



## Perbandingan Regulasi *Fly Ash* sebagai Limbah B3 di Indonesia dan Beberapa Negara

\*Januarti Jaya Ekaputri<sup>1</sup>, M. Shahib Al Bari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

<sup>2</sup>Konsorsium Riset Geopolimer Indonesia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya,

\*)[januarti@ce.its.ac.id](mailto:januarti@ce.its.ac.id)

Received: 12 Juni 2020 Revised: 15 September 2020 Accepted: 5 Oktober 2020

### Abstract

*This paper aims to encourage the Indonesian government to review the 2014 Government Regulation (PP) number 101 related to coal-ash. Fly ashes at power plants overload the landfills and requires complete handling solution. The utilization of fly ash in Indonesia are facing the issues, one of these is the categorization of fly ash as a hazardous waste. As a result, its utilization requires permissions from the ministry of environment and forestry. In this paper, a comparative study of fly ash classification as hazardous waste in India, United States of America, China and Vietnam was conducted. India and China are the coal importer from Indonesia. US regulation was once referred when drafting PP number 101. Vietnam is chosen as comparison in Southeast Asia. The Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) results of fly ashes from 16 Indonesian power plants proved that their toxic content was lower than the TCLP parameters in the regulation. Acute Oral Toxicity Test (LD<sub>50</sub>) results showed that fly ash and bottom ash with dosage up to 7000 mg/kg did not cause fatalities. This study is a reference for the Indonesian government to verify the status of fly ash to be utilized as much as possible in various fields.*

**Keywords:** *Fly ash, regulation, utilization, hazardous materials, TCLP*

### Abstrak

*Makalah ini bertujuan agar pemerintah Indonesia termotivasi untuk meninjau Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia nomor 101 tahun 2014 terkait abu batu bara. Limbah pembakaran batu bara seperti fly ash terus memenuhi penampungan limbah dan diperlukan solusi penanganan yang tepat. pemanfaatan fly ash di Indonesia menghadapi kendala, salah satunya adalah kategori fly ash sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Akibatnya, pemanfaatannya membutuhkan izin dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Dalam makalah ini, dilakukan studi status fly ash dalam klasifikasi limbah beracun di India, Amerika Serikat, Cina dan Vietnam. India dan Cina dikenal sebagai pengimpor batubara dari Indonesia. PP nomor 101 dalam sejarahnya merujuk regulasi Amerika Serikat. Vietnam dipilih sebagai pembandingan di Asia Tenggara. Dari hasil uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) sampling fly ash dari 16 PLTU Indonesia membuktikan bahwa kandungan racunnya lebih rendah dari parameter TCLP dalam peraturan. Hasil Acute Oral Toxicity Test (LD<sub>50</sub>) menunjukkan bahwa fly ash dan bottom ash dengan dosis hingga 7000 mg/kg tidak menyebabkan kematian. Studi ini dapat menjadi rujukan oleh pemerintah Indonesia dalam menentukan status fly ash sebagai limbah beracun supaya dapat dimanfaatkan sebesar-besarnya dalam berbagai sektor.*

**Kata kunci:** *Fly ash, regulasi, pemanfaatan, limbah B3, TCLP*

### Pendahuluan

Pada tahun 2019, Indonesia membutuhkan batubara hingga 97 juta-ton untuk memenuhi kebutuhan listrik di seluruh wilayah. Jumlah ini akan naik terus

akibat Indonesia masih mengandalkan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) sebagai penyuplai listrik utama. Sementara itu, tingkat pemanfaatan *fly ash* di Indonesia hanya 10-12% (Ekaputri *et al.*, 2019a). Dari persentase tersebut, 73% diolah di pulau Jawa,

sedangkan di pulau-pulau lain tingkat pemanfaatan *fly ash* di bawah 30%. Keadaan ini disebabkan oleh *fly ash* yang masih termasuk limbah B3 kategori dua (PP RI no 101 tahun 2014). Akibatnya, seluruh aktivitas pemanfaatan limbah *fly ash* harus mengantongi izin dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Hal tersebut menyulitkan PLTU maupun pemanfaat akibat regulasi limbah berbahaya yang menyebabkan pembengkakan biaya pemanfaatan. Jika keadaan ini tidak berubah, maka akan terjadi penumpukan *fly ash* hingga 10,4 juta-ton per tahun pada tahun 2027. Selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1. Tidak hanya itu, biaya pembuangan limbah ini kenyataannya juga mempengaruhi penambahan tarif dasar listrik yang harus ditanggung masyarakat.

Beberapa negara lain memiliki perbedaan pandangan tentang limbah *fly ash*, diantaranya, Amerika Serikat mengeluarkan *fly ash* dari kategori limbah beracun (Environmental Protection Agency, 2000). Tidak hanya Amerika, seluruh negara di Eropa melalui *European Union* (EU) menyatakan bahwa *fly ash* bukan termasuk limbah berbahaya (Zhang, 2014). Selain itu, Cina mengelompokkan sebagai limbah industri kategori dua. Kemudian ada juga Vietnam dengan motivasi khusus memerintahkan pemanfaatan *fly ash* sebesar-besarnya (Decision No. 1696/QD-TTg, 2014). Selain itu, India juga menargetkan pemanfaatan *fly ash* hingga 100% (*Ministry of Environment and Forests India*, 2009).

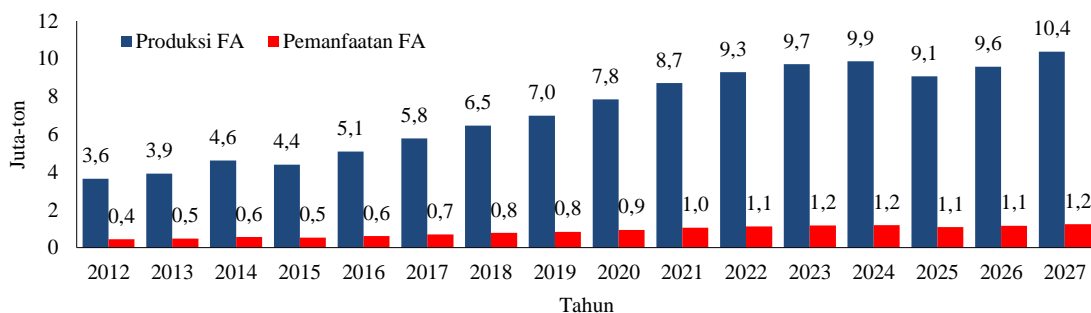
Sebetulnya, pengeluaran *fly ash* dari daftar limbah berbahaya, memicu tingkat pemanfaatan *fly ash* di sebuah negara. Contohnya, di India telah memanfaatkan hingga 67% di tahun 2018. Tingkat daur ulang di beberapa negara di benua Eropa juga tinggi seperti Belanda 100%, Denmark 90%, Jerman 79%, Belgia 73%, Perancis 65% (Han dan Wu, 2019) dan Inggris 70% (San Nicolas *et al.*, 2017). Di Asia, Jepang sudah sejak lama memanfaatkan *fly ash* hingga 92% (Sato & Fujikawa, 2015), disusul Cina yang memanfaatkan *fly ash* hampir 100% meski hanya sebagian daerahnya saja (Moon, 2013). Di Asia Tenggara,

Vietnam menginginkan tingkat pemanfaatan *fly ash* minimum 60% mulai dari tahun 2014 (Thenepalli *et al.*, 2018). Sedangkan Indonesia sebagai negara terbesar di Asia Tenggara belum merubah status *fly ash*nya sebagai limbah berbahaya sejak tahun 1999 (PP RI no. 18, 1999).

Pemanfaatan *fly ash* di Indonesia masih terbatas sebagai sedikit bahan tambahan semen. Hal ini ditambahkan dengan fakta bahwa hanya beberapa PLTU nasional yang mengantongi izin pemanfaatan *fly ash* dan *bottom ash*. Di antaranya adalah PLTU Suralaya di tahun 2017, Labuan di tahun 2018 dan Indramayu di tahun 2019 (Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia, 2017, 2018, 2019). Telah dilakukan penelitian dalam memanfaatkan *fly ash*. Salah satunya adalah studi tentang komposisi beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) yang dapat menggantikan semen hingga 80% (Pratiwi *et al.*, 2020). Bahkan campuran *fly ash* dan alkali aktivator dapat diolah menjadi beton tanpa semen yang disebut beton geopolimer (Ekaputri, 2016; Ekaputri *et al.*, 2019a; Wattimena *et al.*, 2017).

Di samping itu, *fly ash* juga dapat diolah menjadi paving dan batako (Ekaputri *et al.*, 2018; Ekaputri *et al.*, 2019a; Ekaputri *et al.*, 2019b). Bahkan *fly ash* digunakan sebagai pelindung beton dari korosi (Ekaputri *et al.*, 2019c). Selain sebagai bahan tambahan pada beton, paving dan batako, *fly ash* masih memiliki potensi lain. Di antaranya, *fly ash* dan *bottom ash* juga dapat dipakai sebagai material tambahan untuk keramik (Luo *et al.*, 2017; Namkane *et al.*, 2016). Campuran *fly ash* 90% dan semen 10% dipakai sebagai lapisan dasar tempat pembuangan akhir (TPA) yang dapat menghalangi tercampurnya air tanah dengan zat berbahaya dari tumpukan limbah (Kumar *et al.*, 2019; Mishra & Ravindra, 2015).

Di samping itu, *fly ash* dengan kandungan aluminosilikat dan berbagai mineral inorganik dapat dipakai untuk perbaikan tanah (Kaur & Goyal, 2016). Kandungan alumina pada *fly ash* dapat didaur ulang dengan teknik pelindian menggunakan asam sulfat dengan efektivitas hingga 90% (Xu *et al.*, 2016).



Gambar 1 Trend pemanfaatan *fly Ash* di Indonesia (Koespraptini, 2017)

Tulisan ini berisikan informasi tentang kebijakan pemerintah Indonesia mengenai limbah *fly ash*. Selain itu juga dijelaskan pengujian kandungan racun dan uji toksisitas akut dilakukan terhadap *fly ash*, bottom ash dan produk beton yang mengandung *fly ash* sebagai pengganti 100% semen (beton geopolimer) dan produk beton yang mengandung bottom ash sebagai pengganti pasir. Sebagai tambahan, regulasi klasifikasi limbah *fly ash* di India, Amerika, Cina dan Vietnam disampaikan dalam bentuk studi literatur. Makalah ini bermanfaat dalam menyediakan data sebagai referensi supaya *fly ash* dapat dipertimbangkan untuk dikeluarkan dari kategori limbah B3. Dengan demikian, bahan ini menjadi limbah non-B3 terkontrol yang dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin tanpa adanya hambatan birokrasi.

## Metode

Metode pertama adalah pengujian langsung terhadap 16 sampel *fly ash* dan bottom ash untuk dilakukan uji TCLP dan LD<sub>50</sub>, dan metode kedua adalah studi literatur.

Uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) adalah uji pelindian senyawa-senyawa berbahaya seperti logam berat yang dapat mencemari lingkungan air dari sampel. Pengujian ini menentukan sifat beracun dari sebuah sampel. Pengujian TCLP mengikuti *US-Environmental Protection Agency* (EPA) 1311 yang disyaratkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) no. 55 tahun 2015. Pengujian TCLP terhadap unsur boron (B), kadmium (Cd), krom (Cr<sup>6+</sup>), timbal (Pb), tembaga (Cu), perak (Ag), zinc (Zn), sianida (CN), fluoride (F), nitrat (NO<sub>3</sub>) dan nitrit (NO<sub>2</sub>) dilakukan di Laboratorium Teknologi Air dan Konsultasi Industri (TAKI), Teknik Kimia. Unsur B hingga Zn diuji dengan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Unsur CN hingga NO<sub>2</sub> diuji dengan metode Spektrofotometri. Sedangkan unsur Arsen (As) diuji dengan metode AAS di Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan, Teknik Lingkungan. Unsur merkuri (Hg) diuji dengan metode *Inductively Couple Plasma* (ICP) di Laboratorium Energi dan Lingkungan – Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Surabaya.

Uji TCLP juga dilakukan untuk *fly ash* dan produk turunannya yang berbentuk paving, batako dan beton. Kebaruan data untuk produk turunan ini adalah jenis materialnya. Produk dibuat dengan metode geopolimer yang tidak mengandung semen sama sekali. Bahan pengikat produk seluruhnya dibuat dari *fly ash* 100% menggunakan pengisi dari *bottom ash* sebagai pengganti 50% pasir.

Uji toksikologi oral akut LD<sub>50</sub> (*Lethal Dose 50%*) adalah uji kandungan racun yang diujicobakan secara oral pada makhluk hidup yang diamati selama 7 hari. Spesimen standar yang digunakan adalah mencit. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengukur berat sampel per berat badan spesimen (mg/kg) sebagai indikator racun yang dapat menyebabkan kematian hingga 50% dari jumlah sampel. Uji tersebut mengacu pada Permen LHK no. 55 tahun 2015 yang mengadopsi *Organization of Economic Cooperation and Development* (OECD) metode 425. Peraturan ini juga digunakan oleh EPA sebagai standar pengujian pestisida dan bahan kimia (U.S. Environmental protection Agency, 2002).

Sampel *fly ash* dari PLTU A dan B diuji LD<sub>50</sub> dua kali dengan waktu pengambilan material berbeda. Pengujian pertama dilakukan pada tanggal 3 Januari 2019 dan kedua dilakukan tanggal 11 Juni 2019. Tujuan pengujian dilakukan dua kali adalah untuk memastikan bahwa *fly ash* dan *bottom ash* dari kedua PLTU tersebut benar-benar tidak beracun. Selain itu, *fly ash* dan *bottom ash* yang berbeda tanggal masuknya tidak dari satu kali pengambilan yang sama. Pengujian dilakukan di Unit Layanan Pengujian, Fakultas Farmasi Universitas Airlangga. Kelompok mencit yang terdiri dari 10 ekor yang masing-masing diberi dosis yang berbeda. Enam kelompok tersebut untuk satu sampel. Setiap hari diberi makan dengan dosis tersebut dan diamati berat badan, perilaku dan status mencit.

Metode yang kedua adalah studi literatur dengan mengumpulkan regulasi-regulasi di India, Amerika Serikat, Cina dan Vietnam. Regulasi diambil dari laporan pemerintah resmi atau dari lembaga yang berkaitan langsung dengan pengelolaan *fly ash*. Data juga diambil dari perusahaan listrik nasional pada negara tersebut dan artikel yang membahas tentang perlakuan *fly ash*. Mengingat negara India dan Cina merupakan salah satu negara importir batubara terbesar dari Indonesia, sehingga status *fly ash* di negara tersebut dianggap penting sebagai target studi. Komparasi dilakukan terhadap status *fly ash*, sejarah regulasi yang mengatur pengelolaan *fly ash* dan hasil pemanfaatan yang menggunakan *fly ash*.

## Hasil dan Pembahasan

### Regulasi di Indonesia

Tata cara klasifikasi limbah di Indonesia mengacu pada Peraturan Pemerintah (PP) no. 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3. Pada pasal 3 dan pasal 5, limbah berbahaya dibagi menjadi limbah Bahan Beracun Berbahaya (B3) dan limbah non-B3. Limbah B3 dibagi menjadi kategori-1 dan

kategori-2. Limbah B3 kategori-1 adalah limbah yang memiliki sifat mudah meledak, menyala, reaktif, menginfeksi, korosi dan/atau beracun. Sedangkan kategori dua adalah limbah yang tidak memiliki salah satu sifat tersebut. Alur klasifikasi limbah berbahaya di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.

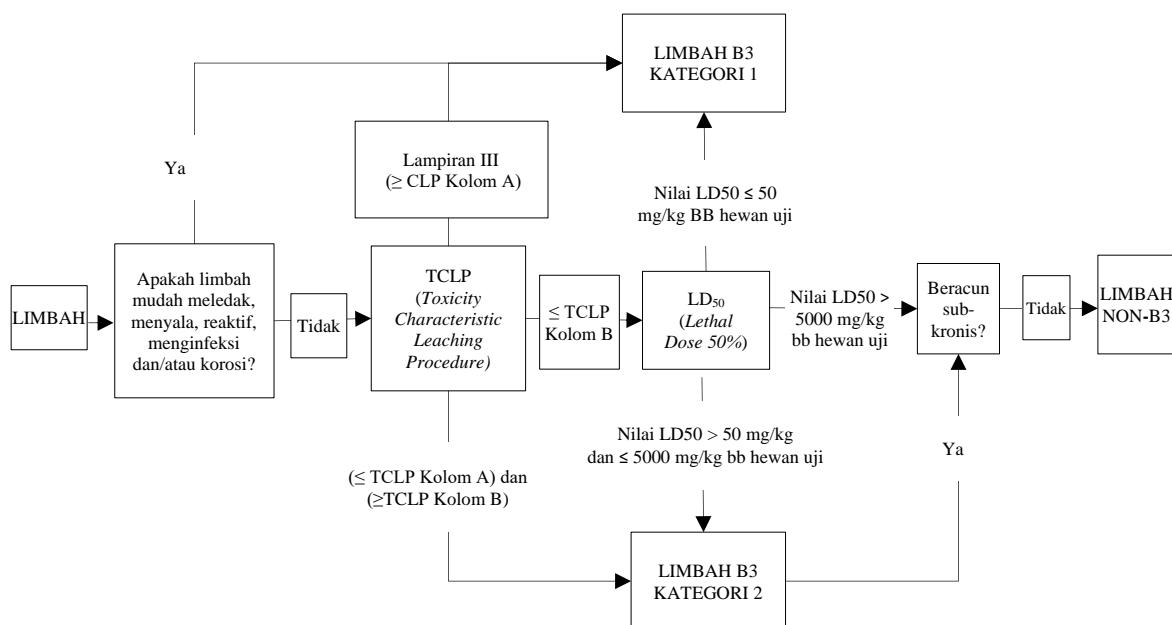
Pada Gambar 2, alur limbah yang tidak memiliki sifat mudah meledak, korosi dan sebagainya, diuji sifat beracunnya. Limbah B3 kategori 2 dan non-B3 hanya ditentukan oleh sifat beracun dengan pengujian TCLP, LD<sub>50</sub> dan uji subkronis. Parameter TCLP di lampiran 3 pada PP adalah perbandingan batas limbah anorganik yang menentukan kategori limbah beracun. Terdapat dua kategori, yaitu TCLP-A dan TCLP-B. TCLP-A adalah batas minimum untuk limbah B3 kategori 1. Sedangkan limbah B3 kategori 2 adalah limbah yang memiliki nilai TCLP di antara TCLP-B dan TCLP-A. Kemudian Limbah non-B3 memiliki nilai TCLP di bawah parameter TCLP-B. Belum ditemukan penjelasan berkaitan dengan adanya dua parameter TCLP.

Uji LD<sub>50</sub> dilakukan apabila uji TCLP tidak menunjukkan bahwa limbah tersebut beracun sesuai dengan Gambar 2. PP Nomor 101 tahun 2014 pasal 5 memberi syarat untuk limbah B3 kategori 1 dan 2 dan non-B3. Sampel yang diuji dianggap memiliki kandungan toksik pada suatu dosis apabila jumlah spesies uji mengalami kematian hingga 50% dari total dosis tersebut. Jika terjadi kematian pada dosis lebih kecil dari 50 mg/kg maka bahan tersebut termasuk limbah B3 kategori 1. Untuk kategori 2, batas dosisnya antara

50 mg/kg hingga 5000 mg/kg. Limbah yang memiliki nilai LD<sub>50</sub> lebih dari 5000 mg/kg berpotensi menjadi limbah non-B3. Jika tidak terdapat toksik pada uji LD<sub>50</sub>, maka dilanjutkan pengujian subkronis.

Uji toksikologi subkronis (LD<sub>90</sub>) adalah uji pengaruh sampel terhadap organ internal makhluk hidup yang diamati selama 90 hari (LD<sub>90</sub>). Pengujian ini khusus untuk limbah yang direkomendasikan untuk keluar dari klasifikasi limbah B3 menjadi limbah non-B3. Pada Permen LHK no. 55 tahun 2015 pengujian ini mengacu pada OECD 1998. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah ada unsur toksik yang tidak terdeteksi oleh LD<sub>50</sub>. Lebih lanjut, tata cara melakukan uji ini dituangkan dalam Peraturan Menteri LHK yang diterbitkan tahun 2020 untuk merevisi Permen LHK Nomor 55 tahun 2015 (Permen LHK Nomor 10 Tahun 2020).

Pada dasarnya, pengujian LD<sub>90</sub> biasanya diterapkan pada sektor makanan dan obat-obatan yang dikonsumsi. Belum ditemukan negara lain yang menerapkan uji toksikologi subkronis pada limbah. Sebetulnya pengujian ini kurang cocok digunakan pada limbah seperti *fly ash*. Terlebih lagi permen LHK Nomor 55 tahun 2015 memuat tata cara uji subkronis oral. Uji ini adalah teknik memberikan makan pada spesimen untuk diamati reaksi toksiknya. Pengujian ini adalah salah satu teknik yang digunakan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) untuk menguji toksisitas pada obat-obatan, kosmetik, suplemen dan pangan (Peraturan Kepala BPOM RI Nomor 7 Tahun 2014).



Gambar 2. Alur tata cara klasifikasi limbah sesuai dengan PP Nomor. 101 tahun 2014

## Hasil pengujian

Tabel L-1 adalah hasil tes TCLP *fly ash* Indonesia yang diambil dari 16 PLTU di Indonesia, yang menunjukkan bahwa nilai TCLP dari seluruh sampel lebih rendah dari standar TCLP-B dari PP yang merupakan batas minimum untuk limbah B3 kategori-2. Kandungan ini akan lebih rendah jika *fly ash* dimanfaatkan sebagai produk. Contohnya pencampuran *fly ash* dan tanah sebagai lapisan dasar TPA untuk mengurangi pelindian cairan-cairan berbahaya di atasnya (Kumar *et al.*, 2019). Hasil tes TCLP tersebut di bawah standar sehingga aman terhadap lingkungan. Contoh lain adalah pemanfaatan *fly ash* sebagai produk beton geopolimer. Pada beton geopolimer, semen digantikan seluruhnya dengan *fly ash* yang diaktivasi dengan larutan alkali natrium sebagai pengganti air. Produk geopolimer diketahui dapat menangkap senyawa racun, senyawa organik dan bahkan bisa digunakan untuk menjadi pelindung radiasi nuklir. Lebih detail, geopolimer bisa digunakan untuk memerangkap arsen dan merkuri pada sistem ikatan kimianya (Arioz *et al.*, 2012).

Tabel L-3 adalah hasil TCLP produk geopolimer untuk beton, paving, batako dan briket dari 8 *fly ash* PLTU. Jika Tabel L-3 dan Tabel L-1 dibandingkan, sebagian besar senyawa yang melindi dari produk lebih sedikit daripada *fly ash*-nya. Ditemukan kandungan arsen, merkuri dan sianida tidak lebih dari 0,001 mg/l. Hasil ini sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan di tempat lain (Arioz *et al.*, 2012; Gallardo *et al.*, 2015), dan menunjukkan bahwa *fly ash* menjadi semakin tidak berbahaya jika dimanfaatkan sebagai produk daripada hanya dibuang.

Tabel L-2 adalah hasil uji LD50 *fly ash* dan *bottom ash*, yang menunjukkan tidak ada kematian pada seluruh spesimen hingga dosis 7000 mg/kg. Dosis ini telah melebihi 5000 mg/kg. Hasil ini diikuti dengan tidak adanya pengaruh sampel pada perubahan perilaku specimen, bahkan *fly ash* dan *bottom ash* dapat menambah berat badan spesimen antara 7-8%, dan kedua limbah tersebut tidak beracun. Kedua data ini cukup untuk digunakan sebagai bukti bahwa *fly ash* bukan termasuk limbah B3 kategori-2. Namun PP masih mensyaratkan uji toksikologi subkronis jika ingin dikeluarkan dari limbah B3 seperti yang ditunjukkan pada alur Gambar 2. Dalam studi ini belum dilakukan pengujian toksikologi subkronis pada *fly ash*.

Sebetulnya, sudah ada aturan pemanfaatan *fly ash* untuk infrastruktur. Di dalam pasal 26 SNI 2847 tahun 2019 dinyatakan *fly ash* bisa digunakan sampai 50% sebagai material sementisius untuk campuran beton. Meski demikian, aplikasinya di

lapangan, ternyata masih tidak nampak realisasinya. Hal ini disebabkan terdapat konflik antara peraturan SNI dengan PP nomor 101 tahun 2014. Akibatnya, persentase maksimum pemanfaatan *fly ash* di Indonesia bertahan di angka 10% dari tahun 2002 sampai sekarang seperti yang diperlihatkan di Gambar 3. Kedua peraturan ini sebaiknya harus diselaraskan terlebih dahulu supaya tidak terjadi kebingungan apakah *fly ash* bisa dengan mudah diaplikasikan di lapangan.

## Status Fly Ash di beberapa negara.

### India

*Fly ash* dikategorikan sebagai limbah tidak berbahaya di India. Hal ini disebabkan *fly ash* memiliki potensi luar biasa sebagai bahan baku alternatif untuk mengkonservasi lapisan atas sehingga dapat mengurangi penumpukan di TPA, Kementerian Lingkungan, Kehutanan dan Iklim India telah mengumumkan perintah pemanfaatan *fly ash* (Ministry of Environment and Forests India, 1999). Pengumuman tersebut terus diamandemen sampai terbitnya notifikasi tahun 2019 yang berisi peningkatan pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan material konstruksi dan produksi batu bata, blok dan ubin untuk perusahaan di dalam radius 300 km dari PLTU (Ministry of Environment Forest and Climate Change India, 2019). Berkat regulasi pada tahun 1999, laju pemanfaatan *fly ash* meningkat hampir 70% dalam kurun waktu 10 tahun yang ditunjukkan pada Gambar 3 (Sharma & Akhai, 2019).

Antusiasme pemerintah India dalam mengurangi limbah *fly ash* dibuktikan dengan tingkat pemanfaatan *fly ash* di setiap PLTU. Menurut *Central Electricity Authority*, sekitar 46 dari 156 PLTU sudah memanfaatkan *fly ash* lebih dari 90% pada semester pertama tahun 2018-2019 (*Central Electricity Authority*, 2019). Hal ini dipicu oleh Pengumuman Menteri Lingkungan dan Kehutanan tahun 2009 yang mewajibkan PLTU untuk memanfaatkan *fly ash* hingga 100% (*Ministry of Environment and Forests India*, 2009). Pemanfaatan *fly ash* diterapkan pada berbagai sektor yang tercantum dalam Tabel 1.

Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan campuran semen mencapai 26,85% dari total keseluruhan pemanfaatan *fly ash*. Untuk mengatur pemanfaatan *fly ash* dalam semen diterbitkan *Indian Standard (IS) 3812 (2013) (Bureau of Indian Standards, 2013)*. Namun, yang mengherankan, *fly ash* tidak banyak dimanfaatkan dalam beton yaitu hanya 1,04%. Ternyata *fly ash* banyak digunakan sebagai bahan pembuatan batu bata. Penggunaan *fly ash* hingga 40% dari campuran dapat menciptakan batu bata yang lebih tinggi kuat tekannya dan lebih tahan

api dibandingkan batu bata biasa (Naganathan *et al.*, 2015). Bahkan terdapat penelitian terhadap batu bata yang menggunakan *fly ash* 100% menggantikan bahan mentah dari lapisan tanah atas (Gadling & Varma 2017; Mainuddin *et al.* 2019; Sahu *et al.*, 2017).

**Tabel 1 Pembagian pemanfaatan *fly ash* di India pada berbagai sektor di semester pertama tahun 2018-2019 (Central Electricity Authority, 2019)**

Tipe pemanfaatan	Pemanfaatan <i>fly ash</i>	
	juta-ton	(%)
Semen	25,03	26,85
Reklamasi bekas tambang	4,80	5,15
Bata dan ubin	8,07	8,65
Reklamasi	9,01	9,66
Tanggul	8,53	9,15
Jalan dan jembatan	2,52	2,70
Pertanian	0,72	0,77
Beton	0,97	1,04
Sektor tenaga hidro	0,00	0,00
Lain-lain	4,43	4,76
<i>Fly ash</i> tak dimanfaatkan	29,17	31,28
<b>Total</b>	<b>93,26</b>	<b>100,00</b>

Amerika Serikat.

Amerika Serikat melalui Agen Pelindung Lingkungan (*Environmental Protection Agency*, EPA) mengklasifikasi *fly ash* dari limbah batu bara dan *slag* termasuk limbah tidak berbahaya sehingga limbah ini tidak diatur oleh regulasi *Resource Convention and Recovery Act* (RCRA) 40 bagian 261 subbagian C yang mengatur pengelolaan, transportasi dan pembuangan limbah berbahaya (*Environmental Protection Agency*, 1993). Sebagai gantinya, *fly ash* diatur pada subbagian D tentang regulasi limbah tidak berbahaya. Hal ini diperkuat dengan pernyataan baru dari EPA yang menyatakan bahwa pemanfaatan limbah pembakaran fosil seperti *fly ash* tidak menimbulkan risiko yang signifikan (*Environmental Protection Agency*, 1993).

Dengan dipindahkannya *fly ash* ke dalam daftar limbah tidak berbahaya, terjadi peningkatan pemanfaatan *fly ash* di Amerika hingga 44,8% di tahun 2015 (San Nicolas *et al.*, 2017). Sehingga total pemanfaatan *fly ash* di tahun 2018 mencapai 50%. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.

Di Amerika Serikat, regulasi pada setiap negara bagian berbeda-beda. Salah satu contohnya adalah Pennsylvania. Negara ini merilis *Pennsylvania (Pa) Code § 290.1: Beneficial Use of Coal Ash* (2010) yang membahas pemanfaatan *fly ash* mulai dari tata

cara cek kualitas, penyimpanan dan pemanfaatan. Regulasi ini juga menyebutkan beberapa pemanfaatan *fly ash* yang dapat diajukan sertifikasi, yaitu pemanfaatan *fly ash* pada perbaikan tanah dan reklamasi bekas tambang. Sedangkan kegiatan lain yang diizinkan tanpa melakukan sertifikasi adalah *fly ash* sebagai pengganti semen, sebagai stabilisasi produk, sebagai bahan mentah produk komersil, sebagai bahan bakar dan ekstraksi senyawa kimia seperti alumina dari *fly ash*.

Cina

Di Cina, *fly ash* dikategorikan dalam limbah industri padat umum kelas 2 (He *et al.*, 2012). Dikarenakan *fly ash* tidak dimasukkan ke dalam kategori berbahaya, maka pemanfaatan *fly ash* di Cina lebih leluasa. Pada tahun 2018 pemanfaatan *fly ash* di Cina bertahap di angka 70% (Luo *et al.*, 2020). Laju pemanfaatan *fly ash* di Cina dapat dilihat pada Gambar 3. Angka ini disebabkan oleh ketimpangan pemanfaatan *fly ash* di Cina bagian timur dan barat akibat perbedaan jumlah penduduk dan PLTU. Cina bagian timur lebih padat sehingga permintaan *fly ash* cukup tinggi. Sedangkan Cina bagian barat, permintaan sangat sedikit yang berakibat *fly ash* harus didistribusikan ke timur untuk dimanfaatkan (Luo *et al.*, 2020; Moon, 2013).

Meskipun grafik pada Gambar 3 menunjukkan Cina memanfaatkan *fly ash* sejak tahun 2002, kenyataannya *fly ash* sudah dimanfaatkan sebagai bahan tambahan semen dan beton sejak tahun 1950 (Luo *et al.*, 2020) Namun belum ditemukan regulasi pemanfaatan *fly ash* dari Cina hingga tahun tersebut. Hal ini disebabkan oleh Cina tidak mengeluarkan regulasinya ke publik.

Di Cina, *fly ash* lebih dominan dimanfaatkan sebagai bahan tambahan semen dan beton seperti yang tertera pada Tabel 2 (Luo *et al.*, 2020; Tang *et al.*, 2013). 25% digunakan pada sektor material semen dan 10% pada beton. Dikarenakan banyak dimanfaatkan di bidang itu, pemerintah Cina merilis standar untuk mengatur penggunaan *fly ash* dalam semen dan beton (Gb/T 1596-2017). Pada aplikasinya, *fly ash* dapat digunakan untuk campuran komposisi beton hingga 60% (Han & Wu, 2019). Salah satu contohnya adalah Bendungan Tiga Ngarai yang 50% material betonnya dari *fly ash* (San Nicolas *et al.*, 2017).

Selain semen dan beton, *fly ash* juga dimanfaatkan untuk perbaikan tanah bekas tambang (Tsadilas *et al.*, 2018). Tanah modifikasi tersebut dapat ditumbuhi tanaman seperti gandum. Saat ini, Cina sedang membangun fasilitas otomatisasi manufaktur ubin keramik dari *fly ash* pertama di dunia (San Nicolas *et al.*, 2017).

**Tabel 2 Pemanfaatan fly ash di Cina pada berbagai sektor di tahun 2018 (Luo et al., 2020)**

Tipe Pemanfaatan	Pemanfaatan fly ash di tahun 2018	
	juta-ton	(%)
Semen	143	25
Beton	57	10
Material bangunan mutu rendah	103	18
Paving dan timbunan bekas tambang	17	3
Ditimbun di TPA	200	35
Lain-lain	51	9
<b>Total</b>	<b>571</b>	<b>100</b>

#### Vietnam

Pemerintah Vietnam mulai menaruh perhatian pada limbah sejak tahun 2005, yaitu dengan dikeluarkannya Hukum Proteksi Lingkungan (Order Nomor 29/2005/L-CTN, 2007) yang direvisi pada tahun 2014 (*The National Assembly*, 2014). Disusul dengan terbitnya edaran Nomor 36/2015/TT-BTNMT tentang manajemen limbah berbahaya yang memuat daftar limbah berbahaya dan cara pengelolaannya (Circular Nomor 36/2015/TT-BTNMT, 2015). Di Vietnam, limbah padat diklasifikasikan menjadi tiga: limbah berbahaya, limbah tidak berbahaya dan limbah kota. Fly ash hasil dari pembakaran batu bara tidak terdapat pada daftar limbah berbahaya.

Pemerintah Vietnam sadar akan bahayanya limbah fly ash terhadap lingkungan apabila penumpukan terus berlanjut. Hal ini mendorong pemerintah untuk memasang visi setidaknya 60% limbah batu bara dimanfaatkan sebagai material bangunan pada tahun 2020 (Thenepalli et al., 2018). Pada tahun 2017 Perdana Menteri Vietnam merilis perintah untuk meningkatkan pemanfaatan abu, slag dan gypsum yang dilepaskan dari PLTU dan pabrik kimia sebagai material bangunan dan proyek konstruksi (Decision No. 452/QD-TTg, 2017).

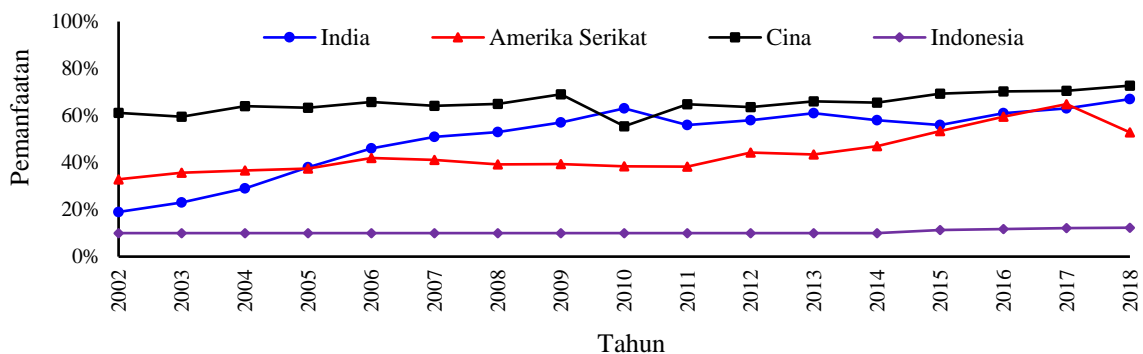
Keputusan ini menguatkan Keputusan Perdana Menteri Vietnam tahun 2014 (Decision No. 1696/QD-TTg, 2014). Tidak ada laporan laju pemanfaatan fly ash di Vietnam sehingga tidak dimasukkan pada Gambar 3. Hal ini disebabkan oleh Vietnam yang baru memulai pemanfaatannya pada tahun 2014 sehingga belum ada laporan yang resmi.

Berkat lampu hijau yang diberikan oleh pemerintah Vietnam, fly ash telah dimanfaatkan pada berbagai sektor. Salah satu contohnya adalah pemanfaatan fly ash sebagai lapisan dasar TPA. Campuran fly ash dan bentonite dengan rasio 4:1 yang dicampur dengan tanah dapat dijadikan sebagai lapisan dasar (bottom liner) TPA (Nguyen et al., 2019). Selain fly ash, bottom ash dapat digunakan sebagai agregat untuk paving (Nguyen Thi et al., 2019).

#### Perbandingan parameter TCLP dan LD<sub>50</sub>

Kategori limbah beracun di Indonesia berbeda dengan EPA maupun India. Jika dibandingkan berdasarkan Gambar 2, EPA menentukan limbah beracun hingga hasil TCLP saja (EPA, 1993), sedangkan India mensyaratkan TCLP dan LD<sub>50</sub> (Ministry of Environment, Forest and Climate Change Notification 4th April 2016). Perbedaan ini merupakan kebijakan dari pemerintah masing-masing.

Sedangkan pemerintah Cina dan Vietnam belum mempublikasikan secara internasional bagaimana cara mereka dalam mengklasifikasi limbah berbahaya. Tata cara pengujian TCLP mengacu pada EPA 1311 (Permen LHK Nomor 55 Tahun 2015). Sedangkan parameter TCLP Amerika Serikat terdapat di SW-846 dan 40 CFR § 261.24. Namun, negara bagian Seperti Pennsylvania (25 Pa. Code § 290.1, 2010) dan California (§66261.24 Characteristic of Toxicity, 1988) memiliki regulasi dan batas limit sendiri. India juga memiliki parameter sendiri yang lebih ketat dari EPA. Perbedaan parameter dapat dilihat pada Tabel 3.



**Gambar 3 Progres pemanfaatan limbah fly ash di India, Amerika Serikat, Cina dan Indonesia (Concrete Construction, 2019; Koespraptini, 2017; Luo et al., 2020; Sharma & Akhai, 2019)**

Berbeda dengan California yang memiliki parameter sama dengan Amerika Serikat, Pennsylvania dan India hanya memiliki satu parameter. Meskipun hanya memiliki satu parameter, namun mereka memperketat pada sebagian besar senyawa kimianya demi menjaga lingkungannya. Sedangkan India menerapkan batas yang sama seperti EPA namun lebih longgar dari TCLP-A. India mengharapkan dengan longgarnya parameter TCLP ini, maka *fly ash* dapat dimanfaatkan sebesar-besarnya tanpa terhalang oleh regulasi limbah berbahaya.

Jika hasil TCLP *fly ash* Indonesia pada Tabel L-1 dan Tabel L-3 dibandingkan dengan batas TCLP pada Tabel 3, dapat dilihat bahwa hasil tersebut tidak melebihi dari batas-batas tersebut, terutama pada batas TCLP Pennsylvania yang lebih ketat daripada TCLP-B. Jika merujuk pada parameter TCLP EPA pada Tabel 3, *fly ash* dari batu bara sudah termasuk limbah tidak beracun. Pengujian LD50 pada *fly ash* terdapat di Indonesia dan India. Batas dosis di Indonesia adalah 50 mg/kg dan 5000 mg/kg. Sedangkan India hanya memiliki satu batas yaitu 2500 mg/kg (Ministry of Environment, Forest and Climate Change Notification 4th April 2016).

Limbah disebut beracun apabila hasil kematian spesimen terjadi pada dosis kurang dari 2500 mg/kg. Jika lebih dari batas tersebut, limbah dianggap aman. Berdasarkan Tabel 2, selain TCLP yang di bawah ambang batas, nilai LD<sub>50</sub>-nya *fly ash* Indonesia melebihi dari batas LD<sub>50</sub> India. Semua data TCLP dan LD50 ini menunjukkan bahwa *fly ash* Indonesia tidak termasuk limbah berbahaya di negara Amerika Serikat dan India. Terutama lagi di India sebagai pengimpor batubara Indonesia.

## Kesimpulan

Dari pembahasan regulasi pemanfaatan *fly ash* dalam makalah ini didapatkan bahwa India, Amerika Serikat, Cina dan Vietnam mengkategorikan *fly ash* ke dalam limbah tidak berbahaya dan memiliki regulasi yang jelas untuk mengupayakan pemanfaatan *fly ash*. Dengan status *fly ash* bukan sebagai limbah berbahaya, tingkat pemanfaatan *fly ash* pada tahun 2018 di Amerika Serikat meningkat menjadi 50%, sedangkan Cina 70% dan India 69%. Kemudian hasil TCLP *fly ash* Indonesia kurang dari parameter TCLP-B. Apabila dimanfaatkan sebagai produk, hasil TCLP-nya kurang dari hasil TCLP masing-masing *fly ash*-nya. Hasil LD<sub>50</sub> menunjukkan bahwa *fly ash* dan *bottom ash* tidak beracun. Menurut EPA *fly ash* Indonesia bukan termasuk limbah beracun. Jika ditambah hasil LD<sub>50</sub>, diperkuat kedudukannya dalam regulasi India sebagai limbah tidak berbahaya. Dengan demikian, seharusnya *fly ash* tidak dikategorikan sebagai limbah B3. Selain dibutuhkan uji toksikologi subkronis sesuai persyaratannya, tidak diketahui dasar yang menjadi sebab dikategorikannya sebagai limbah B3 dari tahun 1999 hingga sekarang. Pada prakteknya, terjadi konflik dengan SNI 2847:2019 yang sudah mengatur pemanfaatan *fly ash* untuk bahan beton dalam jumlah besar

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada PT Indonesia Power UP Suralaya dan PT Energi Prima Nusantara yang telah bekerjasama dengan ITS untuk melakukan kajian *fly ash* dan *bottom ash* (FABA dan pemanfaatannya).

**Tabel 3 Perbandingan ambang batas TCLP anorganik (mg/l) untuk klasifikasi limbah berbahaya**

Zat Pencemar	PP no. 101 tahun 2014		40 CFR § 261.24 & CCR 66261.24 title 22	Pennsylvania	India
	TCLP-A	TCLP-B		PA §290.201	MOEFCC, 2016
Antimoni, Sb	6	1	-	0,15	15
Arsen, As	3	0,5	5	0,25	5
Barium, Ba	210	35	100	50	100
Berilium, Be	4	0,5	-	0,1	0,75
Boron, B	150	25	-	15	-
Kadmium, Cd	0,9	0,15	1	0,125	1
Krom, Cr	15	2,5	5	2,5	5
Tembaga, Cu	60	10	-	25	25
Timbal, Pb	3	0,5	5	0,375	5
Merkuri, Hg	0,2	0,05	0,2	0,05	0,2
Molibdenum, Mo	21	3,5	-	4,375	350
Nikel, Ni	21	3,5	-	2,5	20
Selenium, Se	3	0,5	1	0,5	1
Perak, Ag	40	5	5	2,5	5
Seng, Zn	300	50	-	50	250



## Daftar Pustaka

- § 66261.24 Characteristic of Toxicity, (1988).
- 25 Pa. Code § 290.1: Beneficial Use of Coal Ash, (2010).
- Arioz, E., Arioz, O., & Mete Kockara, O. (2012). Leaching of F-type fly ash based geopolymers. *Procedia Engineering*, 42(August), 1114–1120.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. (2014) *Peraturan Kepala BPOM RI Nomor 7 Tahun 2014 tentang pedoman uji toksisitas nonklinik secara in vivo*. Jakarta: BPOM RI.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 2847 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Bureau of Indian Standards. (2013). *Indian Standard 3812 (2013): Pulverized fuel ash-Specification*. India: Bureau of Indian Standards.
- Central Electricity Authority. (2019). *Report on fly ash generation at coal/lignite based thermal power stations and its utilization in the country*.
- Circular No. 36/2015/TT-BTNMT: Management of Hazardous Wastes, (2015).
- Concrete Construction. (2019). *Coal ash recycling rate declines Shifting production and use patterns results in 11% reduction in use in 2018*.
- Ekaputri, J. J. (2016). Abu batu bara, cinderella yang tak dirindukan. *Koran Sindo*.
- Ekaputri, J. J., Brahmantyo, D., Rahmadina, A., Wijaya, A. L., Hasbullah, H., Triani, D. N. D., Karuru, R. S., & Ruitan, X. D. E. A. (2019). *Laporan Akhir Pekerjaan Pendampingan dan Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash PLTU Tanjung Balai Karimun Lingkup PT. PLN Wilayah Riau dan Kepulauan Riau*.
- Ekaputri, J. J., Brahmantyo, D., Rahmadina, A., Wijaya, A. L., Karuru, R. S., Raizal, P., Al Bari, M. S., & Muhammad, A. R. (2019a). *Laporan TW IV: Kajian Karakterisasi Kandungan Fly Ash - Bottom Ash PLTU Air Anyir*.
- Ekaputri, J. J., Brahmantyo, D., Rahmadina, A., Wijaya, A. L., Karuru, R. S., Raizal, P., Al Bari, M. S., & Muhammad, A. R. (2019b). *Laporan TW IV: Kajian Karakterisasi Kandungan Fly Ash & Bottom Ash PLTU Suge*.
- Ekaputri, J. J., Lie, H. A., Fujiyama, C., Shovitri, M., Alami, N. H., & Setiamarga, D. H. E. (2019c). The effect of alkali concentration on chloride penetration in geopolymer concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 615(1), 1-12.
- Ekaputri, J. J., Manfaluthy, L., Rahmadina, A., Mutiara, I. S., Wijaya, A. L., Triani, D. N. D., & Hasbullah, H. (2018). *Laporan Pekerjaan: Jasa Penelitian Pemanfaatan Fly Ash - Bottom Ash PLTU Indramayu sebagai Material Non-semen untuk Perkerasan Jalan dan Paving Geopolimer*.
- Environmental Protection Agency. (1993). 58 FR 42466: *Final Regulatory Determination on Four Large-Volume Wastes from The Combustion of Coal by Electric Utility Power Plants* (Vol. 58, Issue 151, pp. 42187–42482). National Archives and Record Administration.
- Environmental Protection Agency. (2000). 65 FR 32213 - *Notice of Regulatory Determination on Wastes from The Combustion of Fossil Fuels*. National Archives and Record Administration.
- Gadling, P. P., & Varma, M. B. (2017). A review of ecofriendly bricks by using fly ash. *Journal of Construction Engineering, Technology and Management*, 7(2), 35–40.
- Gallardo, S., Van Hullebusch, E. D., Pangayao, D., Salido, B. M., & Ronquillo, R. (2015). Chemical, leaching, and toxicity characteristics of coal ashes from circulating fluidized bed of a philippine coal-fired power plant. *Water, Air, and Soil Pollution*, 226(9), 1-11.
- Han, F., & Wu, L. (2019). Industrial Solid Waste Recycling in Western China. In *Industrial Solid Waste Recycling in Western China*. Singapore: Springer.
- He, Y., Luo, Q., & Hu, H. (2012). situation analysis and countermeasures of china's fly ash pollution prevention and control. *Procedia Environmental Sciences*, 16, 690–696.
- Kaur, R., & Goyal, D. (2016). Mineralogical comparison of coal fly ash with soil for use in agriculture. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 18(1), 186–200.
- Koespraptini, R. (2017). *Presentasi Studi Daya Dukung Lingkungan terhadap Pembangunan PLTU Batubara di Pulau Jawa*.
- Kumar, A., Samadder, S. R., & Kumar, V. (2019). Assessment of groundwater contamination risk due

- to fly ash leaching using column study. *Environmental Earth Sciences*, 78(1), 8.1-8.12.
- Luo, Y., Wu, Y., Ma, S., Zheng, S., Zhang, Y., & Chu, P. K. (2020). Utilization of coal fly ash in China: A mini-review on challenges and future directions. *Environmental Science and Pollution Research*. 1-14.
- Luo, Y., Zheng, S., Ma, S., Liu, C., & Wang, X. (2017). Ceramic tiles derived from coal fly ash: Preparation and mechanical characterization. *Ceramics International*, 43(15), 11953–11966.
- Mainuddin, Amin, R., Sarkhel, S., Bhowmick, P., & Ahmed, A. (2019). Stresses in fly ash brick using different proportion of lime, cement, gypsum, sand and stone dust. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(2), 4288–4292.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia. (2015). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2015 tentang tata cara uji karakteristik limbah bahan berbahaya dan beracun*. Jakarta: Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia. (2017). *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia Nomor SK.577/Menlhk/Setjen/PLB.3/10 /2017 tentang izin pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun untuk kegiatan pemanfaatan limbah bahan berbahaya dan beracun atas nama PT Indonesia Power Unit*. Jakarta: Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia. (2018). *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia Nomor SK.116/Menlhk/Setjen/PLB.3/2/2018 tentang izin pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun untuk kegiatan pemanfaatan limbah bahan berbahaya dan beracun atas nama PT. Indonesia Power Unit*. Jakarta: Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia. (2019). *Surat Nomor S.181/Menlhk/Setjen/PLB.3/4/2019 tentang pernyataan telah terpenuhinya pemenuhan komitmen PT. PJB unit bisnis jasa O&M PLTU Indramayu*. Jakarta: Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 2020 tentang tata cara uji karakteristik dan penetapan status limbah bahan berbahaya dan beracun*. Jakarta: Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia.
- Ministry of Environment and Forests India. (1999). *Ministry of environment and forests notification 14th September 1999*. The Gazette of India: Extraordinary.
- Ministry of Environment and Forests India. (2009). *Ministry of environment and forests notification 3rd November 2009*. The Gazette of India: Extraordinary.
- Ministry of Environment Forest and Climate Change India. (2019). *Ministry of environment, forest and climate change notification 25th February 2019*. The Gazette of India: Extraordinary.
- Ministry of Environment Forest and Climate Change India. (2016). *Ministry of environment forest and climate change notification 4th April 2016*. The Gazette of India: Extraordinary.
- Mishra, A. K., & Ravindra, V. (2015). On the utilization of fly ash and cement mixtures as a landfill liner material. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 1(2), 1-7.
- Moon, S. T. (2013). *Regulatory and Legal Applications : Fly Ash Use in Cement and Cementitious Products*. Paper presented at 2013 World of Coal Ash (WOCA) Conference. Lexington, KY.
- Naganathan, S., Mohamed, A. Y. O., & Mustapha, K. N. (2015). Performance of bricks made using fly ash and bottom ash. *Construction and Building Materials*, 96, 576–580.
- Namkane, K., Naksata, W., Thiansem, S., Sooksamiti, P., & Arqueropanyo, O. anong. (2016). Utilization of coal bottom ash as raw material for production of ceramic floor tiles. *Environmental Earth Sciences*, 75(5), 1–11.
- National Standard of the People's Republic of China. (2017). *Gb/T 1596-2017: Fly ash used for cement and concrete*. China: Standardization Administration Committee.
- Nguyen, L. C., Chu, H. L., & Ho, L. S. (2019). Soil treatment by bentonite and fly ash for liners of waste landfill: A case study in Vietnam. *International Journal of GEOMATE*, 17(63), 315–322.
- Nguyen Thi, N., Phi Hong, T., & Bui Truong, S. (2019). Utilizing coal bottom ash from thermal power plants in vietnam as partial replacement of

- aggregates in concrete pavement. *Journal of Engineering (United Kingdom)*, 2019. 1-11.
- Order No. 29/2005/L-CTN: Law on Environmental Protection, Pub. L. No. 29/2005/L-CTN, 11–12 (2007).
- Pratiwi, W. D., Triwulan, Ekaputri, J. J., & Fansuri, H. (2020). Combination of precipitated-calcium carbonate substitution and dilute-alkali fly ash treatment in a very high-volume fly ash cement paste. *Construction and Building Materials*, 234, 117273.
- Republik Indonesia. (1999). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 tentang pengelolaan limbah berbahaya dan beracun*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Sahu, M. K., Singh, L., & Bhilai, D. R. C. E. T. (2017). Critical review on types of bricks type 11: sandcrete bricks. *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, 5(11), 104–110.
- San Nicolas, R. V. R., Walkley, B., & van Deventer, J. S. J. (2017). Coal Combustion Products (CCP's). In *Woodhead publishing series in energy*.
- Sato, K., & Fujikawa, T. (2015). Effective use of coal ash as ground materials in Japan. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 3(2), 65–70.
- Sharma, V., & Akhai, S. (2019). Trends in utilization of coal fly ash in india: A review. *Journal of Engineering Design & Analysis*, 2(1), 12–16.
- Tang, Z., Ma, S., Ding, J., Wang, Y., Zheng, S., & Zhai G. (2013). *Current Status and Prospect of Fly Ash Utilization in China*. Paper presented at Proceeding of World of Coal Ash (WOCA), Lexington, KY.
- The Deputy Prime Minister. (2014). *Decision No. 1696/QD-TTg: Taking measures to treat ash, slag and gypsum from thermal power, chemical or fertilizer plants for the production of building materials*. Vietnam: The Deputy Prime Minister.
- The Deputy Prime Minister. (2017). *Decision No. 452/QD-TTg: Approving the proposal to boost treatment and use of ash, slag and gypsum discharged from thermal power plants, chemical and fertilizer plants for production of building materials and for use in construction projects*. Vietnam: The Deputy Prime Minister.
- The National Assembly. (2014). *Law on environmental protection No. 55/2014/QH13*. Vietnam: The National Assembly.
- Thenepalli, T., Ngoc, N. T. M., Tuan, L. Q., So, T. H., Hieu, H. H., Thuy, D. T. N., Thao, N. T. T., Tam, D. T. T., Huyen, D. T. N., Van, T. T., Chilakala, R., & Ahn, J. W. (2018). Technological solutions for recycling ash slag from the Cao Ngan Coal Power Plant in Vietnam. *Energies*, 11(8), 1–18.
- Tsadilas, C. D., Hu, Z., Bi, Y., & Nikoli, T. (2018). Utilization of coal fly ash and municipal sewage sludge in agriculture and for reconstruction of soils in disturbed lands: Results of case studies from Greece and China. *International Journal of Coal Science and Technology*, 5(1), 64–69.
- U. S. Environmental Protection Agency. (2002). *EPA 712-C-02-190: Health effects test guidelines OPPTS 870.1100 acute oral toxicity*. U.S: Government Printing Office.
- Wattimena, O. K., Antoni, & Hardjito, D. (2017). A review on the effect of fly ash characteristics and their variations on the synthesis of fly ash based geopolymer. *AIP Conference Proceedings*, 1887(1), 1-12.
- Xu, D., Li, H., Bao, W., & Wang, C. (2016). A new process of extracting alumina from high-alumina coal fly ash in NH<sub>4</sub>HSO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mixed solution. *Hydrometallurgy*, 165, 336–344.
- Zhang, X. (2014). *Management of Coal Combustion Wastes*. In IEA Clean Coal Centre. 1-68.

Tabel L-1 Hasil TCLP (mg/l) fly ash dari PLTU milik pemerintah di Sumatera, Jawa, Sulawesi dan Nusa Tenggara Barat

Zat*	PP	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
As**	0,5	0,016	0,021	0,015	0,013	0,026	0,018	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
B	25	8,41	6,21	3,84	7,86	5,86	7,01	<0,02	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Cd	0,15	0,104	0,047	0,02	0,123	0,063	0,024	0,07	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cr <sup>6+</sup>	2,5	1,519	0,201	0,172	0,264	0,034	0,79	1,17	0,03	0,28	0,8	0,74	0,68	0,64	0,57	0,6	0,77
Cu	10	0,218	0,031	0,025	0,188	0,026	0,026	5,38	0,02	0,24	2,36	1,26	1,47	1,12	1,09	0,42	0,62
Pb	0,5	0,13	0,359	0,212	0,11	0,417	0,218	0,34	<0,01	0,25	0,21	0,19	0,16	0,16	0,14	0,15	0,07
Hg***	0,05	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ag	5	1,142	0,719	0,393	0,757	0,263	0,311	1,1	<0,02	<0,01	0,16	0,07	0,11	0,08	0,05	0,12	0,07
Zn	50	0,459	<0,002	0,029	0,243	0,029	0,131	13,49	0,21	1,25	3,85	3,43	3,41	3,12	3,62	0,88	0,82
CN	3,5	<0,005	0	0	<0,005	0	0	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
F	75	18,08	12,46	6,12	18,82	10,54	8,92	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
NO <sub>3</sub>	2500	46,06	38,41	18,36	38,14	22,68	24,11	5,54	2,23	5,16	4,95	4,96	4,92	4,89	5,07	3,22	3,56
NO <sub>2</sub>	150	7,26	8,18	3,04	7,05	3,96	5,02	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

\*) Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknologi Air dan Konsultasi Industri, Teknik Kimia, FTI - ITS

\*\*) Pengujian dilakukan di Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan, Teknik Lingkungan, FTSPK - ITS

\*\*\*) Pengujian dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan – LPPM ITS

Tabel L-2 Hasil uji LD<sub>50</sub> terhadap fly ash dan bottom ash dari dua PLTU di Sumatera

Tanggal analisa	Nama Sampel	Tingkat kematian (%)					Kenaikan berat badan Rata-Rata (%)
		Akuades (kontrol)	438 mg/kg	875 mg/kg	1750 mg/kg	3500 mg/kg	
3-1-2019	Fly Ash PLTU A	0	0	0	0	0	7,84
3-1-2019	Bottom Ash PLTU A	0	0	0	0	0	7,85
3-1-2019	Fly Ash PLTU B	0	0	0	0	0	7,53
3-1-2019	Bottom Ash PLTU B	0	0	0	0	0	8,2
11-6-2019	Fly Ash PLTU A	0	0	0	0	0	7,47
11-6-2019	Bottom Ash PLTU A	0	0	0	0	0	7,65
11-6-2019	Fly Ash PLTU B	0	0	0	0	0	7,78
11-6-2019	Bottom Ash PLTU B	0	0	0	0	0	8

Tabel L-3 Hasil TCLP (mg/l) produk hasil pemanfaatan fly ash dari PLTU milik pemerintah di Sumatera, Jawa, Sulawesi dan Nusa Tenggara Barat

Zat	PP (TCLP-B)	A			B			C		D		G		H		I		O
		Beton	Batako	Paving	Beton	Batako	Paving	Beton	Paving	Beton	Paving	Paving	Beton	Briket	Paving	Paving	Paving	
As	0,5	0,005	0,009	0,014	0,004	0,004	0,012	<0,001	<0,001	0,008	0,015	<0,001	-	-	-	<0,001	<0,001	
B	25	5,92	6,01	6,32	4,49	4,61	4,73	<0,02	<0,02	0,82	2,37	<0,02	4,05	1,44	3,92	<0,02	<0,02	
Cd	0,15	0,075	0,045	0,069	0,006	0,014	<0,001	<0,001	<0,001	0,089	0,052	0,074	<0,001	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	
Cr <sup>6+</sup>	2,5	0,475	0,29	0,006	0,004	0,204	0,167	0,679	0,461	0,552	0,491	1,146	0,003	0,006	0,005	0,28	<0,001	
Cu	10	0,023	0,041	0,024	0,066	0,042	0,04	0,19	0,21	0,186	0,196	5,16	0,03	0,008	0,055	0,19	0,21	
Pb	0,5	0,067	<0,01	<0,01	0,053	0,089	<0,01	0,242	<0,01	0,467	0,243	0,342	<0,01	<0,01	<0,01	0,242	<0,01	
Hg	0,05	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Ag	5	0,331	0,25	0,234	0,238	0,286	0,137	<0,001	<0,02	1,146	0,73	1,07	0,274	0,185	0,242	<0,001	<0,02	
Zn	50	0,334	0,978	0,561	1,049	1,225	0,724	1,12	0,42	0,578	0,62	13,69	0,5	0,549	1,08	1,12	0,42	
CN	3,5	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	
F	75	6,88	8,05	8,05	7,23	7,23	6,92	<0,005	<0,005	1,89	1,51	<0,005	7,08	6,52	5,58	<0,005	<0,005	
NO <sub>3</sub>	2500	19,14	32,18	31,65	18,06	24,63	18,52	4,92	3,14	0,37	1,08	5,24	17,45	25	26,74	4,92	3,14	
NO <sub>2</sub>	150	2,08	6,12	8,14	2,8	3,07	5,17	<0,005	<0,005	0,038	0,009	<0,005	1,75	2,06	4,07	<0,005	<0,005	

\*) Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknologi Air dan Konsultasi Industri, Teknik Kimia, FTI - ITS

\*\*) Pengujian dilakukan di Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan, Teknik Lingkungan, FTSPK - ITS

\*\*\*) Pengujian dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan – LPPM ITS

**Keterangan:** Kode PLTU disesuaikan dengan kode PLTU yang sama pada Tabel L-1