



Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara Sebagai Bahan Campuran Batako dengan Teknik Solidifikasi

M. Arif Akbar^{a,*}, Yulisa Fitrianiingsih^a, Hendri Sutrisno^b

^aJurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

^bJurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

* Alamat email penulis korespondensi: m.arifakbarjql@gmail.com

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sanggau menggunakan batubara sebagai bahan bakar mesin pembangkit listrik dan menghasilkan rata-rata 0,13 ton/hari residu abu terbang (*fly ash*). Limbah tersebut merupakan bahan berbahaya dan beracun serta berpotensi menimbulkan pencemaran air dan tanah akibat perliindian logam berat. Tujuan penelitian adalah memanfaatkan limbah *fly ash* dengan parameter uji TCLP yaitu kadmium (Cd^{2+}), krom (Cr^{6+}), tembaga (Cu^{2+}), timbal (Pb^{2+}), dan seng (Zn^{2+}) berdasarkan baku mutu PP 101 Tahun 2014 dan kuat tekan batako berdasarkan SNI 03-0349-89. Penurunan konsentrasi TCLP limbah pada *fly ash* dan batako dengan campuran *fly ash* berdasarkan parameter Cd, Cr^{6+} , Cu, Pb, dan Zn ialah 0,70 menjadi <0,005 mg/L; 72,62 menjadi 0,19 mg/L; 51,10 menjadi 0,43 mg/L; 5,46 menjadi 0,055 mg/L; dan 98,29 menjadi 1,10 mg/L. Hasil teknik solidifikasi tersebut menunjukkan bahwa parameter uji berada baku mutu berdasarkan PP 101 Tahun 2014 dengan konsentrasi Cd sebesar 0,15 mg/L; Cr^{6+} sebesar 2,5 mg/L; Cu sebesar 10 mg/L; Pb sebesar 0,5 mg/L; dan Zn sebesar 50 mg/L. *Fly ash* yang digunakan sebagai campuran batako berjumlah 20% dari pemakaian semen. Pengujian kuat tekan batako berdasarkan umur 7, 14, 21 dan 28 hari dengan 3 kali ulangan (*triplo*) sampel uji dan rata-rata hasil kuat tekan adalah 16,55; 18,66; 19,36 dan 21,48 Kg/cm². Maka kuat tekan batako terbaik ialah pada umur 28 hari sebesar 21,48 Kg/cm² dan memenuhi SNI 03-0349-89 mutu IV dengan standar minimum kuat tekan rata-rata adalah 20 Kg/cm². Sementara efektifitas penurunan logam berat setelah umur batako 7 hari sampai 28 hari, berdasarkan uji TCLP ialah untuk parameter Cd, Cu, Cr^{6+} , Pb dan Zn yaitu sebesar 0%, 37,45%, 44,71%, 38,75% dan 13,41%.

Kata kunci: *Fly ash*, Kuat tekan batako, Teknik solidifikasi, Uji TCLP

Abstract

The Sanggau Steam Power Plant (PLTU) uses coal as a fuel for power generation engines and produces an average of 0.13 tons/day of fly ash residue. The waste is a hazardous and toxic material and has the potential to cause water and soil pollution due to heavy metal leaching. The purpose of the study was to utilize fly ash waste with TCLP test parameters, namely cadmium (Cd^{2+}), chromium (Cr^{6+}), copper (Cu^{2+}), lead (Pb^{2+}), and zinc (Zn^{2+}) based on PP 101 2014 quality standard and the compressive strength of bricks based on SNI 03-0349-89. The decrease in the concentration of TCLP waste in fly ash and concrete blocks with a mixture of fly ash based on the parameters Cd, Cr^{6+} , Cu, Pb, and Zn was 0.70 to <0.005 mg/L; 72.62 to 0.19 mg/L; 51.10 to 0.43 mg/L; 5.46 to 0.055 mg/L; and 98.29 to 1.10 mg/L. The results of the solidification technique show that the test parameters are in the quality standard based on PP 101 of 2014 with a Cd concentration of 0.15 mg/L; Cr^{6+} 2.5 mg/L; Cu by ten mg/L; Pb of 0.5 mg/L; and Zn of 50 mg/L. Fly ash used as a mixture of bricks accounts for 20% of the cement consumption. The researcher tested the compressive strength of bricks based on ages 7, 14, 21, and 28 days with three replications (*triple*) of the test sample and the average compressive strength of 16.55; 18.66; 19.36, and 21.48 Kg/cm². So the best concrete block compressive strength is at the age of 28 days at 21.48 Kg/cm² and meets SNI 03-0349-89 quality IV with a minimum standard of average compressive strength is 20 Kg/cm². While the effectiveness of reducing heavy metals after the age of the bricks is 7 to 28 days, based on the TCLP test, the parameters for Cd, Cu, Cr^{6+} , Pb, and Zn are 0%, 37.45%, 44.71%, 38.75%, and 13.41%.

Keywords: Compressive strength of brick, Fly ash, Solidification technique, TCLP test

1. Pendahuluan

Salah satu PLTU yang ada dan telah beroperasi di Kalimantan Barat ialah PLTU Sanggau terletak di Sungai Batu yang berbatasan langsung dengan Sungai Kapuas dan telah beroperasi sejak tahun 2016. Mesin yang digunakan berkapasitas 2 unit x 7 mw, dengan daerah pelayanan yakni perbatasan Kabupaten Sekadau-Sanggau sampai Batang Tarang. PLTU Sanggau menggunakan bahan bakar batubara yang berasal dari Jambi dan Kalimantan Timur untuk mengoperasikan mesin pembangkit Listriknya. Setiap harinya berkisar 450 ton batubara yang digunakan dan menghasilkan residu berupa abu terbang (*Fly Ash*) dengan jumlah rata-rata 0,13 ton/hari dan abu dasar (*Bottom Ash*) dengan jumlah rata-rata 10,2 ton/hari.

Peningkatan permintaan konsumen akan energi listrik setiap harinya terus-menerus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk sehingga memungkinkan terjadinya kekurangan bahan bakar dikemudian hari karena minyak bumi yang digunakan kian menipis (Basyiran, 2014). Menurut Munir 2008, Penggunaan batubara sebagai sumber energi pada unit boiler untuk menghasilkan listrik pada industri telah menjadi pilihan yang paling diminati oleh para pengusaha karena disamping dapat menghemat biaya operasional juga ketersediaannya cukup melimpah, Khususnya di Indonesia. Hasil penelitian Munir (2008) menunjukkan bahwa limbah abu terbang (*Fly Ash*) batubara dapat dijadikan bahan campuran *Hallow Block*. Hasil uji TCLP menunjukkan bahwa produk batubara mampu mengimobilisasi logam berat dengan campuran *fly ash* sebanyak 30% dari jumlah semen.

Hasil dari pemaparan latar belakang, maka abu terbang (*fly ash*) batubara dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan campuran batako. Oleh sebab itu, sebelum memanfaatkan kembali limbah tersebut maka peneliti harus menguji terlebih dahulu kandungan B₃ pada limbah tersebut serta mendesain campuran yang efektif sehingga menghasilkan batako sesuai dengan kebutuhan. Peneliti akan memvariasikan waktu pengeringan 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari dengan campuran abu terbang 20% dari jumlah semen yang digunakan untuk satu sampel batako.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan sampel limbah abu terbang (*fly ash*) batubara berada di Sungai Batu, Kabupaten Sanggau, Provinsi Kalimantan Barat. Gambaran lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi PLTU Sungai Batu, Kabupaten Sanggau

Tempat untuk preparasi sampel *fly ash* dilakukan di Laboratorim Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sedangkan pembuatan batako dilakukan dipercetakan annas batako *press* di jalan Padat Karya. Persiapan bahan dan uji kuat tekan batako dilakukan di Laboratorium Bahan dan Kontruksi Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Identifikasi senyawa yang terkandung dalam abu batubara dan batako dengan campuran *fly ash* dilakukan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura.

2.2. Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian adalah menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang di dapat langsung dari lapangan dalam penelitian ini. Data primer didapatkan dengan wawancara yaitu sumber batubara, jumlah pemakaian dan jumlah limbah abu yang dihasilkan setiap harinya, serta hasil uji TCLP limbah dan kuat tekan batako. Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung dari subjek atau objek yang di teliti, dengan melalui media online yang ada kaitannya dengan penelitian ini seperti pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Peraturan Pemerintah (PP).

2.3. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah wadah penyimpanan abu terbang, sekop semen, ayakan 45 milimikron atau 0,045 mm, timbangan, cetakan batako dan *loading tester machine*. Bahan yang digunakan pada penelitian yaitu sampel abu terbang (*fly ash*), semen, air, agregat halus (pasir).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Bahan Campuran Batako

Batako adalah produk bangunan berupa bata yang terbuat dari campuran semen, pasir, air dan ada pula yang dicampur dengan bahan tambahan lainnya (*fly ash*, *silica fume* dan *slug*). Pembuatan batako ini, menggunakan bahan tambahan berupa *fly ash* batubara sebagai pengganti semen.

3.1.1. Pemeriksaan Fly Ash Batubara

Sampel *fly ash* batubara yang digunakan pada penelitian ini berasal hasil dari sisa pembakaran mesin Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sanggau yang terletak di Sungai Batu Kabupaten Sanggau. Pengambilan sampel dilakukan pada hari Rabu 4 juli 2018 tepatnya di outlet pembuangan *fly ash* dan *bottom ash* yang ada di PLTU Sanggau. Jumlah total sampel abu batubara yang diambil ialah sebanyak 29,8 kg. Sampel *fly ash* PLTU Sanggau dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Sampel *Fly Ash* PLTU Sanggau

Sementara persentase hasil ayakan sampel *fly ash* PLTU Sanggau disajikan dalam **Tabel 1**:

Tabel 1. Hasil Ayakan Sampel *Fly Ash* Batubara PLTU Sanggau

Ukuran Ayakan (mm)	Hasil Ayakan (kg)	Persentase (%)
0,045	4,25	14,26
0,149	15,3	51,34
0,425	10,25	34,40
Total	29,8	100

Tabel 1 menunjukkan bahwa *fly ash* yang layak digunakan sebagai bahan pengganti semen ialah yang lolos ayakan 0,045 mm atau setara dengan 45 milimikron. Jumlah *fly ash* yang dapat digunakan untuk bahan campuran sebanyak 4,25 kg atau setara dengan 14,26% dari jumlah berat total abu terbang yang diambil. Hal ini didukung oleh *ACI Committee 226* dalam Munir 2008, menjelaskan bahwa persentase abu terbang yang lolos 45 mili mikron sebanyak 5 – 27 % dari jumlah sampel. Adapun hasil pemeriksaan berat jenis *fly ash* dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Absorpsi Air pada *Fly Ash*

Kondisi	Satuan
Semu	2,22 gr
Kering	2,08 gr
SSD	2,14 gr
% Absorpsi Air	3,09 %

Tabel 2 menjelaskan berat jenis yang akan digunakan untuk campuran batako ialah pada kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD), karena kondisi tersebut tidak akan mengurangi pemakaian air terhadap semen, sehingga semen dapat bereaksi dengan baik. Penyerapan berpengaruh pada berat jenis karena adanya hubungan antara berat jenis dengan daya serap air. Jika semakin tinggi nilai berat jenis *fly ash* maka semakin kecil daya serap air *fly ash* tersebut. (Mulyono, 2004).

3.1.2. Portland Pozolan Cement (PPC)

Semen PPC ialah semen hidrolis yang terdiri atas campuran homogen antara semen *portland* dengan pozolan halus, yang diproduksi dengan menggiling klinker semen *portland* dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen *portland* dengan bubuk pozolan dengan gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6 % sampai dengan 40 % dari massa semen *portland* pozolan dengan kandungan (SNI, 15-0302-2004). Bahan campuran pembuatan batako tersebut menggunakan tipe semen *Portland* pozolan atau PPC dengan merek Semen Gresik.

3.1.3. Pemeriksaan Pasir

Penggunaan pasir pada pembuatan batako ialah pasir sebagai bahan utama. Pasir yang digunakan berasal dari dasar Sungai Kapuas dengan karakteristik warna putih kecoklatan. Warna putih kecoklatan terbentuk akibat dari pasir tersebut mengandung lumpur, karena adanya tanah yang tergerus oleh aliran air Sungai Kapuas dan terbawa oleh arus. Menurut Tjokrodinuljo 1992, Pasir sungai diperoleh langsung dari dasar sungai yang umumnya berbutir halus dan berbentuk bulat akibat gesekan arus air. Adapun hasil pemeriksaan berat jenis dan berat volume pasir dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Absorpsi Air pada Pasir

Kondisi	Satuan
Semu	2,47 gr
Kering	2,44 gr
SSD	2,45 gr
% Absorpsi Air	0,48 %

Tabel 3 menjelaskan berat jenis yang akan digunakan untuk campuran batako ialah pada kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD), karena kondisi tersebut tidak akan mengurangi pemakaian air terhadap semen, sehingga semen dapat bereaksi dengan baik. Penyerapan berpengaruh pada berat jenis karena adanya hubungan antara berat jenis dengan daya serap air. Jika semakin tinggi nilai berat jenis pasir maka semakin kecil daya serap air pasir tersebut. (Mulyono, 2004).

3.1.4. Pemeriksaan Air

Penggunaan air pada pembuatan batako sangat diperlukan untuk mereaksikan semen sebagai pengikat bahan lain untuk proses pengerasan. Air yang digunakan ialah air sungai hasil olahan PDAM Tirta Katulistiwa yang berasal dari air permukaan yakni air Sungai Kapuas. Karakteristik air setelah pengolahan ialah jernih dan tidak berbau sehingga air tersebut layak dijadikan sebagai bahan pereaksi semen. Berdasarkan Hasil analisis PDAM Tirta Katulistiwa air sungai yang mempunyai pH 6,74, sedangkan menurut Mulyono 2004 menjelaskan bahwa semakin tinggi nilai asam (pH > 3,00) akan menyulitkan dalam pekerjaan beton.

3.2. Produk Batako

Produk yang dihasilkan sama seperti batako pada umumnya, yang membedakan ialah hanya pada campurannya. Sedangkan proses pembuatan, pengeringan dan uji kuat tekan tetap sama. Proses pembuatan batako dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Proses Percetakan Batako Press

Batako yang telah dibuat ialah batako tanpa campuran bahan tambahan dan batako dengan campuran bahan tambahan berupa *fly ash* batubara. Adapun desain bahan pembuatan batako dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Desain Bahan Batako

Bahan	Kontrol	Campuran
	(kg)	(kg)
Semen	0,71	0,57
Pasir	4,29	4,29
<i>Fly ash</i>	0,00	0,14
Air	0,18	0,18

Tabel 4 menjelaskan bahwa setiap pembuatan satu batako kontrol dan campuran memerlukan bahan dengan jumlah seperti yang tertera pada tabel desain bahan batako. Perolehan desain didapat dari berat batako yang dibagi dengan perbandingan campuran bahan batako tersebut.

3.3. Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan ketika batako berumur 7,14, 21, dan 28 hari dengan menggunakan alat uji kuat tekan (*loading testing mechine*). Pengujian kuat tekan akan didapat beban maksimum yaitu beban pada saat batako hancur ketika menerima beban tersebut (Pmaks). Batako juga harus memnuhi syarat-syarat fisis sesuai dengan **Tabel 5**.

Tabel 5. Syarat-Syarat Fisis Batako Berlubang

No.	Persyaratan Mutu	Satuan	Mutu Batako			
			I	II	III	IV
1	Kuat tekan bruto* rata-rata minimum	Kg/cm ²	70	50	35	20
	Kuat tekan bruto masing-masing benda uji, minimum	Kg/cm ²	65	45	30	17
3	Penyerapan air rata-rata, maksimum	%	25	35	-	-

Sumber : SNI 03-0349-89

*Kuat tekan bruto adalah beban tekan keseluruhan pada waktu benda coba pecah, dibagi dengan luas ukuran nyata dari bata termasuk luas lubang setara cekungan tepi.

Jumlah benda uji pada pengujian kuat tekan ialah 3 buah untuk masing-masing variasi hari pengeringan pada batako kontrol dan campuran. Hasil pengujian kuat tekan batako kontrol disajikan pada **Tabel 6** berikut ini :

Tabel 6 Hasil Uji Kuat Tekan Batako Kontrol

Umur (hari)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Rerata Kuat Tekan (Kg/cm ²)	SNI Mutu Batako 03-0349-89
7	22,18	20,25	IV
	15,32		
	23,24		
14	30,60	25,18	IV
	24,82		
	20,70		
21	26,41	29,58	IV
	34,86		
	27,46		
28	33,80	33,10	IV
	35,92		
	29,58		

Sumber : Hasil Analisis, 2018 dan SNI Mutu Batako 03-0349-89

Tabel 6. menunjukkan bahwa hasil uji kuat tekan batako kontrol akan terus naik, ketika umur batako bertambah. Rerata kekuatan tekan batako kontrol dengan umur 7, 14, 21, dan 28 hari sudah layak digunakan sebagai bahan bangunan. Adapun rerata kuat tekan maksimum batako berdasarkan hari pengeringan yang paling kuat ialah pada umur batako 28 hari yakni 33,10 Kg/cm². Hasil uji kuat tekan batako dengan penambahan *fly ash* tidak lebih baik dibandingkan batako kontrol. Adapun hasil uji kuat tekan disajikan dalam **Tabel 7**.

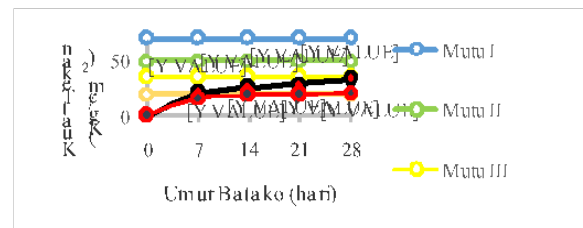
Tabel 7. Hasil Uji Kuat Tekan Batako Campuran

Umur (hari)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Rerata Kuat Tekan (Kg/cm ²)	SNI Mutu Batako 03-0349-89
7	19,01	16,55	-
	16,90		
	13,73		
14	20,60	18,66	-
	13,73		
	21,56		
21	21,13	19,36	-
	15,85		
	21,13		
28	22,18	21,48	IV
	22,71		
	19,54		

Sumber: Hasil Analisis, 2018 dan SNI Mutu Batako 03-0349-89

Tabel 7 menunjukkan bahwa hasil uji kuat tekan batako juga terus naik, ketika umur batako bertambah akan tetapi tidak sebaik mutu batako kontrol. Rerata kekuatan tekan batako kontrol dengan umur 7, 14, dan 21 hari tidak memenuhi mutu. Sedangkan rerata kuat tekan batako campuran yang memenuhi mutu ialah pada umur batako 28 hari yakni 21,48 Kg/cm².

Hal lain yang mempengaruhi penurunan kuat tekan pada batako campuran ialah karena adanya penggantian semen dengan bahan tambahan berupa *fly ash*. Penggantian semen dengan *fly ash* sebanyak 20% dari pemakaian semen sangat berpengaruh pada kuat tekan batako. Semen berfungsi sebagai pengikat atau perekat bahan campuran batako, namun ketika semen jumlah penggunaan semen berkurang maka akan berpengaruh terhadap kuat tekan. Hal ini juga dijelaskan dalam penelitian Siagian dan Agus 2011, yang mengemukakan bahwa semakin banyak penggantian komposisi *fly ash* pada campuran batako maka akan mempengaruhi penurunan pada nilai kuat tekan batako. Grafik kenaikan kuat tekan berdasarkan umur batako kontrol dan batako Campuran disajikan dalam **Gambar 4**.



Gambar 4. Perbandingan Kuat Tekan Batako Kontrol dan Batako Campuran

Berdasarkan hari pengeringan maka didapatkan persen kuat tekan dengan asumsi umur 28 hari batako kontrol adalah 100% kenaikan mutu. Selisih nilai kuat tekan batako kontrol dan batako campuran pada umur 28 hari sebesar 11,62 Kg/Cm². Perbedaan kuat tekan tersebut disebabkan karena adanya perbedaan pada campuran bahan pembuatan batako.

3.4. Hasil Uji Toxicity Characteristic Leaching Prosedure (TCLP)

Pengujian TCLP dilakukan untuk memprediksikan potensi perlindungan limbah bahan berbahaya dan beracun pada contoh uji. Hasil Uji TCLP terhadap *fly ash*, produk batako kontrol dan campuran umur 7 dan 28 hari disajikan dalam **Tabel 9**.

Tabel 9 Hasil Uji TCLP Terhadap *Fly Ash* dan Produk Batako Berdasarkan Umur

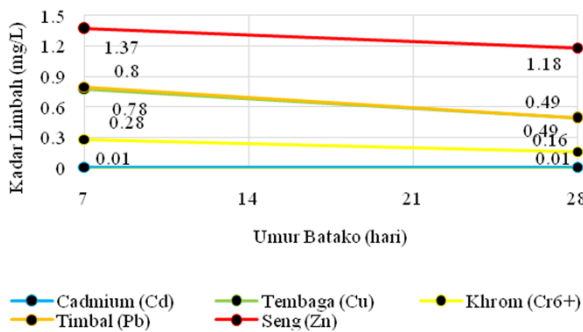
Kode Sampel	Parameter Uji (mg/L)				
	Cd	Cu	Cr ⁶⁺	Pb	Zn
<i>Fly ash</i>	0,70	51,10	72,62	5,46	98,29
BC7*	<0,005	0,78	0,28	0,80	1,37
BC28*	<0,005	0,49	0,16	0,49	1,18
BK28**	<0,005	<0,05	<0,05	0,18	0,2
PP 101 2014	0,15	10	2,5	10	50

Catatan : BC* : Batako Campuran setelah adanya penggantian semen dengan *fly ash* (TCLP rata-rata 3 kali ulangan)
 BK** : Batako Kontrol tanpa adanya penambahan *fly ash*

Tabel 9 diatas menjelaskan bahwa parameter logam berat limbah *fly ash* tersebut berada diatas baku mutu, namun setelah dijadikan campuran batako semua parameter dibawah baku mutu berdasarkan PP 101 Tahun 2014. Berdasarkan penelitian Upe (2006), membuktikan bahwa hasil uji logam berat pada semen tipe PPC berada dibawah bakumutu yakni Kadmium (Cd) sebesar <0,05; Krom Valensi enam (Cr⁶⁺) sebesar <0,5; Tembaga (Cu) sebesar <0,1; Timbal (Pb) sebesar <0,5; Seng (Zn) sebesar <0,5.

3.5. Hubungan Umur Batako Terhadap Penurunan Kandungan TCLP

Hasil pengujian TCLP akan menjelaskan kemampuan produk batako dalam mengimobilisasi logam berat yang terkandung didalam batako berdasarkan umur pengeringan. Hubungan Umur Batako Terhadap Penurunan Kandungan TCLP dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Grafik Penurunan Nilai Logam Berat terhadap Umur Batako

Gambar 5 menunjukkan penurunan nilai logam berat pada parameter uji (Cu, Cr, Pb, Zn). Penurunan terjadi ketika batako berumur 7 sampai dengan 28 hari, hal ini membuktikan bahwa umur batako mempengaruhi kandungan nilai logam berat. Penelitian Evandi 2015 menjelaskan bahwa penurunan logam berat dipengaruhi oleh waktu peneringan dan disebabkan terperangkapnya logam berat dalam matrik sampel uji, sehingga sulit untuk terurai ke lingkungan.

3.6. Efektivitas Penurunan Logam Berat Setelah Adanya Teknik Solidifikasi

Berdasarkan **Tabel 9**, dapat dihitung berapa besar efektivitas penurunan logam berat yang terjadi setelah *fly ash* menjadi bahan campuran batako. Nilai yang disajikan merupakan kandungan limbah awal dan kandungan limbah setelah proses pengeringan batako umur 7 hari dan 28 hari dengan adanya teknik solidifikasi. Hasil efektivitas penurunan logam berat setelah adanya teknik solidifikasi dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Hasil Uji TCLP batako umur 7 hari dan 28 hari

Parameter	Sampel Batako		Baku Mutu PP 101 Tahun 2014	Efektivitas Penurunan (%)
	Umur 7 Hari (mg/L)	Umur 28 Hari (mg/L)		
Cd	< 0,005	< 0,005	0,15	-
Cu	0,78	0,49	10	37,45
Cr ⁶⁺	0,28	0,16	2,5	44,71
Pb	0,80	0,49	10	38,75
Zn	1,37	1,18	50	13,41

Berdasarkan **Tabel 4.10** maka dapat disimpulkan rata-rata persentase efektivitas penurunan lima parameter uji sebesar 26,86%. efektivitas penurunan logam berat setelah adanya teknik solidifikasi. Hal ini juga didukung oleh penelitian Evandi 2015 dengan waktu pengeringan 7 hari dan 21 hari antara lain parameter Pb sebesar 38,37%, Cu sebesar 31,01%, dan Cr sebesar 57,75%. Maka dapat disimpulkan rata-rata persentase efektivitas penurunan limbah pada parameter uji penelitian Evandi 2015 sebesar 42,38%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan dibahas maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kandungan TCLP limbah *fly ash* tersebut berada diatas baku mutu, namun setelah dijadikan campuran batako semua parameter dibawah baku mutu. Hasil analisis logam berat yang diuji antara lain : Cd 0,70 mg/L menjadi <0,005 mg/L; Cu 51,10 mg/L menjadi 0,43 mg/L ; Cr⁶⁺ 72,62 mg/L menjadi 0,19 mg/L; Pb 5,46 mg/L menjadi 0,55 mg/L dan Zn 98,29 mg/L menjadi 1,10 mg/L. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai potensi racun *fly ash* pada batako tidak berbahaya karena telah berada dibawah baku mutu berdasarkan PP 101 Tahun 2014.
2. Hasil uji kuat tekan batako kontrol lebih baik jika dibandingkan batako campuran. Hasil uji kuat tekan rata-rata batako kontrol dengan 3 kali ulangan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari antara lain : 20,25 Kg/cm²; 25,18 Kg/cm²; 29,58 Kg/cm² dan 33,1 Kg/cm². Sedangkan Hasil uji kuat tekan rata-rata batako campuran dengan penambahan *fly ash* 20% dari pemakaian semen dengan 3 kali ulangan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari antara lain : 16,55 Kg/cm²; 18,66 Kg/cm²; 19,36 Kg/cm² dan 21,48 Kg/cm². Maka dapat

disimpulkan hasil uji kuat tekan terbaik berdasarkan umur pada waktu pengeringan 28 hari, dan selisih kuat tekan batako kontrol dan batako campuran pada umur 28 hari sebesar 11,62 Kg/cm².

3. Rata-rata persentase efektifitas penurunan limbah setelah adanya teknik solidifikasi mencapai 26,86% pada umur batako 28 hari. Hasil penurunan tiap kandungan limbah untuk parameter Cd, Cu, Cr⁶⁺, Pb dan Zn yaitu sebesar 0%, 37,45%, 44,71%, 38,75% dan 13,41%. Hasil penurunan didapatkan ketika *fly ash* telah dimanfaatkan sebagai campuran batako diumur 28 hari.

Ucapan Terima Kasih

Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat dan rahmat serta hidayah-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir saya. Terima kasih kepada Ibu Yulisa Fitrianiingsih, S.T., M.T. dan bapak Hendri sutrisno, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing serta Ibu Isna Apriani S.T., M.Si dan Bapak H. Kiki Prio Utomo, S.T., M.T selaku dosen penguji. Terima kasih juga saya ucapkan kepada keluarga dan kawan-kawan Teknik Lingkungan 2014 yang telah membantu saya dalam menyelesaikan tugas akhir. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

References

- Basyiran, Teuku Bahran. 2014. Konsumsi Energi Listrik, Pertumbuhan Ekonomi dan Penduduk Terhadap Emisi Gas Rumah Kaca Pembangkit Listrik di Indonesia. *Jurnal Ekonomi*, Universitas Syiah Kuala
- Efendi, Z. 2015. *Pembuatan Batu Bata dengan Penambahan Campuran Fly Ash dan Semen Tanpa Proses Pembakaran*. Skripsi, Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta. Andi.
- Munir, M. 2008. Pemanfaatan Abu Batubara (fly ash) untuk Hollow Block yang Bermutu dan Aman bagi Lingkungan. *Tesis Pasca Sarjana, Program Studi Ilmu Lingkungan*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Siagian, Henok dan Agus Dermawan. 2011. *Pengujian Sifat Mekanik Batako yang Dicampur Abu Terbang (Fly Ash)*. *Jurnal FMIPA Universitas Negeri Medan*.
- SNI 15-0302-2004. *Semen Portland Pozolan (PPC)*
- SNI 03-0349-1989. *Pengertian Batu Cetak Beton (Concrete Block)*. Badan Standar Nasional.
- Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014, Tentang *tentang Perubahan Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999, tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*,
- Tjokrodinuljo, K. 1992. *Teknologi Beton*. Andi Offset : Yogyakarta
- Upe, Ambo. 2006. *Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Portland Pozzolan Cement (PPC)*. *Jurnal FMIPA dan PPLH*. Universitas Hasanudin .