifikasi batubara serta bahan campuran pasir ini menggunakan air dengan jumlah tertentu sebagai pereaksi semen untuk mengikat agregat.

Tahapan dalam penelitian ini dimulai dari preparasi sampel yaitu memisahkan sampel menjadi dua jenis : *bottom ash dry* dan *bottom ash slag*. Untuk *bottom ash slag* karena memiliki ukuran butir yang mayoritas diatas 5 cm, maka perlu dilakukan reduksi ukuran dengan *Jaw Crusher* merk "JAQUES" yang menghasilkan keluaran ukuran butir berdiameter sebesar 10 mm hingga 20 mm dan *Hammer Mill* yang menghasilkan keluaran ukuran

8 mesh. Kemudian kedua jenis sampel diayak menggunakan ayakan no.4, no.7, no.18 yang dimasukkan ke dalam wadah plastik sampel berukuran 20 cm x 40 cm dan dibiarkan di dalam suhu ruangan (25-26⁰ C). Selanjutnya dilakukan analisis ayak pada sampel *bottom ash dry* karena memiliki ukuran butir (*particle size*) yang beragam dengan cara menimbang sampel sebanyak 1000 gram dan diayak menggunakan ayakan no.4, no.7, no.18, no.60, dan no.100 secara *continue* dan dihitung persentase setiap ukuran butir yang lolos. Percobaan ini dilakukan sebanyak 5 kali.

Pada sampel awal *bottom ash dry* dan *bottom ash slag* dilakukan analisis proksimat, nilai kalor, dan komposisi abu untuk mengetahui karakteristik limbah *bottom ash*. Prosedur penelitian berikutnya adalah pembuatan benda uji batako berbentuk silinder berdasarkan ukuran butir *bottom ash dry* dan *slag*, persentase penggunaan *bottom ash dry* dan *slag* terhadap pasir dari daerah Garut dan Sumedang, dan pembuatan benda uji batako berbentuk balok dengan ukuran 23 cm x 10 cm x 5,4 cm. Ketiga jenis percobaan pembuatan benda uji batako ini, akan diuji kuat tekannya menggunakan alat uji kuat tekan *compressive machine test*.

Pembuatan benda uji berdasarkan ukuran butir ada 13 jenis ukuran butir dengan persentase yang ditentukan dapat dilihat pada Tabel 1, dimana ada 3 kelompok ukuran butir yaitu ukuran butir seragam (UB-1, UB-2, UB-3, dan UB-4), *blending* 2 jenis ukuran butir (UB-5, UB-6, UB-7, UB-8, UB-9, dan UB-10), dan *blending* 3 jenis ukuran butir (UB-11, UB-12, dan UB-13). Benda uji berupa batako silinder ini dikeringkan selama 4 hari dalam suhu ruangan (25-26⁰ C), yang kemudian dilakukan uji kuat tekannya menggunakan alat uji kuat tekan briket silinder.

Tabel 1. Jenis dan jumlah ukuran butir (*particle size*) agregat *bottom ash dry* dan *slag*

No	Ukuran Butir Agregat	Diameter Ukuran Butir (mm)	Persentase (%)	Berat Agregat (gram)	Kode Ukuran Butir
1	Seragam				
	Kasar	≥ 4,75	100	45,0	UB - 1
	Halus I	2,83 - 4,75	100	45,0	UB - 2
	Halus II	1 - 2,83	100	45,0	UB - 3
	Halus III	≤ 1	100	45,0	UB - 4
2	<i>Blending</i>				
	Kasar	≥ 4,75	70	31,5	UB - 5
	Halus I	2,83 - 4,75	30	13,5	
	Kasar	≥ 4,75	70	31,5	UB - 6
	Halus II	1 - 2,83	30	13,5	
	Kasar	≥ 4,75	70	31,5	UB - 7
	Halus III	≤ 1	30	13,5	
	Kasar	≥ 4,75	30	13,5	UB - 8
	Halus I	2,83 - 4,75	70	31,5	
	Kasar	≥ 4,75	30	13,5	UB - 9
	Halus II	1 - 2,83	70	31,5	
	Kasar	≥ 4,75	30	13,5	UB - 10
	Halus III	≤ 1	70	31,5	
Kasar	≥ 4,75	30	13,5	UB - 11	
Halus I	2,83 - 4,75	14	6,3		
Halus II	1 - 2,83	28	12,6		
Halus III	≤ 1	28	12,6		
Kasar	≥ 4,75	30	13,5	UB - 12	
Halus I	2,83 - 4,75	28	12,6		
Halus II	1 - 2,83	14	6,3		
Halus III	≤ 1	28	12,6		
Kasar	≥ 4,75	30	13,5	UB - 13	
Halus I	2,83 - 4,75	28	12,6		
Halus II	1 - 2,83	28	12,6		
Halus III	≤ 1	14	6,3		

Tabel 2. Persentase *bottom ash dry* dan *slag* dan pasir yang digunakan sebagai agregat

No	<i>Bottom Ash</i> (gram)	<i>Bottom Ash</i> (%)	Agregat Pasir (gram)	Agregat Pasir (%)
1	45,00	100	0	0
2	33,75	75	11,25	25
3	22,50	50	22,50	50
4	11,25	25	33,75	75
5	0	0	45	100

Pada pembuatan batako silinder berdasarkan persentase *bottom ash dry* dan *bottom ash slag* ukuran butir yang digunakan adalah ukuran butir yang menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi pada percobaan sebelumnya. Adapun persentase *bottom ash dry* dan *bottom ash slag* yang digunakan adalah 25%, 50%, 75%, dan 100 %. Benda uji berupa batako silinder ini dikeringkan selama 7 hari dalam suhu ruangan (25-26⁰ C), yang kemudian dilakukan uji kuat tekannya menggunakan alat uji kuat tekan briket silinder. Untuk jenis dan jumlah ukuran butir dan komposisi penggunaan *bottom ash dry* dan *slag* dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan lama waktu pengeringan pembuatan benda uji berupa batako memiliki komposisi yang sama pada tahap pembuatan batako berdasarkan persentase *bottom ash dry* dan *bottom ash slag* dengan lama waktu pengeringan yang berbeda yaitu 5 dan 10 hari, yang kemudian diuji kuat tekannya menggunakan *compressive machine test*.

Dalam penelitian ini, setiap sampel atau benda uji yang dibuat adalah sebanyak tiga sampel pada setiap variannya untuk mendapatkan nilai kuat tekan rata-rata. Metode statistik regresi linear sederhana digunakan pada penelitian ini untuk memperoleh nilai korelasi yang dari setiap variabel yang digunakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian analisis proksimat serta nilai kalori *bottom ash dry* dan *slag* dapat dilihat pada Tabel 3. Untuk hasil analisis ayak *bottom ash dry* dapat dilihat pada Tabel 4 serta hasil analisis komposisi abu *bottom ash dry* dan *bottom ash slag* dapat dilihat pada Tabel 5. Hasil uji kuat tekan batako silinder berdasarkan ukuran butir, penggunaan persentase *bottom ash dry* dan *bottom ash slag* terhadap pasir serta pembuatan batako berbentuk balok diperoleh setelah dilakukan uji kuat tekan dengan menggunakan alat uji kuat tekan (*compressive machine test*) dengan satuan kN (kilo newton) kemudian dibagi terhadap luas permukaan benda uji batako baik itu berbentuk silinder maupun berbentuk balok.

Tabel 3. Hasil analisis proksimat dan nilai kalori *bottom ash dry* dan *slag*

No	Parameter	Jenis <i>Bottom Ash</i>	
		<i>Bottom ash dry</i>	<i>Bottom ash slag</i>
1	Kadar air lembab (% , adb)	20,91	0,345
2	Kadar zat terbang (% , adb)	10,44	0,975
3	Kadar abu (% , adb)	41,04	97,935
4	Karbon terikat (% adb)	27,61	0,745
5	Nilai kalori (kal/gram)	3131,80	63,4

Tabel 4. Hasil analisis ayak *bottom ash dry*

No	No Ayakan	Ukuran butir (mesh)	Ukuran butir	Persentase rata-rata, %
1	4	+ 4	≥ 4,75 mm	28,39
2	7	+7 /-4	2,83 – 4,75 mm	18,52
3	18	+16 / -7	1 – 2,83 mm	31,31
4	60	+60 / -16	0 – 250 μ m	14,98
5	100	+ 100 / -60	250 –150 μ m	2,57
6	Lolos 100	- 100	≤ 150 μ m	3,76
Total				99,38
Losses				0,62

Tabel 5. Hasil analisis komposisi abu *bottom ash dry* dan *slag*

No	Parameter	<i>Bottom Ash Palimanan (%)</i>	
		<i>Bottom ash dry</i>	<i>Bottom ash slag</i>
1	SiO ₂	45,90	49,20
2	Al ₂ O ₃	20,20	22,60
3	Fe ₂ O ₃	15,91	13,12
4	K ₂ O	0,52	0,64
5	Na ₂ O	1,00	1,40
6	CaO	7,61	7,45
7	MgO	3,13	3,03
8	TiO ₂	1,28	1,39
9	MnO	0,11	0,083
10	P ₂ O ₅	0,41	0,34
11	SO ₃	2,04	0,60
12	LOI	0,26	0,047
13	H ₂ O	0,13	0,016

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *bottom ash* yang berasal dari reaktor gasifikasi batubara skala *pilot plant* di Palimanan, Jawa Barat, secara fisik dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu *bottom ash* jenis *bottom ash dry* (abu kering) yang memiliki ukuran butir beragam mulai dari kasar hingga sangat halus dan *bottom ash* jenis *bottom ash slag* (abu terak) yang mayoritas memiliki ukuran diameter lebih besar dari 5 cm, hal ini dikarenakan *bottom ash slag* ini merupakan abu yang meleleh pada suhu yang tinggi kemudian ke luar dari proses gasifikasi sebagai abu sisa menerima suhu yang rendah (perubahan drastis) sehingga abu langsung mengeras berbentuk terak (*slag*).

Hasil penelitian uji kuat tekan batako berdasarkan ukuran butir (*particle size*) *bottom ash dry* dan *slag* dapat dilihat pada Tabel 6. Hasil uji kuat tekan batako silinder berdasarkan persentase penggunaan *bottom ash dry* dan *slag* terhadap pasir dapat dilihat pada Tabel 7. Hasil uji kuat tekan batako berbentuk balok dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 6. Hasil uji kuat tekan berdasarkan ukuran butir *bottom ash dry* dan *slag*

Kode Ukuran Butir	Hasil Uji Kuat Tekan Rata-Rata (kg/cm ²)	
	<i>Bottom Ash Dry</i>	<i>Bottom Ash Slag</i>
UB -1	2,36	20,86
UB -2	3,47	22,03
UB -3	3,44	15,28
UB -4	1,23	18,97
UB -5	3,23	22,31
UB -6	5,21	20,23

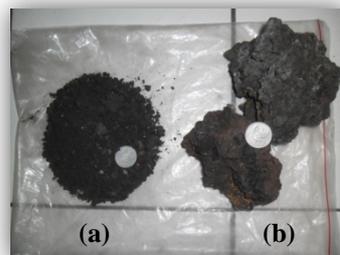
UB -7	6,59	22,33
UB -8	4,76	15,28
UB -9	4,94	19,63
UB -10	7,19	27,82
UB -11	8,53	20,86
UB -12	8,85	28,16
UB -13	6,79	23,55

Tabel 7. Hasil uji kuat tekan berdasarkan persentase *bottom ash dry* dan *slag* terhadap pasir

Kode Ukuran Butir Dry	Kode Ukuran Butir Slag	Bottom Ash		Pasir		Kuat Tekan Rata-rata (Kg/cm ²)			
		gr	%	gr	%	Dry : Pasir Garut	Dry : Pasir Sumedang	Slag : Pasir Garut	Slag : Pasir Sumedang
UB-10	UB-10	45	100	0	0	8,08	8,08	42,32	42,32
UB-11	UB-12					4,84	4,84	42,28	42,28
UB-12	UB-13					6,94	6,94	42,71	43,40
UB-10	UB-10	33,75	75	11,25	25	9,37	13,20	47,03	45,11
UB-11	UB-12					13,32	7,06	46,72	43,47
UB-12	UB-13					13,55	9,59	47,17	43,04
UB-10	UB-10	22,5	50	22,5	50	25,69	22,84	45,91	45,04
UB-11	UB-12					25,23	18,46	46,38	44,80
UB-12	UB-13					27,43	19,42	45,25	44,82
UB-10	UB-10	11,25	25	33,75	75	42,81	41,80	45,36	44,18
UB-11	UB-12					41,67	43,77	46,32	44,98
UB-12	UB-13					40,11	40,60	46,32	45,35
UB-10	UB-10	0	0	45	100	44,26	44,42	44,26	44,42
UB-11	UB-12								
UB-12	UB-13								

Tabel 8. Hasil uji kuat tekan batako berbentuk balok *bottom ash dry*

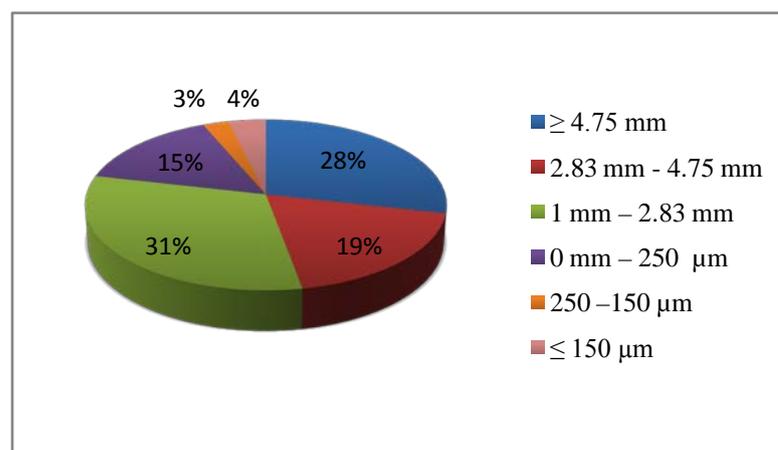
Persentase (%)		Kuat Tekan Batako Balok <i>Bottom Ash Dry</i> dengan Lama Waktu Pengeringan (kg/cm ²)		Kuat Tekan Batako Balok <i>Bottom Ash Slag</i> dengan Lama Waktu Pengeringan (kg/cm ²)	
<i>Bottom Ash</i>	Pasir	5 hari	10 hari	5 hari	10 hari
100	0	13,40	14,95	23,27	23,73
75	25	13,02	15,81	21,97	24,54
50	50	22,51	23,84	22,42	23,68
25	75	23,62	23,61	22,26	24,54
0	100	24,92	28,32	24,92	28,32



Gambar 1. *Bottom ash* jenis *bottom ash dry* (a) dan *bottom ash slag* (b)

Tabel 9. Karakteristik *bottom ash* sisa gasifikasi unit Palimanan secara fisik.

No	Parameter	<i>Bottom Ash</i>	
		<i>Bottom ash dry</i>	<i>Bottom ash slag</i>
1	Warna	Hitam	Coklat-hitam
2	Bentuk	Berbutir/granular	Menyudut/angular
3	Ukuran Butir	Bervariasi (0 s/d ≥ 4.75 mm)	90 % ukuran butir ≥ 5 cm
4	Lolos Ayakan No.4	70 – 75 %	-
	Lolos Ayakan No. 60	6 – 7 %	-
	Lolos Ayakan No.100	3 – 4 %	-

Gambar 2. Persentase analisis ayak *bottom ash dry* Palimanan.

Bottom ash dry (Gambar 1.a) secara fisik berwarna hitam gelap, berbentuk butiran-butiran (granular) serta memiliki ukuran butir (*particle size*) yang bervariasi, sedangkan *bottom ash slag* (Gambar 1.b) memiliki warna hitam kecoklatan, bentuknya dominan berupa bongkahan-bongkahan yang menyudut (angular) serta memiliki pori-pori. Karakteristik *bottom ash* secara fisik dapat dilihat ada Tabel 9. Hasil analisis ayak yang dilakukan pada *bottom ash dry* ada pada gambar 2.

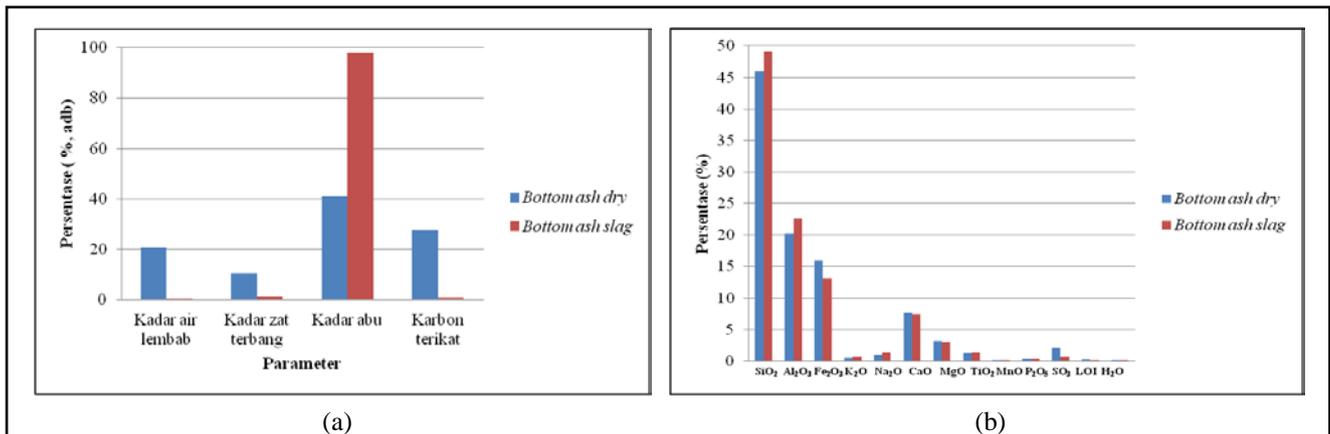
Hasil penelitian berdasarkan analisis proksimat *bottom ash dry* dan slag dari unit gasifikasi di Palimanan (Gambar 3.a) dapat diketahui bahwa *bottom ash* jenis *bottom ash dry* lebih tinggi kadar air lembabnya yaitu sebanyak 20,91 %, dibandingkan abu *bottom ash slag* yang hanya 0,34%, begitu juga untuk kadar zat terbang *bottom ash dry* lebih tinggi yakni sebesar 10,44% dan *bottom ash slag* hanya 0,97 %. Akan tetapi, *bottom ash slag* hampir seluruhnya berupa abu yakni *ash content*-nya mencapai 97,93 % dan untuk *bottom ash dry* kandungan abunya sebanyak 41,04 %. Sehingga, nilai *fixed carbon* yang masih terkandung di dalam *bottom ash dry* jauh lebih tinggi yaitu sebesar 27,61 % dengan nilai kalori 3131 kal/gram dibandingkan dengan *bottom ash slag* yang memiliki nilai *fixed carbon* sangat kecil yaitu 0,74 % dengan nilai kalori hanya 63,4 kal/gram. Dengan demikian, *bottom ash slag* dari unit gasifikasi Palimanan ini hampir seluruhnya sudah terbakar nilai kalorinya sebagai umpan pada saat proses gasifikasi, sedangkan *bottom ash dry* tidak terbakar sempurna karena masih memiliki nilai kalori yang cukup tinggi.

Hasil penelitian karakterisasi limbah gasifikasi batubara pada tahun 2010, menunjukkan bahwa karakteristik *bottom ash* limbah gasifikasi batubara yang berasal dari reaktor gasifikasi Palimanan maupun reaktor gasifikasi Medan dari segi komposisi abu didominasi oleh SiO_2 dan Al_2O_3 [5]. Diagram hasil analisis komposisi abu *bottom ash* Palimanan (Gambar 3.b) menunjukkan bahwa jumlah komposisi abu didominasi oleh SiO_2 dan Al_2O_3 . Senyawa SiO_2 dalam *bottom ash slag* lebih tinggi yaitu sebesar 49 % dibandingkan dengan *bottom ash dry* yang jumlahnya 45 %. Hal ini, bisa menguatkan dugaan bahwa *bottom ash slag* lebih mirip dengan pasir dibandingkan *bottom ash dry* dari segi persentase SiO_2 . Begitu juga untuk kandungan elemen Al_2O_3 pada *bottom ash slag* lebih besar yaitu 22 % dibandingkan dengan

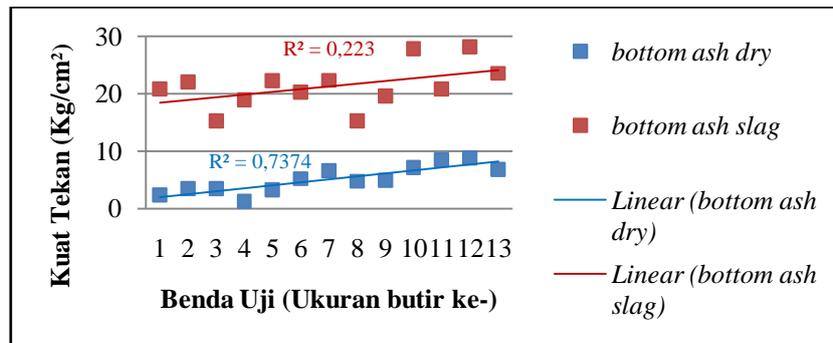
bottom ash dry yakni sebesar 20 %. Hal ini, bisa dikaitkan dengan sifat *pozzolan* yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan campuran pada pembuatan batako. Selain itu, kandungan elemen-elemen minor seperti K_2O , Na_2O , MgO , CaO , MnO persentase pada kedua jenis *bottom ash* sangat kecil, yakni tidak lebih dari 5 %, hal ini menunjukkan hal yang hampir sama dengan penelitian sebelumnya. Hasil analisis komposisi abu ini bisa dimasukkan pada (persamaan 1) untuk dapat mengetahui apakah bersifat asam atau basa. Apabila nilai rasio basa/asam abu batubara berada pada di antara 0,40 – 0,60 % maka *bottom ash* dikategorikan bersifat basa[5].

$$\text{Rasio basa/asam} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2} \tag{1}$$

Adapun hasil perhitungan menunjukkan nilai rasio basa/asam *bottom ash dry* dari unit gasifikasi Palimanan adalah sebesar 0,41 % untuk *bottom ash dry* dan *bottom ash slag* sebesar 0,35 %. Dari nilai tersebut diketahui bahwa *bottom ash dry* unit gasifikasi Palimanan termasuk kategori bersifat basa sedangkan *bottom ash slag* bersifat asam.



Gambar 3. Diagram analisis proksimat *bottom ash dry* dan *slag* (a) dan diagram hasil analisis komposisi abu *bottom ash dry* dan *slag* (B)

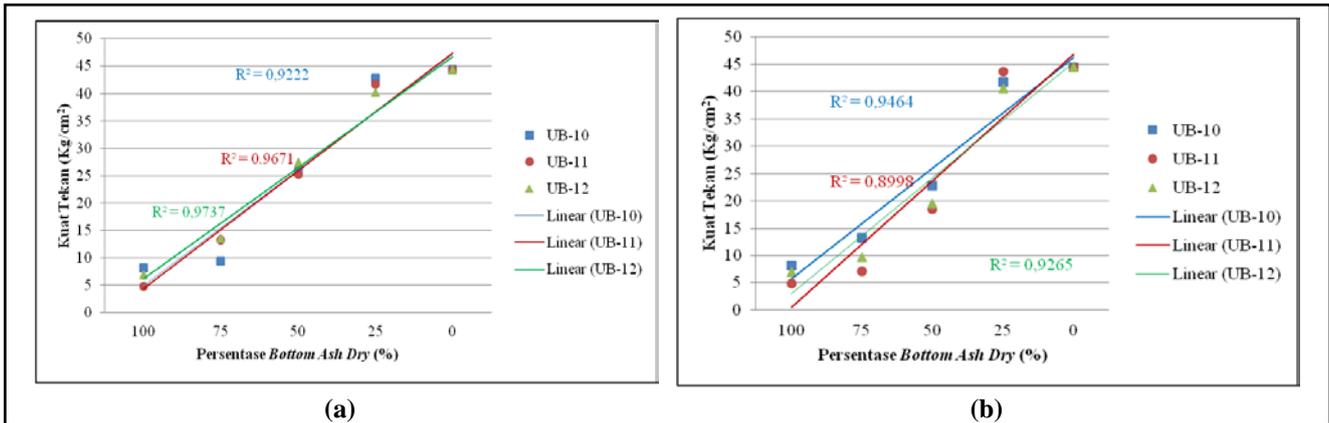


Gambar 4. Grafik hasil uji kuat tekan berdasarkan ukuran butir *bottom ash*.

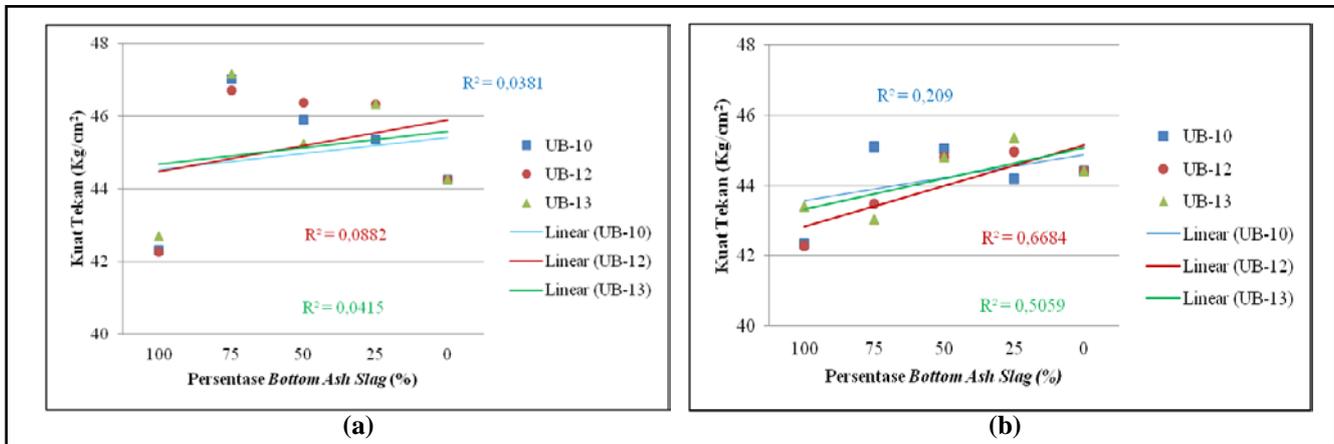
Hasil uji kuat tekan berdasarkan ukuran butir (*particle size*) *bottom ash dry* dan *bottom ash slag* ada pada tabel 8, dengan hasil uji kuat tekan maksimum (3 ukuran butir tertinggi kuat tekannya) yang dihasilkan oleh batako silinder untuk *bottom ash dry* adalah : UB-10 dengan rata-rata 7,19 kg/cm², UB-11 dengan rata-rata 8,53 kg/cm², dan UB-12 dengan rata-rata 8,85 kg/cm². Untuk *bottom ash slag* adalah : UB-10 dengan rata-rata 27,82 kg/cm², UB-12 dengan rata-rata 28,16 kg/cm² dan UB-13 dengan rata-rata 23,55 kg/cm².

Pada percobaan pembuatan batako berbentuk silinder berdasarkan ukuran butir (*particle size*) dilakukan 3 variasi ukuran butir yaitu : ukuran butir seragam, *blending* 2 jenis ukuran butir dan *blending* tiga jenis ukuran butir. Dari hasil seluruh percobaan ukuran butir (*particle size*) *bottom ash* jenis *bottom ash dry* diketahui bahwa ukuran butir yang semakin beragam memberikan pengaruh terhadap kuat tekan batako silinder yaitu semakin beragam ukuran butir kuat tekan batako semakin meningkat dengan sumbangan korelasi sebesar 73,74 % , sedangkan untuk *bottom ash slag* pengaruh ukuran butir yang semakin beragam tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap kuat tekan batako

silinder karena sumbangan korelasi hanya sebesar 22,3 %, hal ini ditunjukkan oleh grafik hasil uji kuat tekan berdasarkan ukuran butir *bottom ash* (Gambar 4). Ukuran butir yang seragam saja tidak bisa digunakan sebagai agregat secara penuh karena menghasilkan kuat tekan yang rendah baik itu untuk *bottom ash dry* maupun *bottom ash slag*. Hal ini dikarenakan daya ikat antar partikel yang seragam rendah sementara semen yang jumlahnya 10% tidak bisa seluruhnya mengikat partikel yang seragam, baik itu partikel kasar maupun partikel yang sangat halus. Dengan percobaan variasi waktu pengeringan 5 hari dan 10 hari menunjukkan bahwa kuat tekan batako meningkat 0,5 hingga 3 kg/cm². Kuat tekan yang dihasilkan batako berbentuk balok penggunaan 100 % *bottom ash dry* sebesar 13 -14 kg/cm² yang tidak memenuhi kuat tekan masing-masing benda uji dalam standar SNI 03-0349-1989, sedangkan *bottom ash slag* sebesar 23 kg/cm² yang dikategorikan dalam mutu IV.



Gambar 5. Grafik hasil uji kuat tekan berdasarkan persentase *bottom ash dry* dengan pasir Garut (a) dan pasir Sumedang (b)



Gambar 6. Grafik hasil uji kuat tekan berdasarkan persentase *bottom ash slag* dengan pasir Garut (a) dan pasir Sumedang (b)

Dari grafik hasil uji berdasarkan persentase *bottom ash dry* dengan pasir (Gambar 5) menunjukkan bahwa ada pengaruh persentase penggunaan *bottom ash dry* pada pembuatan batako terhadap uji kuat tekan, yakni semakin sedikit jumlah *bottom ash dry* kuat tekan semakin meningkat, sedangkan untuk *bottom ash slag* (Gambar 6) tidak memberikan pengaruh yang besar. Kaut tekan maksimum yang dihasilkan penggunaan *bottom ash dry* sebesar 43,77 kg/cm² pada komposisi *bottom ash dry* sebanyak 25 % dari berat agregat, sedangkan *bottom ash slag* menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 47,17 kg/cm² pada saat komposisi *bottom ash slag* sebanyak 75 % dari berat agregat.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini, adalah sebagai berikut :

1. Secara fisik *bottom ash dry* berwarna hitam gelap, ukuran butir beragam dan berbentuk granular, sedangkan *bottom ash slag* mayoritas berupa bongkahan, berbentuk angular (menyudut) dengan warna hitam-kecoklatan. Secara kimiawi, keduanya didominasi oleh SiO_2 dan Al_2O_3 dengan persentase SiO_2 45,90% dan Al_2O_3 20,20% untuk *bottom ash slag*, SiO_2 sebanyak 49,20% dan Al_2O_3 sebanyak 22,60% untuk *bottom ash dry*. *Bottom ash dry* mengandung *fixed carbon* sebesar 27,61% dengan nilai kalor 3131 kal/gram sedangkan *bottom ash slag* mengandung *fixed carbon* sebesar 0,74% dengan nilai kalori 63,4 kal/gram.
2. Berdasarkan ukuran butir dari *bottom ash dry* diketahui bahwa kuat tekan batako yang dihasilkan sebesar 1,23 kg/cm² hingga 8,85 kg/cm² dan *bottom ash slag* sebesar 15,28 kg/cm² hingga 28,16 kg/cm². Ukuran butir dari *bottom ash dry* memiliki pengaruh terhadap kuat tekan batako silinder yakni semakin beragam ukuran butir kuat tekan batako semakin meningkat dengan sumbangan korelasi sebesar 74,73%. Sedangkan untuk ukuran *bottom ash slag* tidak memiliki pengaruh yang besar terhadap kuat tekan batako dengan sumbangan korelasi sebesar 22,3%.
3. Pengaruh penggunaan *bottom ash dry* pada pembuatan batako silinder berdasarkan komposisinya adalah semakin sedikit persentase *bottom ash dry* (jumlah pasir semakin banyak) maka kuat tekan batako semakin meningkat, sedangkan *bottom ash slag* tidak memberikan pengaruh yang besar. Kuat tekan maksimum yang dihasilkan *bottom ash dry* sebesar 43,77 kg/cm² pada komposisi *bottom ash dry* sebesar 25% dari berat agregat dan 47,17 kg/cm² pada saat komposisi *bottom ash slag* sebesar 75% dari berat agregat.
4. Pada pembuatan batako berbentuk balok dengan dimensi rata-rata 22,7 cm x 9,7 cm x 4,6 cm untuk *bottom ash dry* memiliki kuat tekan 13 kg/cm² hingga 23 kg/cm² dan *bottom ash slag* memiliki kuat tekan 23 kg/cm² hingga 24 kg/cm², dimana batako dari *bottom ash dry* tidak memenuhi standar SNI 03-0349-1989 dan batako dari *bottom ash slag* masuk dalam kategori mutu IV. Dengan percobaan lama waktu pengeringan 5 hari dan 10 hari, kekuatan benda uji batako berbentuk balok meningkat dari 0,5 kg/cm² hingga 3 kg/cm², namun dimensinya belum sesuai dengan standar SNI 03-0349-1989.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Ir. Miftahul Huda dan Fahmi Sulistyohadi, S.T selaku pembimbing di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daulay, B., Umar, D. F., Suprpto, S., Soemaryono., Ningrum, N.S., Huda, M., dkk. (2012). *Teknologi Pemanfaatan Batubara Indonesia*. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- [2] Smooth, L. D., Phillips, J.S. (1985). *Coal Combustion and Gasification*. New York : Plenum Press.
- [3] Higman, C., van der Burgt, M. (2003). *Gasification*. New York: Gulf Professional Publishing.
- [4] Susandi, A., Suhartono, Susanto, H. (2006). Pemanfaatan Gasifikasi Batubara Untuk Unit Pengeringan Teh. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 5(2) : 443-452.
- [5] Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia Nomor 101 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (2014). (<http://www.hukumonline.com/pusatdata/download/lt5493ed8466a20/node/lt5493ed2d05c77>), diakses Juni 2015.
- [6] Sodikin, I., Khairunnisa, H., Suprpto, S., Soemaryono, Heryadi, D. (2010). *Karakterisasi Limbah Gasifikasi Batubara*. Laporan Akhir Kegiatan Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara. Bandung : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- [7] Badan Standarisasi Nasional. (1989). *Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-0349-1989 Bata Beton Untuk Pasangan Dinding*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- [8] Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6821-2002 Agregat Ringan Untuk Batu Cetak Beton Pasangan Dinding*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.