

PEMANFAATAN LIMBAH NON B3 *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* DARI KEGIATAN PLTU SEBAGAI SUBSTITUSI BAHAN BAKU PEMBUATAN *PAVING BLOCK* DAN *BATAKO*

THE UTILIZATION OF NON B3 WASTE FLY ASH AND BOTTOM ASH FROM PLTU ACTIVITY AS A RAW MATERIAL SUBSTITUTION FOR MANUFACTURING PAVING BLOCK AND BRICK

Nutfahryza Erzha^{1,*}, Saibun Sitorus², Aman Sentosa Pangabean²

¹ Program Magister Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana, Universitas Mulawarman, Samarinda, 75119, Kalimantan Timur, Indonesia

² Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Samarinda, 75123, Kalimantan Timur, Indonesia

* Corresponding Author : nutfahryza.e@gmail.com

Article History

Submitted : 22 July 2024

Accepted: 23 August 2024

ABSTRACT

The use of coal in power plant activities will produce solid waste in the form of fly ash and bottom ash. Alternative management to reduce the volume of ash waste is through utilization. Therefore, this study aims to determine the toxic characteristics of bottom ash fly ash waste, determine the physical properties of the compressive strength of paving blocks and bricks from the substitution of fly ash and bottom ash, as well as the most optimal proportion of substitution of the product based on the compressive strength parameter. Compatibility of Toxic Waste Characteristics is carried out through the Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) test. Variation of optimal substitution for compressive strength is known through variations of fly ash and bottom ash substitution, for brick products which are 5%, 10%, 15%, and 20%, and for paving blocks which are 10%, 20%, 30%, and 40%. Through the TCLP test, it is known that the waste is below the TCLP A and TCLP B quality standards so it can be categorized as non toxic and hazardous waste. The results of using fly ash and bottom ash in brick products meet the requirements for compressive strength according to SNI 03-0349-1989. The results of using fly ash and bottom ash in paving block products meet the requirements for compressive strength according to SNI 03-0691-1996. The optimal variation of fly ash substitution for bricks is with 5% fly ash substitution that produces a compressive strength value of 201.42 kg/cm² and paving blocks with 10% fly ash substitution that produces a compressive strength value of 225.01 kg/cm². The optimal variation of bottom ash substitution for brick is with 5% bottom ash substitution that produces a compressive strength value of 226.30 kg/cm² and for paving block is with 10% bottom ash substitution that produces a compressive strength value of 308.22 kg/cm².

Keywords: Fly Ash, Bottom Ash, Brick, Paving Block, Compressive Strength.

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan sektor yang paling banyak menggunakan batubara. Dari hasil pembakaran batubara dihasilkan sekitar 5% limbah padat yang berupa abu (*fly ash* dan *bottom ash*), dimana sekitar 10-20% adalah abu dasar (*bottom ash*) dan sekitar 80-90% abu terbang (*fly ash*) dari total abu yang dihasilkan.¹ Sampai saat ini, metode

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



pengelolaan limbah yang utama digunakan oleh PT. X ialah dengan menggunakan metode konvensional yaitu penumpukan abu batubara pada *ash yard* yang telah disiapkan dan limbah

fly ash dan *bottom ash* dikelola sebagai limbah B3. Dengan terbitnya Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup diatur bahwa limbah *fly ash* dan *bottom ash* yang memenuhi beberapa kriteria dapat dikategorikan merupakan non limbah B3 dan dapat dimanfaatkan.²

Mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 19 Tahun 2021 tentang Tata Cara Pengelolaan Limbah Nonbahan Berbahaya dan Beracun Pasal 3 menyebutkan bahwa sebagai salah satu bentuk pengelolaan limbah Non-B3 yaitu dengan cara memanfaatkan limbah non-B3 yang dihasilkan oleh suatu usaha dan/atau kegiatan sesuai dengan standar yang berlaku di Indonesia.³ Beberapa penelitian terdahulu terhadap pemanfaatan limbah *fly ash* dan *bottom ash* untuk substitusi bahan baku untuk pembuatan produk seperti batako dan *paving block* menunjukkan hasil yang baik terhadap kualitas fisis produk yang dihasilkan, hal tersebut disebabkan adanya kemiripan sifat-sifat fisik dan kimia penyusun *fly ash* dan *bottom ash* dengan material semen, hal ini menjadikan *fly ash* dan *bottom ash* dapat digunakan sebagai material pengganti untuk mengurangi jumlah semen sebagai material penyusun beton.⁴

Tujuan pada penelitian ini yaitu mengetahui kesesuaian karakteristik beracun melalui uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) limbah *fly ash* dan *bottom ash* PT. X terhadap baku mutu uji TCLP yang diatur pada Lampiran XI Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, mengetahui karakteristik sifat fisis melalui uji kuat tekan *paving block* dan batako yang dihasilkan dari hasil substitusi bahan baku *fly ash* dan *bottom ash* terhadap syarat kuat tekan menurut SNI dan mengetahui persentase penggunaan limbah *fly ash* dan *bottom ash* terhadap berat campuran bahan baku pembuatan batako dan *paving block* yang dapat memberikan hasil optimal pada pengujian kuat tekan.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

2.1.1. Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu timbangan, cetakan *paving block* dan batako, tongkat press manual, ruskam dan *compression testing machine*.

2.1.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu limbah pembakaran batubara berupa *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan dari PLTU PT X, semen portland, pasir dan air bersih.

2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan dimulai dari perumusan masalah dan tujuan berdasarkan pada permasalahan dan tinjauan pustaka, pengujian material, pembuatan benda uji, analisis data dan penarikan kesimpulan hasil penelitian. Adapun prosedur penelitian yaitu sebagai berikut.

2.2.1. Pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP)

Pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) dilakukan di laboratorium terhadap sampel uji yang telah disiapkan dengan parameter uji yaitu arsen, kadmium, krom valensi enam, tembaga, timbal, merkuri, nikel, selenium dan seng.

2.2.2. Tahap Prosedur Kedua

Pembuatan benda uji batako dan *paving block* dilakukan dengan variasi substitusi yaitu sebagai berikut sesuai pada **Tabel 1** hingga **Tabel 4**.

Tabel 1. Variasi Subtitusi *Fly Ash* dan Semen pada Pembuatan Batako

No.	Variasi Subtitusi	Campuran (%)		
		<i>Fly Ash</i>	Semen (PCC)	Pasir
1.	Kontrol	0	20	80
2.	A	5	15	80
3.	B	10	10	80
4.	C	15	5	80
5.	D	20	0	80

Tabel 2. Variasi Subtitusi *Bottom Ash* dan Semen pada Pembuatan Batako

No.	Variasi Subtitusi	Campuran (%)		
		<i>Bottom Ash</i>	Semen (PCC)	Pasir
1.	Kontrol	0	20	80
2.	A	5	15	80
3.	B	10	10	80
4.	C	15	5	80
5.	D	20	0	80

Tabel 3. Variasi Subtitusi *Fly Ash* dan Semen pada Pembuatan *Paving Block*

No.	Variasi Subtitusi	Campuran (%)		
		<i>Fly Ash</i>	Semen (PCC)	Pasir
1.	Kontrol	0	40	60
2.	A	10	30	60
3.	B	20	20	60
4.	C	30	10	60
5.	D	40	0	60

Tabel 4. Variasi Subtitusi *Bottom Ash* dan Semen pada Pembuatan *Paving Block*

No.	Variasi Subtitusi	Campuran (%)		
		<i>Bottom Ash</i>	Semen (PCC)	Pasir
1.	Kontrol	0	40	60
2.	A	10	30	60
3.	B	20	20	60
4.	C	30	10	60
5.	D	40	0	60

2.2.3. Pemeliharaan Benda Uji

Penyimpanan benda uji pada tempat yang tidak langsung terkena sinar matahari dan melakukan penyiraman setiap 3 hari sekali untuk mengurangi keretakan pada benda uji.

2.2.4. Pemeliharaan Benda Uji

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk masing-masing benda uji setelah mencapai umur 28 hari. Pengujian kuat tekan dilaksanakan sesuai dengan metode pengujian yang terdapat pada SNI 03-1974-1990 dengan menggunakan *compression testing machine*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Beracun *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Uji karakteristik beracun *fly ash* dan *bottom ash* dilakukan terhadap sampel *fly ash* dan *bottom ash* secara komposit dengan perbandingan 1 : 1 terhadap berat bahan untuk

selanjutnya dilakukan pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP). Hasil pengujian TCLP terhadap sampel *fly ash* dan *bottom ash* yaitu pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Uji TCLP

No.	Zat Pencemar	Baku Mutu		Hasil Uji (mg/L)
		TCLP-A (mg/L)	TCLP-B (mg/L)	
1.	Arsen, As	3	0,5	<0,01
2.	Kadmium, Cd	0,9	0,15	<0,004
3.	Krom valensi enam, Cr ⁶⁺	15	2,5	<0,07
4.	Tembaga, Cu	60	10	<0,01
5.	Timbal, Pb	3	0,5	<0,01
6.	Merkuri, Hg	0,3	0,05	<0,01
7.	Nikel, Ni	21	3,5	0,03
8.	Selenium, Se	3	0,5	<0,01
9.	Seng, Zn	300	50	<0,08

Sumber : Laboratorium Sucofindo, 2022

Baku mutu : Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Lampiran XI/Baku Mutu Marakteristik Beracun melalui TCLP untuk Penetapan Kategori Limbah B3)

Berdasarkan hasil uji TCLP terhadap sampel *fly ash* dan *bottom ash* jika dibandingkan dengan baku mutu sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Lampiran XI/Baku Mutu Marakteristik Beracun melalui TCLP untuk Penetapan Kategori Limbah B3), secara keseluruhan parameter menunjukkan masih berada dibawah baku mutu baik baku mutu TCLP A maupun baku mutu TCLP B.

3.2 Kesesuaian Uji Kuat Tekan Batako terhadap SNI

Berdasarkan hasil penelitian pengujian kuat tekan sampel batako terhadap mutu batako berdasarkan SNI 03-0349-1989 tentang Bata Beton untuk Pasangan Dinding didapatkan hasil pada **Tabel 6**.

Tabel 3. Hasil Uji Kuat Tekan Batako terhadap Mutu SNI

No.	Variasi Subtitusi	Kuat Tekan Rerata (kg/cm ²)	Mutu SNI
1.	Kontrol (Tanpa Subtitusi Fly Ash dan Bottom Ash)		
A.	FA 0%; BA 0%; Semen 20%; Pasir 80%	188.20	Mutu I
2.	Variasi Subtitusi Fly Ash dan Semen pada Pembuatan Batako		
A.	FA 5%; Semen 15%; Pasir 80%	201.42	Mutu I
B.	FA 10%; Semen 10%; Pasir 80%	190.01	Mutu I
C.	FA 15%; Semen 5%; Pasir 80%	180.16	Mutu I
D.	FA 20%; Semen 0%; Pasir 80%	111.21	Mutu I
3.	Variasi Subtitusi Bottom Ash dan Semen pada Pembuatan Batako		
A.	BA 5%; Semen 15%; Pasir 80%	226.30	Mutu I
B.	BA 10%; Semen 10%; Pasir 80%	200.12	Mutu I
C.	BA 15%; Semen 5%; Pasir 80%	90.21	Mutu II
D.	BA 20%; Semen 0%; Pasir 80%	16.07	Dibawah baku mutu

Berdasarkan hasil uji kuat tekan terhadap benda uji batako dapat disimpulkan bahwa substitusi *fly ash* dan *bottom ash* pada pembuatan batako dapat meningkatkan kualitas kuat tekan terhadap batako. Persentase substitusi maksimal *fly ash* pada pembuatan batako dapat dilakukan hingga 20% atau 100% dapat menggantikan komposisi semen dengan

menghasilkan batako yang masih memiliki mutu I berdasarkan SNI. Sedangkan persentase substitusi maksimal *bottom ash* pada pembuatan batako hanya dapat dilakukan maksimal 15% atau 75% dapat menggantikan komposisi semen dengan menghasilkan produk yang memiliki mutu II berdasarkan SNI.

3.3 Kesesuaian Uji Kuat Tekan *Paving Block* terhadap SNI

Berdasarkan hasil penelitian pengujian kuat tekan benda uji *paving block* terhadap mutu *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving block*) didapatkan hasil pada **Tabel 7**.

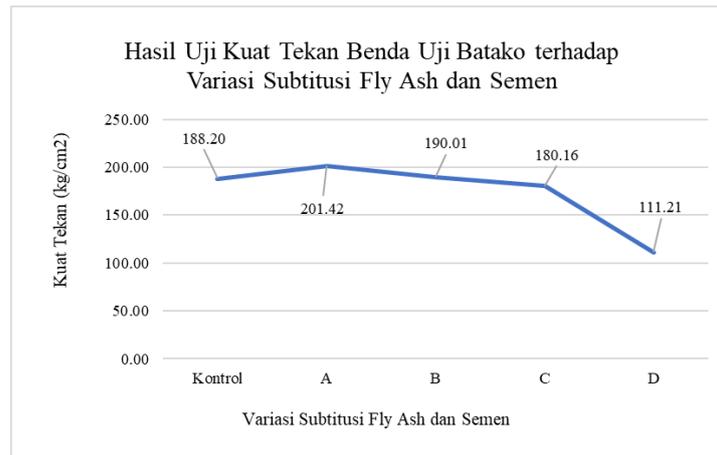
Tabel 7. Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* terhadap Mutu SNI

No.	Variasi Substitusi	Kuat Tekan Rerata (kg/cm ²)	Mutu SNI	Peruntukan SNI
1. Kontrol (Tanpa Penambahan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>)				
A.	FA 0%; BA 0%; Semen 40%; Pasir 60%	169.53	D	Taman dan Penggunaan Lain
2. Variasi Substitusi <i>Fly Ash</i> dan Semen pada Pembuatan <i>Paving Block</i>				
A.	FA 10%; Semen 30%; Pasir 60%	225.01	C	Pejalan Kaki
B.	FA 20%; Semen 20%; Pasir 60%	191.31	C	Pejalan Kaki
C.	FA 30%; Semen 10%; Pasir 60%	135.57	D	Taman dan Penggunaan Lain
D.	FA 40%; Semen 0%; Pasir 60%	99.28	Dibawah Baku Mutu	-
3. Variasi Substitusi <i>Bottom Ash</i> dan Semen pada Pembuatan <i>Paving Block</i>				
A.	BA 10%; Semen 30%; Pasir 60%	308.22	B	Peralatan Parkir
B.	BA 20%; Semen 20%; Pasir 60%	228.38	C	Pejalan Kaki
C.	BA 30%; Semen 10%; Pasir 60%	239.26	C	Pejalan Kaki
D.	BA 40%; Semen 0%; Pasir 60%	116.13	Dibawah Baku Mutu	-

Berdasarkan hasil uji kuat tekan terhadap benda uji batako dapat disimpulkan bahwa substitusi *fly ash* dan *bottom ash* pada pembuatan *paving block* dapat meningkatkan kualitas kuat tekan terhadap *paving block*. Persentase substitusi maksimal *fly ash* pada pembuatan *paving block* dapat dilakukan hingga 30% atau 75% dapat menggantikan komposisi semen dengan menghasilkan *paving block* yang masih memiliki mutu D berdasarkan SNI. Sama halnya persentase substitusi maksimal *bottom ash* pada pembuatan *paving block* dapat dilakukan hingga 30% atau 75% dapat menggantikan komposisi semen dengan menghasilkan produk yang memiliki mutu C berdasarkan SNI.

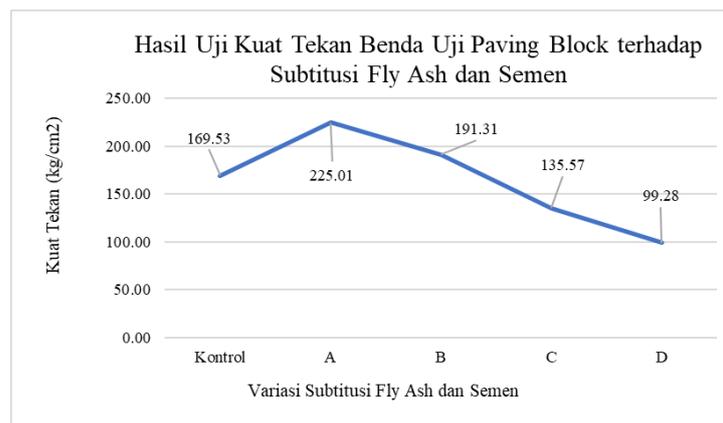
3.4 Variasi Substitusi *Fly Ash* dan Semen terhadap Uji Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan benda uji batako dan *paving block* dengan substitusi *fly ash* dan semen dari masing-masing variasi substitusi digambarkan secara grafik pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Batako terhadap Variasi Substitusi *Fly Ash* dan Semen

Dari grafik hasil uji kuat tekan benda uji batako terhadap variasi substitusi *fly ash* dan semen (**Gambar 1**) terlihat adanya variasi nilai kuat tekan dengan penambahan *fly ash* dimana terjadi kenaikan kuat tekan pada variasi substitusi A yaitu substitusi *fly ash* sebesar 5%, namun hasil uji kuat tekan optimal hanya diperoleh dari substitusi *fly ash* sebesar 5%. Sedangkan dengan peningkatan persentase substitusi *fly ash* menjadi 10%, 15% dan 20% menghasilkan nilai kuat tekan yang secara berurutan semakin menurun. Hal tersebut membuktikan bahwa dengan penambahan *fly ash* dapat meningkatkan kualitas *paving block* hal ini dapat disebabkan abu batubara bisa sebagai pengisi (*filler*) yang akan menambah internal kohesi dan mengurangi porositas daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam *paving block*, sehingga *paving block* akan semakin kuat.⁵ Sedangkan dengan peningkatan persentase substitusi dan mengurangi persentase semen akan menyebabkan kuat tekan semakin menurun, pada kondisi berkurangnya semen pada variasi substitusi maka akan menghilangkan fungsi inti semen sebagai bahan pengikat sehingga diperoleh nilai kuat tekan yang semakin menurun.⁶ Dari hasil uji kuat tekan pula didapatkan hasil bahwa persentase optimum yang akan menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi pada batako yaitu maksimal persentase *fly ash* sebesar 5%.



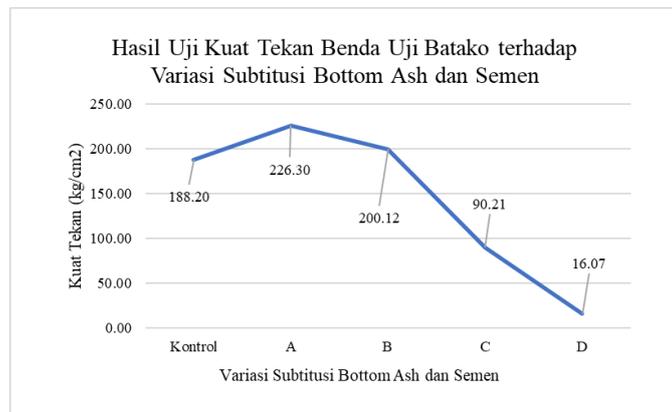
Gambar 2. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* terhadap Variasi Substitusi *Fly Ash* dan Semen

Dari grafik hasil uji kuat tekan benda uji *paving block* terhadap variasi substitusi *fly ash* dan semen (**Gambar 2**) terlihat adanya variasi nilai kuat tekan dengan penambahan *fly ash* dimana terjadi kenaikan kuat tekan pada variasi substitusi A yaitu substitusi *fly ash* sebesar 10%, namun nilai kuat tekan optimal hanya dihasilkan dari persentase substitusi sebesar 10%. Sedangkan dengan ditingkatkannya persentase substitusi menjadi 20%, 30% dan 40%

secara berurutan menghasilkan nilai kuat tekan yang semakin menurun. Substitusi *fly ash* sebesar 10% merupakan substitusi optimum dapat disebabkan dengan substitusi *fly ash* 10% fungsi aditif dari *fly ash* berfungsi sebagai filler dan dapat mengurangi porositas pada *paving block* sehingga meningkatkan nilai kuat tekan pada *paving block*. Sedangkan pada persentase *fly ash* dinaikan dan persentase semen berkurang maka akan menghilangkan fungsi inti semen sebagai bahan pengikat sehingga diperoleh nilai kuat tekan yang semakin menurun.⁶ Dari hasil uji kuat tekan pula didapatkan hasil bahwa persentase optimum yang akan menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi pada *paving block* yaitu maksimal persentase *fly ash* sebesar 10%.

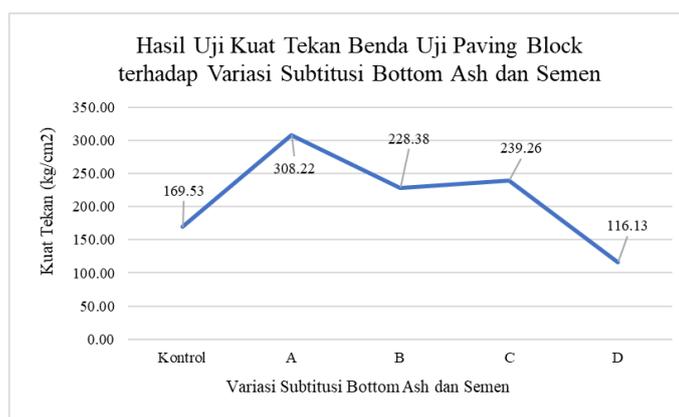
3.5 Variasi Substitusi *Bottom Ash* dan Semen terhadap Nilai Uji Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan benda uji batako dan *paving block* terhadap variasi substitusi *bottom ash* dan semen dari masing-masing variasi substitusi digambarkan secara grafik pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Batako terhadap Variasi Substitusi *Bottom Ash* dan Semen

Dari grafik hasil uji kuat tekan benda uji batako terhadap variasi substitusi *bottom ash* dan semen (**Gambar 3**) terlihat adanya variasi nilai kuat tekan dengan penambahan *bottom ash* dimana terjadi kenaikan kuat tekan pada variasi substitusi A yaitu substitusi *bottom ash* 5%, namun persentase substitusi yang menghasilkan nilai kuat tekan optimal hanya pada substitusi *bottom ash* 5%. Sedangkan dengan terus ditingkatkannya persentase substitusi *bottom ash* pada batako yaitu 10%, 15% dan 20% nilai kuat tekan akan semakin menurun. Terjadinya kenaikan kuat tekan pada persentase substitusi *bottom ash* sebesar 5% diakibatkan karena senyawa kimia *bottom ash* yang relatif sama dengan senyawa kimia penyusun *fly ash* yang berfungsi sebagai bahan aditif pada reaksi semen dan pasir untuk pembentukan beton sehingga dapat menambah kekuatan beton. Pada kondisi ditingkatkannya persentase substitusi *bottom ash* dan pengurangan persentase semen akan menghasilkan benda uji yang memiliki nilai kuat tekan yang semakin menurun secara signifikan hal ini berkurangnya semen akan menghilangkan fungsi inti semen sebagai bahan pengikat dan besarnya partikel pada *bottom ash* akan menimbulkan rongga yang besar pada beton sehingga tidak efisiennya reaksi ikatan pada beton dan akan menyebabkan kuat tekan yang secara signifikan menurun.⁶ Dari hasil uji kuat tekan pula didapatkan hasil bahwa persentase optimum yang akan menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi pada batako yaitu maksimal persentase *bottom ash* sebesar 5%.



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* terhadap Variasi Substitusi *Bottom Ash* dan Semen

Dari grafik hasil uji kuat tekan benda uji *paving block* terhadap variasi substitusi *bottom ash* dan semen terlihat adanya variasi nilai kuat tekan dengan penambahan *bottom ash* dimana terjadi kenaikan kuat tekan pada variasi substitusi A yaitu substitusi *bottom ash* 10%, namun persentase substitusi *bottom ash* yang menghasilkan nilai kuat tekan optimum hanya pada substitusi *bottom ash* 10%. Pada penambahan substitusi *bottom ash* 20% menghasilkan nilai kuat tekan yang menurun dan pada substitusi *bottom ash* 30% menghasilkan nilai kuat tekan yang meningkat dari 228,38 kg/cm² menjadi 239,26 kg/cm², namun peningkatan nilai kuat tekan tidak signifikan dan apabila persentase substitusi ditingkatkan menjadi 40% menghasilkan nilai kuat tekan yang menurun secara signifikan. Kenaikan nilai kuat tekan yang dihasilkan dari adanya substitusi *bottom ash* sebesar 5% pada benda uji *paving block* dapat disebabkan karena *bottom ash* memiliki kimia penyusun sama halnya dengan bahan penyusun *fly ash* yang memiliki kemampuan bereaksi dengan semen ketika bereaksi dengan air sehingga dapat menambah kuat tekan pada produk *paving block*. Variasi penambahan *bottom ash* dan pengurangan semen pada variasi substitusi pembuatan produk secara signifikan mengurangi nilai kuat tekan hal ini disebabkan partikel *bottom ash* yang berukuran besar sehingga menyebabkan produk *paving block* dan batako berpori lebih besar dan mengurangi daya ikat pada beton. Selain itu pengurangan semen pada batako dan *paving block* juga mengurangi kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) yang dibebaskan dari reaksi semen dengan air sehingga membuat kuat tekan pada benda uji batako dan *paving block* menurun. Dari hasil uji kuat tekan pula didapatkan hasil bahwa persentase optimum yang akan menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi pada *paving block* yaitu maksimal persentase *bottom ash* sebesar 10%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji TCLP terhadap sampel *fly ash* dan *bottom ash* secara komposit secara keseluruhan parameter menunjukkan masih berada dibawah baku mutu sehingga tidak termasuk limbah bahan berbahaya dan beracun kategori 1 maupun kategori 2. Berdasarkan percobaan keseluruhan variasi substitusi menghasilkan benda uji batako yang memenuhi syarat kualitas batako berdasarkan SNI 03-0349-1989. Sedangkan percobaan pembuatan benda uji *paving block* terdapat variasi substitusi yang masih berada dibawah baku mutu yaitu substitusi *fly ash* 40% dan *bottom ash* 40%. Variasi optimal substitusi *fly ash* untuk batako yaitu dengan substitusi *fly ash* 5% menghasilkan kuat tekan sebesar 201,42 kg/cm² dan *paving block* yaitu dengan substitusi *fly ash* 10% menghasilkan kuat tekan sebesar 225,01 kg/cm². Variasi optimal pada substitusi *bottom ash* untuk batako yaitu dengan substitusi *bottom ash* 5% menghasilkan kuat tekan sebesar 226,30 kg/cm² dan untuk *paving block* yaitu dengan substitusi *bottom ash* 10% menghasilkan kuat tekan sebesar 308,22 kg/cm².

DAFTAR PUSTAKA

1. Haryanti, N. H. Kuat Tekan Bata Ringan dengan Bahan Campuran Abu Terbang PLTU Asam-Asam Kalimantan Selatan. *Jurnal Fisika Flux* **2015**, *12*(1), 20-30.
2. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
3. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2021 tentang Tata Cara Pengelolaan Limbah Nonbahan Berbahaya dan Beracun.
4. Setiawati, M. dan Imaduddin, M. Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton. **2018**, *5*(4), 295 - 302.
5. Pengestuti, E. K. Penambahan Limbah Abu Batu Bara Pada Batako Ditinjau Terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan* **2011**, *13*(2), 161-168.
6. Indriyantho, B. R.; Hidayati, N; Qomaruddin, Mochammad dan Ferdiansyah, F. F. Analisis Pengaruh Zat Polimer Paving Block FABA (Fly Ash & Bottom Ash) dengan Variabel Semen dan Fly Ash PLTU TJB Jeparo. *Jurnal Disprotek* **2022**, *13*(1), 82-88.