

## EFISIENSI PENURUNAN LOGAM BERAT PADA LIMBAH B3 DENGAN VARIAN FLY ASH INDUSTRI PULP & PAPER DAN INSINERATOR PADA PROSES STABILISASI DAN SOLIDIFIKASI

Guntur Laksono<sup>1</sup> Amaliyah<sup>2</sup>, Taufik Octaviano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna

<sup>2</sup>Dosen Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna

Email : [gunturlaksono8998@gmail.com](mailto:gunturlaksono8998@gmail.com)

### Abstrak

Limbah merupakan salah satu hal yang tidak dapat terlepas dari kehidupan manusia, khususnya pada sektor industri. Limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri dapat mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3). Penanganan limbah B3 yang tidak baik akan memiliki dampak langsung terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Salah satu cara pengolahan limbah B3 dengan proses stabilisasi dan solidifikasi menggunakan campuran semen dan *fly ash*. *Fly ash* memiliki sifat pozzolan dan mempunyai kehalusan yang sama dengan semen sehingga *fly ash* dapat mengikat logam berat yang terkandung dalam limbah B3. Percobaan ini bertujuan mengetahui pengaruh dan efisiensi penurunan kandungan logam berat Pb dan Cd pada Limbah B3 dengan menggunakan varian jenis *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator melalui proses stabilisasi dan solidifikasi. Proses stabilisasi dan solidifikasi dilakukan dengan perbandingan *fly ash* : semen : limbah B3 yakni 1:1:1. Produk hasil stabilisasi dan solidifikasi selanjutnya diuji dengan uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP). Hasil penelitian menunjukkan *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator memberikan pengaruh dan efisiensi untuk menurunkan kandungan logam berat Pb masing-masing 99,89 % dan 98,32% dan Cd masing-masing 99,98% dan 99,98% pada limbah B3 dalam proses stabilisasi dan solidifikasi. Hasil uji TCLP telah memenuhi baku mutu lingkungan lampiran XII Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

**Kata Kunci** : Limbah B3, Logam Berat, Stabilisasi dan Solidifikasi, *Fly Ash*, TCLP.

### Abstract

*Waste is thing that cannot be separated from human life, especially in the industrial sector. Waste generated from industrial activities can contain hazardous and toxic materials (B3). Improper handling of B3 waste will have a direct impact on human health and the environment. One way to treat B3 waste is through a stabilization and solidification process using a mixture of cement and fly ash. Fly ash has pozzolanic properties and has the same smoothness as cement so that fly ash can bind heavy metals contained in B3 waste. This experiment aims to determine the effect and efficiency of reducing the content of heavy metals Pb and Cd in B3 waste by using a variant type of fly ash from the pulp & paper industry and incinerators through stabilization and solidification processes. The stabilization and solidification processes are carried out using the ratio of fly ash : cement : B3 waste, which is 1:1:1. The stabilized and solidified products were then tested using the Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) test. The results showed that fly ash from the pulp & paper industry and incinerators had the effect and efficiency of reducing the heavy metal content of Pb, respectively 99.89% and 98.32%, and Cd, respectively, 99.98% and 99.98% in waste. B3 is in the process of stabilization and solidification. The results of the TCLP test have met the environmental quality standards in Appendix XII of the Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 22 of 2021 concerning the Implementation of Environmental Protection and Management.*

**Keyword** : Hazardous Waste (B3), Heavy Metals, Stabilization and Solidification, *Fly Ash*, TCLP.

## PENDAHULUAN

Limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri dapat mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) berupa senyawa organik dan anorganik. Penanganan limbah B3 yang tidak baik akan memiliki dampak langsung terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pengolahan limbah B3 dapat dilakukan dengan cara termal, stabilisasi dan solidifikasi atau dengan cara lain sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Stabilisasi atau solidifikasi (S/S) merupakan proses yang melibatkan pencampuran limbah dengan zat pengikat untuk mereduksi pelindian kontaminan baik secara fisik dan kimia. Proses S/S mengkonversi limbah B3 menjadi bentuk limbah yang dapat diterima oleh lingkungan untuk dibuang ke lahan pembuangan atau digunakan untuk keperluan konstruksi. Utomo, (2008) menyatakan bahwa proses S/S merupakan teknologi penanganan limbah B3 yang dapat mereduksi mobilitas kontaminan dengan menstabilkan kontaminan.

Proses stabilisasi atau solidifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan semen dan bahan pengikat. Bahan pengikat yang dapat digunakan berupa kapur, natrium silika, kalsium klorida, dan *fly ash*. *Fly ash* banyak dihasilkan oleh industri-industri besar yang membutuhkan bahan bakar seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), industri semen, *pulp* dan *paper*, karet dan lain-lain. *Fly ash* dengan kode limbah N 106 dari proses pembakaran batubara pada fasilitas pembangkitan listrik tenaga uap PLTU atau dari kegiatan lain yang menggunakan teknologi selain *stoker boiler* dan/atau tungku industri termasuk kedalam kategori limbah non B3. Sedangkan pada proses pembakaran batubara di industri lain, dengan fasilitas *stoker boiler* dan/atau tungku industri yang digunakan untuk pembuatan

*steam* dengan temperatur rendah, limbah *fly ash* dan *bottom ash* (FABA).

Permasalahan yang timbul dalam kajian ini adalah bagaimana pengaruh *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator untuk menurunkan kandungan logam berat Pb dan Cd pada limbah B3 dalam proses stabilisasi dan solidifikasi; bagaimana tingkat efisiensi penurunan logam berat Pb dan Cd dalam limbah B3 dengan menggunakan *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator.

Tujuan dari penelitian ini adalah menjelaskan pengaruh *fly ash* terhadap penurunan kandungan logam berat Pb dan Cd pada limbah B3 dengan menggunakan varian jenis *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator melalui proses stabilisasi dan solidifikasi; menjelaskan efisiensi penurunan kandungan logam berat Pb dan Cd pada limbah B3 dengan menggunakan varian jenis *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator melalui proses stabilisasi dan solidifikasi.

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan pengetahuan pengolahan limbah B3 dengan proses stabilisasi dan solidifikasi; memberikan alternatif varian *fly ash* industri *pulp & paper* dan insinerator untuk pengolahan limbah B3 yang mengandung logam berat.

Ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi pengujian mutu produk hasil proses stabilisasi dan solidifikasi dilakukan di Laboratorium PT Prasadha Pamunah Limbah Industri (PPLI). Limbah yang digunakan berupa limbah buatan yang mengandung logam berat Pb dan Cd. Pengujian yang dilakukan meliputi analisis awal konsentrasi Pb dan Cd limbah buatan, analisis produk hasil stabilisasi dan solidifikasi meliputi uji TCLP.

## Studi Literatur

### Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Bahan Berbahaya dan Beracun yang selanjutnya disingkat B3 adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara

langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain. Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun yang selanjutnya disebut LB3 adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3.

### Stabilisasi dan Solidifikasi

Stabilisasi adalah proses penambahan bahan aditif atau reagensia yang bertujuan untuk mengurangi sifat beracun limbah, dengan cara mengubah limbah dan komponen berbahayanya ke bentuk yang dapat mengurangi laju migrasi kontaminan ke lingkungan, atau mengurangi sifat beracun limbah tersebut. Sedangkan solidifikasi adalah proses ditamhkannya bahan yang dapat memadatkan limbah agar terbentuk massa limbah yang padat (Trihadiningrum, 2016).

Tujuan dari proses stabilisasi/solidifikasi adalah mengkonversi limbah beracun menjadi massa yang secara fisik inert, memiliki daya leaching rendah, serta kekuatan mekanik yang cukup agar aman untuk dibuang ke landfill limbah B3. Terdapat beberapa jenis proses S/S yang banyak digunakan, yaitu Stabilisasi / solidifikasi dengan semen; Vitrifikasi; Absorpsi; Enkapsulasi Termoplastik; Enkapsulasi Makro

Menurut Riyanto (2013), prinsip kerja stabilisasi/solidifikasi adalah perubahan watak fisik dan kimiawi limbah B3 dengan cara penambahan senyawa pengikat sehingga pergerakan senyawa-senyawa B3 dapat dihambat atau terbatas dan membentuk ikatan massa monolit dengan struktur yang kekar (*massive*).

Tata cara kerja stabilisasi/solidifikasi adalah limbah B3 sebelum stabilisasi/solidifikasi harus dianalisis karakteristiknya guna menentukan resep stabilisasi/solidifikasi yang diperlukan terhadap limbah B3 tersebut. Setelah dilakukan stabilisasi/solidifikasi, selanjutnya terhadap

hasil olahan tersebut dilakukan uji TCLP untuk mengukur kadar/konsentrasi parameter dalam lindi (*extract/eluate*). Hasil uji TCLP kadarnya tidak boleh melewati nilai ambang batas sebagaimana ditetapkan. Terhadap hasil olahan tersebut selanjutnya dilakukan uji kuat tekan (*Compressive Strength*) dengan “*Soil Penetrometer Test*”, dengan harus mempunyai nilai tekanan minimum sebesar 10 ton/m<sup>2</sup> dan lolos uji “*paint filter liquid test*”. Limbah B3 olahan yang memenuhi persyaratan kadar TCLP, nilai uji kuat tekan dan lolos tes *paint filter liquid test*; selanjutnya harus ditimbun di tempat penimbunan (*landfill*) yang ditetapkan pemerintah atau yang memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

### Abu Terbang (*Fly Ash*)

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 2460:2014, abu terbang atau *fly ash* merupakan residu halus yang dihasilkan dari pembakaran atau pembubukan batubara dan ditransportasikan oleh aliran udara panas. Abu terbang batu bara yang berasal dari pembangkit listrik memiliki kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) dapat mencapai 60% dan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 35%. Kandungan mineral ini tergantung dari jenis batubara yang digunakan bituminous, subbituminous ataupun lignit. Pembakaran batu bara lignit dan sub-bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminous, namun memiliki kandungan silika, alumina dan karbon lebih sedikit daripada bituminous.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 2460:2014 menyatakan bahwa *fly ash* diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu : Abu terbang kelas N – Pozzolan alam mentah atau telah dikalsinasi memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas N, misalnya beberapa tanah diatomae (hasil pelapukan); batu rijang opalan dan serpih; tufa dan abu vulkanik atau batu apung, dikalsinasi atau tidak, dan berbagai bahan yang memerlukan kalsinasi untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan, misalnya lempung dan serpih.

Abu terbang kelas F biasanya dihasilkan dari pembakaran antrasit atau batubara bituminous, tetapi dapat juga dihasilkan dari batubara sub bituminous dan lignite.

Abu terbang kelas C biasanya dihasilkan dari pembakaran lignit atau batubara sub bituminous, dan dapat juga dihasilkan dari antrasit atau batubara bituminous. Abu terbang kelas C mengandung kadar kalsium total, yang dinyatakan sebagai kalsium oksida (CaO), lebih tinggi dari 10 %.

### ***Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)***

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 8808 : 2019 tentang Prosedur Pelindian Karakteristik Beracun (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP*), TCLP merupakan prosedur yang ditetapkan untuk penentuan mobilitas bahan pencemar baik senyawa organik dan anorganik yang terdapat dalam cairan, padatan, atau limbah campuran. Selain digunakan untuk menentukan salah satu sifat beracun dari suatu limbah, uji TCLP dapat diterapkan dalam evaluasi produk hasil stabilisasi/solidifikasi.

Prinsip pengujian TCLP adalah bahan uji dilakukan dengan cara diekstrak dengan asam lemah pada pH tertentu dengan menggunakan agitator yang berputar secara *end over end* pada kecepatan  $30 \text{ rpm} \pm 2 \text{ rpm}$  selama  $18 \text{ jam} \pm 2 \text{ jam}$ , kemudian larutan ekstraksi disaring dan filtratnya dianalisis dengan menggunakan instrumen untuk parameter organik atau anorganik. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang telah ditetapkan dan digunakan untuk penanganan limbah lebih lanjut.

## **METODE PENELITIAN**

### **Jenis Penelitian**

Penelitian ini termasuk pada penelitian kuantitatif dengan metode eksperimen, yaitu penelitian yang bermaksud untuk mengetahui efisiensi penurunan logam berat Pb dan Cd dalam limbah B3 dengan penambahan *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator pada

proses stabilisasi dan solidifikasi. Penelitian yang dilakukan berusaha menelaah secara cermat dan sistematis mengenai pemilihan jenis *fly ash* yang dapat memberikan efisiensi tertinggi terhadap penurunan logam berat pada proses stabilisasi dan solidifikasi.

### **Lokasi Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium PT Prasadha Pamunah Limbah Industri (PPLI). PT (PPLI) berlokasi di Jalan Raya Narogong Desa Nambo Kecamatan Klapanunggal Bogor 16820 Indonesia.

### **Kerangka Berfikir**

Limbah B3 yang dihasilkan oleh industri memiliki kandungan logam berat Pb dan Cd yang tinggi. Logam berat Pb dan Cd memiliki sifat racun yang bersifat akut atau kronis yang dapat berdampak pada kesehatan manusia dan lingkungan. Salah satu pengolahan yang tepat untuk menurunkan logam berat pada limbah yang dihasilkan industri melalui proses stabilisasi dan solidifikasi dengan menggunakan campuran *fly ash* dan semen *portland*.

### **Variabel yang diamati**

Variabel yang diamati adalah konsentrasi awal logam berat Pb dan Cd limbah buatan dan analisis produk hasil stabilisasi dan solidifikasi meliputi uji TCLP..

### **Tahapan Penelitian**

#### **Pembuatan Limbah Buatan dan Analisis Konsentrasi Awal**

Dilakukan pembuatan limbah buatan dengan kandungan logam berat Pb dan Cd 10 mg/L. Limbah yang dibuat disesuaikan dengan kategori limbah yang belum terolah yang akan ditimbun ke *landfill*, selanjutnya limbah buatan tersebut dilakukan analisis untuk mengetahui konsentrasi Pb dan Cd menggunakan *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES)

**Pembuatan Benda Uji**

Dilakukan proses stabilisasi dan solidifikasi dengan campuran semen dan varian *fly ash* dari industri *pulp and paper* dan *incinerator* dengan perbandingan 1:1:1. Benda uji dalam penelitian ini dicetak berbentuk silinder. Setelah dilakukan proses stabilisasi dan solidifikasi, benda uji tersebut didiamkan selama 14 hari pada suhu kamar.

**Uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)**

Benda uji produk hasil proses stabilisasi dan solidifikasi, selanjutnya dilakukan pengujian TCLP, Pengujian TCLP dilakukan dengan mengacu kepada metode *United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 1311*. kemudian larutan ekstraksi disaring dan filtratnya dianalisis dengan menggunakan instrumen *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)* untuk mengetahui konsentrasi Pb dan Cd.

**Analisis Data**

Data yang diperoleh, dianalisis dengan menggunakan rumus perhitungan efisiensi :

$$\text{Efisiensi}(\%) = \frac{\text{Konsentrasi awal} - \text{Konsentrasi akhir}}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\%$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN****Karakteristik Limbah Buatan**

Penelitian ini menggunakan limbah buatan yang memiliki kandungan Pb dan Cd yang diperoleh dari penggunaan *Certified Reference Material Multielement (CRM)*. Hasil analisis awal konsentrasi Pb dan Cd dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Konsentrasi Awal Limbah Sebelum Pengolahan

| No | Pb (mg/L) | Cd (mg/L) |
|----|-----------|-----------|
| 1  | 9,42      | 9,34      |
| 2  | 9,45      | 9,47      |
| 3  | 9,53      | 9,58      |
| 4  | 9,52      | 9,58      |
| 5  | 9,63      | 9,72      |

|        |                  |      |
|--------|------------------|------|
| Rerata | 9,5 <sup>1</sup> | 9,55 |
|--------|------------------|------|

Berdasarkan hasil analisis diperoleh konsentrasi awal limbah untuk logam Pb sebesar 9,51 mg/L dan logam Cd 9,55 mg/L. Berdasarkan data tersebut limbah tersebut diidentifikasi sebagai limbah B3 kategori 1, karena memiliki zat pencemar lebih besar dari TCLP A. (PP Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup).

**Uji TCLP Logam Pb**

Uji TCLP merupakan prosedur laboratorium untuk memprediksi potensi perindian B3 dari suatu limbah. Pada percobaan ini, limbah yang telah di stabilisasi dan solidifikasi serta didiamkan selama 14 hari selanjutnya dilakukan pengujian TCLP dengan menggunakan larutan pengeskrak 2 yang memiliki nilai pH antara 2,83 – 2,93. Ekstraksi dilakukan pada kecepatan  $30 \pm 2$  rpm selama  $18 \pm 2$  jam. Hasil larutan ekstrak selanjutnya dilakukan analisis menggunakan ICP-OES sehingga diperoleh konsentrasi Pb yang dapat dilihat pada Tabel 2.

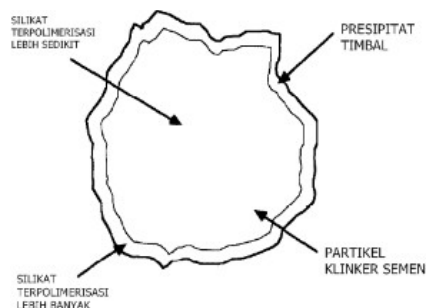
Tabel 2. Konsentrasi Logam Pb Setelah Pengolahan

| No.   | Konsetrasi Pb (mg/L)<br><i>Fly Ash</i><br>Industri<br>Pulp &<br>Papper | Konsentrasi Pb (mg/L)<br><i>Fly Ash</i><br>Insinerator | *BML (mg/L) |
|-------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| 1.    | <0,01                                                                  | 0,05                                                   | 0,50        |
| 2.    | <0,01                                                                  | 0,18                                                   | 0,50        |
| 3.    | <0,01                                                                  | 0,27                                                   | 0,50        |
| Rata2 | <0,01                                                                  | 0,16                                                   | 0,50        |

Berdasarkan Tabel 2. hasil TCLP logam Pb dengan menggunakan *fly ash* dari industri *pulp & paper* memberikan penurunan logam Pb lebih besar dibandingkan penggunaan *fly ash* dari insinerator, hal ini dapat terjadi disebabkan jenis limbah yang diolah menggunakan insinerator yang beragam dibandingkan dengan *fly ash* dari industri *pulp & paper*. Hasil TCLP logam Pb menunjukkan penggunaan *fly ash* dari kedua sumber tersebut

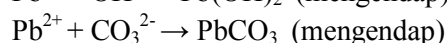
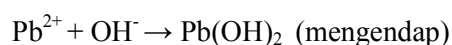
telah memenuhi baku mutu karakteristik beracun melalui TCLP untuk penetapan standar pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun sebelum ditempatkan di fasilitas penimbunan akhir.

Penurunan logam berat Pb pada limbah buatan ini karena limbah tersebut diikat secara fisik oleh bahan pengabsorpsi yakni *fly ash*, sesuai dengan Trihadiningrum (2016) *fly ash* merupakan bahan absorben yang bersifat pozzolanik atau dapat mengeras serta dapat digunakan untuk jangka panjang. Penurunan logam berat Pb pada limbah buatan ini juga dipengaruhi penggunaan semen sebagai bahan pengikat. Berdasarkan Penelitian Cocke (dalam Trihadiningrum & Anrozi, 2017) semen memiliki peran penting dalam proses stabilisasi dan solidifikasi untuk mencegah imobilisasi kontaminan. Pb dilapisi oleh lapisan kalsium silikat yang mencegah hidrasi dan membatasi mobilisasi kontaminan.



Gambar 1. Sketsa Logam Berat Timbal yang Dilapisi Partikel Semen Pada Proses S/S

Kontaminan logam berat Pb terperangkap di dalam matriks semen dan terkonversi menjadi bentuk yang stabil secara fisik dan kimia. Reaksi yang berlangsung saat proses S/S adalah:



Logam berat Pb yang mengendap terperangkap dalam matriks semen yang terbentuk menyebabkan kontaminan terimobilisasi dan stabil secara fisik.

### Uji TCLP Logam Cd

Uji Logam Cd, limbah yang telah di stabilisasi dan solidifikasi serta didiamkan selama 14 hari selanjutnya dilakukan pengujian TCLP dengan menggunakan larutan pengeskrak 2 yang memiliki nilai pH antara 2,83 – 2,93. Ekstraksi dilakukan pada kecepatan  $30 \pm 2$  rpm selama  $18 \pm 2$  jam. Hasil larutan ekstrak selanjutnya dilakukan analisis menggunakan ICP-OES sehingga diperoleh konsentrasi Pb yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsentrasi Logam Cd Setelah Pengolahan

| No.   | Konsentrasi Cd (mg/L)<br><i>Fly Ash</i><br>Industri<br>Pulp &<br>Paper | Konsentrasi Cd (mg/L)<br><i>Fly Ash</i><br>Insinerator | *BML (mg/L) |
|-------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| 1.    | <0.002                                                                 | <0.002                                                 | 0,15        |
| 2.    | <0.002                                                                 | <0.002                                                 | 0,15        |
| 3.    | <0.002                                                                 | <0.002                                                 | 0,15        |
| Rata2 | <0.002                                                                 | <0.002                                                 | 0,15        |

Berdasarkan Tabel 3. hasil TCLP logam Cd dengan menggunakan *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator menunjukkan hasil logam Cd dari kedua sumber *fly ash* tersebut telah memenuhi baku mutu karakteristik beracun melalui TCLP untuk penetapan standar pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun sebelum ditempatkan di fasilitas penimbunan akhir.

Penurunan logam berat Cd pada limbah buatan ini karena limbah tersebut diikat secara fisik oleh bahan pengabsorpsi yakni *fly ash*, sesuai dengan Trihadiningrum (2016) *fly ash* merupakan bahan absorben yang bersifat pozzolanik atau dapat mengeras serta dapat digunakan untuk jangka panjang

### Efisiensi Penurunan Logam Berat Pb dan Cd

Berdasarkan hasil analisis konsentrasi awal limbah sebelum pengolahan dan limbah setelah pengolahan yang dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3. Selanjutnya data tersebut dapat digunakan untuk memperoleh %



efisiensi penurunan logam Pb dan Cd yang dapat dilihat pada Tabel 4. Perhitungan persentase efisiensi dapat dilihat pada sebagai berikut :

1. Efisiensi penurunan logam berat pb menggunakan *fly ash* industri *pulp & paper*

$$\text{Efisiensi Penurunan Pb (\%)} = \frac{9,51 \frac{mg}{L} - 0,01 \frac{mg}{L}}{9,51 \frac{mg}{L}} \times 100\% = 99,89 \%$$

2. Efisiensi penurunan logam berat pb menggunakan *fly ash* insinerator

$$\text{Efisiensi Penurunan Pb (\%)} = \frac{9,51 \frac{mg}{L} - 0,16 \frac{mg}{L}}{9,51 \frac{mg}{L}} \times 100\% = 98,32 \%$$

3. Efisiensi penurunan logam berat cd menggunakan *fly ash* industri *pulp & paper*

$$\text{Efisiensi Penurunan Pb (\%)} = \frac{9,55 \frac{mg}{L} - 0,02 \frac{mg}{L}}{9,55 \frac{mg}{L}} \times 100\% = 99,98 \%$$

4. Efisiensi penurunan logam berat cd menggunakan *fly ash* insinerator

$$\text{Efisiensi Penurunan Pb (\%)} = \frac{9,55 \frac{mg}{L} - 0,02 \frac{mg}{L}}{9,55 \frac{mg}{L}} \times 100\% = 99,98 \%$$

Tabel 4. Konsentrasi Logam Cd Setelah Pengolahan

| Jenis <i>Fly Ash</i>   | Efisiensi Penurunan Pb (%) | Efisiensi Penurunan Cd (%) |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Industri Pulp & Papper | 99,89                      | 99,98                      |
| Insinerator            | 98,32                      | 99,98                      |

Berdasarkan tabel diatas kedua jenis *fly ash* tersebut memberikan efisiensi penurunan logam Pb dan Cd yang baik, sehingga kedua *fly ash* tersebut dapat digunakan untuk mengolah limbah B3 dengan proses stabilisasi dan solidifikasi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut *Fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator memberikan pengaruh untuk menurunkan kandungan logam berat Pb dan Cd pada limbah B3 dalam proses stabilisasi dan solidifikasi.

*Fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator memberikan efisiensi penurunan logam berat Pb masing-masing 99,89 % dan 98,32%. *Fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator memberikan efisiensi penurunan logam berat Cd yakni 99,98%. *Fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan limbah B3.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2014. Standar Nasional Indonesia (SNI) 2460:2014 Tentang Spesifikasi abu Terbang Batu Bara Dan Pozzolan Alam Mentah Atau Yang Telah Dikalsinasi Untuk Digunakan Dalam Beton. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. Standar Nasional Indonesia (SNI) 8808:2019 Prosedur Pelindian Karakteristik Beracun (Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Dermawan, M.H. 2010. Model Kuat Tekan Proporsi Abu terbang dan Semen untuk Bahan Dasar Batu Cetak. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan 12 (1): 59-70
- Gunawan, G., & Fransisko, S. 2011. Pemanfaatan Limbah Abu Terbang Yang Ramah Lingkungan Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Dasar (Waste Utilization of Enviroment-Friendly Fly Ash As Soil Subgrade Stabilizer). Jurnal Jalan-Jembatan Volume 28, pp. 76-85. Bandung.
- Husaini & Adhani, R. 2017. *Logam Berat Sekitar Manusia*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. 1995. Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor: Kep 04/Bapedal/09/1995 Tentang Tata Cara Dan Persyaratan Penimbunan Hasil Pengolahan, Persyaratan Lokasi Bekas Pengolahan, Dan Lokasi Bekas Penimbunan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun. Jakarta: Badan Pengendalian Dampak Lingkungan.
- Palar, H. 2004. *Pencemaran & Toksikologi Logam Berat Ed Ke-2*. Jakarta: Rineka Cipta
- ANROZI, R., & TRIHADININGRUM, Y. 2017. Kajian Teknologi dan Mekanisme Stabilisasi/Solidifikasi untuk Pengolahan Limbah B3. Jurnal Teknik ITS Vol. 6, No. 2. Surabaya.
- Pemerintah Pusat Republik Indonesia 2021, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan

dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.  
Pemerintah Pusat. Jakarta.

Riyanto. 2013. *Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Yogyakarta: Deepublish.