



# Studi analisis manfaat limbah fly ash pada industri bahan baku semen

RATIH PERMATASARI<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat, 16424, Indonesia;

\*Korespondensi: [itsratihpermatasari@gmail.com](mailto:itsratihpermatasari@gmail.com)

Diterima: 15 Februari, 2024

Disetujui: 29 Februari, 2024

## ABSTRAK

**Background:** Kebutuhan energi listrik dan ketergantungan sumber energi batubara, sedangkan proses pembakaran batubara tidak terbakar habis sehingga menghasilkan limbah berupa fly ash. Kegiatan pemanfaatan limbah fly ash di industri semen dapat berpotensi menimbulkan dampak lingkungan berupa pencemaran udara. Oleh sebab itu, diperlukan konsep keberlanjutan pemanfaatan limbah fly ash sebagai alternatif bahan baku di industri semen. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis potensi dampak lingkungan pada pemanfaatan limbah fly ash menjadi semen, menganalisis manfaat finansial bagi industri semen, dan menentukan alternatif keberlanjutan pemanfaatan limbah fly ash berdasarkan konsep produksi bersih. **Metode:** Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan metode AHP. **Temuan:** Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi partikulat pada kegiatan pemanfaatan limbah fly ash di tidak melebihi baku mutu namun berpotensi menimbulkan dampak lingkungan dengan sebaran periode 24 jam sebesar 219 µg/m<sup>3</sup>, sedangkan periode tahunan tertinggi sebesar 67,2 µg/m<sup>3</sup>. Pemanfaatan limbah fly ash dapat mengurangi penggunaan bahan baku gypsum dan trass hingga 3,2 %. Manfaat finansial yang diterima industri semen adalah efisiensi biaya material sebesar Rp6.052.872.369,02 pada tahun 2018 dan Rp32.730.142.087,09 pada tahun 2022. **Kesimpulan:** Konsep produksi bersih sebagai alternatif keberlanjutan pemanfaatan limbah fly ash di industri semen PT ABC adalah dengan menerapkan recycle partikulat yang ditangkap oleh DC dan EP.

**KATA KUNCI:** fly ash; keberlanjutan; industri semen; pemanfaatan limbah.

## ABSTRACT

**Background:** The demand for electrical energy and dependence on coal energy sources, while the coal combustion process does not burn out, resulting in waste in the form of fly ash. The utilization of fly ash waste in the cement industry can potentially cause environmental impacts in the form of air pollution. Therefore, the concept of sustainability of fly ash waste utilization as an alternative raw material in the cement industry is needed. The objectives of this study are to analyze the potential environmental impacts on the utilization of fly ash waste into cement, analyze the financial benefits for the cement industry, and determine alternative sustainability of fly ash waste utilization based on the concept of clean production. **Methods:** The research method used is quantitative method with AHP method. **Findings:** The results showed that particulate concentrations in fly ash waste utilization activities did not exceed quality standards but had the potential to cause environmental impacts with a 24-hour period distribution of 219 µg/m<sup>3</sup>, while the highest annual period was 67.2 µg/m<sup>3</sup>. Utilization of fly ash waste can reduce the use of gypsum and trass raw materials by up to 3.2%. The financial benefits received by the cement industry are material cost efficiency of Rp6,052,872,369.02 in 2018 and Rp32,730,142,087.09 in 2022. **Conclusion:** The concept of clean production as an alternative to the sustainability of fly ash waste utilization in the cement industry of PT ABC is to implement the recycle of particulates captured by DC and EP.

### Cara Pengutipan:

Permatasari, R. (2024). Studi analisis manfaat limbah fly ash pada industri bahan baku semen. *Energy Justice*, 1(1), 40-50. <https://doi.org/10.61511/enjust.v1i1.2024.695>

**Copyright:** © 2024 dari Penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan dari the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



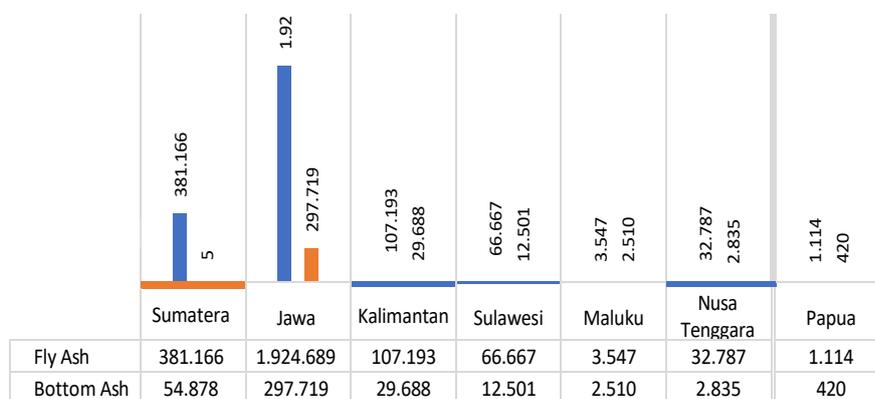
**KEYWORDS:** cement industry; fly ash; sustainability; waste utilization.

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik dalam setiap pembangunan menjadi bukti bahwa Indonesia tidak dapat terlepas dari sumber energi dunia. Bauran energi di Indonesia pada tahun 2020 terbesar di dominasi oleh bahan bakar fosil diantaranya adalah batubara 38% dan minyak bumi 32%. Energi minyak dalam penggunaannya pada proses pembakaran terbakar habis sehingga tidak menghasilkan limbah, sedangkan batubara dalam proses pembakaran sebagai bahan bakar menghasilkan limbah atau residu yaitu fly ash dan bottom ash. Residu batubara mengandung zat-zat berpotensi berbahaya, penanganan dan pembuangan yang tidak tepat dapat menyebabkan dampak lingkungan yang tidak diinginkan (Adriano et al., 1980).

Mengacu pada Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN 2021-2030 pemerintah menargetkan percepatan pembangunan infrastruktur ketenagalistrikan dengan membangun pembangkit tenaga listrik sebesar 40.575 MW. Pemerintah dalam hal ini menargetkan pembangunan pembangkit tenaga listrik sebesar 40.575 MW yang mana 48,4% masih bersumber dari pembangkit tenaga listrik energi fosil. Peningkatan pembangunan pembangkit berpotensi menambah permasalahan diikuti penggunaan batubara yang besar pada PLTU dapat menimbulkan potensi permasalahan lingkungan yang berasal dari limbah sisa pembakaran batubara yaitu fly ash dan bottom ash.

Peningkatan pembangunan pembangkit pada PLTU berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan berupa timbulan limbah fly ash dan bottom ash yang semakin besar dari proses pembakaran batubara. Unsur-unsur utama batubara adalah senyawa C, H, O, N, dan S, yang kandungannya biasanya lebih dari 1000 ppmw, sedangkan unsur-unsur minor batubara merupakan senyawa Si, Al, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, P, dan Ti yang memiliki kandungan yang umumnya berada di antara 100 hingga 1000 ppmw dan merupakan bahan mineral anorganik batubara, sedangkan senyawa halogen berupa Cl, Br, dan F dapat menimbulkan masalah bagi kesehatan dan lingkungan (R. Yan et al., 1999). Abu terbang (fly ash) dan abu dasar (bottom ash) dalam proses produksi listrik secara umum dihasilkan dari batubara yang dimasukkan ke dalam boiler sebagai umpan bahan bakar. Dari aktivitas pembakaran batubara, bottom ash keluar berupa padatan yang terbentuk dari abu batubara, pasir kuarsa dan pecahan-pecahan yang terbentuk di dalam furnace selama pembakaran berlangsung (Aini et al., 2023). Bottom ash adalah padatan limbah yang tertinggal di dasar tungku pembakaran sedangkan fly ash merupakan abu batubara yang terbawa oleh flue gas (Winarno et al., 2019). Data timbulan limbah fly ash dan bottom ash di PLTU berdasarkan data PT PLN tahun 2020 ditunjukkan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 1. Timbulan limbah fly ash dan bottom ash di PLTU

(Sumber: PT PLN, 2020)

Limbah fly ash adalah produk sampingan dari pembakaran batubara terpulverisasi, dan dapat memiliki efek negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia jika tidak dikelola dengan baik (Gao et al., 2019). Limbah fly ash banyak mengandung senyawa mineral anorganik seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang menyebabkan pencemaran lingkungan udara dan pencemaran air (Winarno et al., 2019). Limbah fly ash dalam kondisi terbebas di lingkungan dapat menyebabkan gangguan pernafasan karena kandungan dalam fly ash terdiri dari silika ( $\text{SiO}_2$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) (Harits et al., 2019). Industri semen merupakan penyumbang emisi partikulat terbesar di dunia (Duppa et al., 2020). Emisi udara dari industri semen mengandung zat-zat kimia berbahaya, seperti emisi gas rumah kaca (GRK) dan polutan gas lainnya seperti nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ), sulfur oksida ( $\text{SO}_x$ ), karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), dan partikulat. Pada industri semen, pengolahan fly ash biasanya dilakukan dengan membuangnya ke tempat pembuangan akhir (TPA) atau dibuang ke lingkungan sekitar pabrik. Hal ini dapat menyebabkan pencemaran udara dan lingkungan yang cukup besar (Ferdous et al., 2021).

Upaya pemerintah dalam pemenuhan energi listrik yang direncanakan dalam RUPTL 2017-2026 terus mendorong peningkatan pasokan energi listrik melalui pembangunan pembangkit tenaga listrik sebesar 35.000 MW yang mayoritas bersumber dari energi batubara. Dengan adanya program tersebut, potensi timbulan limbah fly ash yang dihasilkan dari pembakaran batubara akan semakin meningkat dan jika tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan (Farhaini et al., 2022). Penelitian telah banyak dilakukan sebagai upaya pengurangan timbulan limbah dengan pemanfaatan fly ash menjadi berbagai macam produk. Meskipun pemanfaatan limbah fly ash telah banyak dilakukan, pemanfaatan limbah fly ash dan bottom ash di dunia secara umum rendah yaitu baru mencapai 25% dari total jumlah abu batubara yang dihasilkan, sedangkan 75% sisanya terbuang percuma sebagai limbah dan menyebabkan polusi. Adapun di Indonesia, tingkat pemanfaatan fly ash hanya 10-12%, dari persentase tersebut 73% diolah di pulau Jawa, sedangkan di pulau-pulau lain tingkat pemanfaatan fly ash di bawah 30%.

Salah satu alternatif pemanfaatan limbah fly ash dengan penyerapan besar adalah di industri semen untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan semen. Industri semen dalam aktivitas produksinya berpotensi menimbulkan dampak lingkungan berupa pencemaran udara dari senyawa partikulat, namun penggunaan limbah fly ash sebagai alternatif bahan baku di industri semen dapat memberikan manfaat finansial (Ningrum et al., 2023). Penerapan produksi bersih di industri semen dalam pemanfaatan limbah fly ash diharapkan mampu mengurangi potensi dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi biaya produksi semen yang bertujuan untuk menyusun konsep pemanfaatan limbah fly ash yang berkelanjutan.

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk relevan adalah (1) menganalisis potensi dampak lingkungan yang timbul dari proses pemanfaatan limbah fly ash B3 dan fly ash non B3 menjadi semen; (2) menganalisis manfaat finansial bagi industri semen dari kegiatan pemanfaatan limbah fly ash B3 dan fly ash non B3 terdaftar; (3) menentukan alternatif keberlanjutan pemanfaatan limbah fly ash berdasarkan konsep produksi bersih di industri semen.

## 2. Metode

Penelitian ini adalah penelitian sistematis-terukur dengan pendekatan kuantitatif sebagai alat uji hipotesis. Proses pengumpulan data primer dilakukan melalui penelitian lapangan dan data sekunder melalui observasi serta studi literatur. Sasaran penelitian meruakan PT ABC pada Januari - Mei 2023. PT ABC dipilih karena merupakan industri semen yang melakukan kegiatan pemanfaatan limbah fly ash B3 dan fly ash non B3 terdaftar. Penelitian berlokasi di Desa Gempol, Kecamatan Palimanan, Kabupaten Cirebon.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Potensi Dampak Lingkungan Kegiatan Pemanfaatan Fly ash B3 dan Non B3 sebagai Alternatif Bahan Baku Semen di PT ABC

Potensi dampak lingkungan dari kegiatan pemanfaatan fly ash di industri semen PT ABC adalah pencemaran udara, sehingga variabel yang diteliti dalam penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu emisi cerobong pada unit Cement Mill PT ABC dan kualitas udara ambien. Berdasarkan hasil penelitian, PT ABC telah menggunakan alternatif bahan baku limbah fly ash untuk pembuatan semen dari tahun 2018 hingga tahun 2022. Namun pada tahun 2019 hingga 2021 PT ABC tidak menggunakan fly ash dikarenakan bermacam faktor diantaranya pandemi COVID-19 dan penurunan daya jual semen. Sehingga peneliti dalam hal ini melakukan pengumpulan data di PT ABC untuk uji kriteria dan uji TCLP limbah fly ash B3 pada tahun 2018 dan tahun 2022 untuk limbah fly ash kategori non B3 terdaftar.

##### 3.1.1 Prosedur Pencucian Karakteristik Toksisitas

Produk semen PT ABC yang dihasilkan dari substitusi limbah fly ash adalah Ordinary Portland Cement (OPC), Portland Composite Cement (PCC) dan Pozzoland Portland Cement (PPC). Parameter yang digunakan dalam pengujian ini telah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan pada Lampiran XII TCLP-B PP Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Berikut merupakan hasil uji TCLP-B untuk produk semen OPC yang menggunakan substitusi limbah fly ash non B3 terdaftar pada tahun 2018 dan tahun 2022.

#### 3.2 Emisi Cerobong

Konsentrasi sebaran emisi yang dimodelkan dalam penelitian ini adalah emisi yang berasal dari DC dan EP. Pada kegiatan pemanfaatan limbah fly ash di industri semen, kedua alat tersebut berfungsi sebagai unit pengendalian pencemaran udara untuk menangkap partikel debu yang berpotensi keluar dari proses penggilingan semen di unit Cement Mill dan mencemari lingkungan. Dalam proses penggilingan semen, emisi yang dihasilkan DC dan EP diukur untuk memantau emisi yang dihasilkan tidak melebihi baku mutu. Emisi cerobong pada kegiatan pemanfaatan limbah fly ash yang diamati berada pada unit Cement Mill. PT ABC memiliki 2 Plant, dimana Plant 1 memiliki 2 Cement Mill 9A dan Cement Mill 9B dan Plant 2 terdiri dari Cement Mill 10A. Berikut sumber emisi yang dihasilkan dari unit Cement Mill di PT ABC.

Tabel 1. Sumber emisi pemanfaatan limbah fly ash (cement mill) PT ABC

No.	Sumber Emisi	Kode Cerobong	Lokasi
1	Dust collector - 9A	DC-9A	Plant 9
2	Electrostatic presipitator - 9A	EP-9A	Plant 9
3	Dust collector - 9B	DC-9B	Plant 9
4	Electrostatic prespitator - 9B	EP-9B	Plant 9
5	Dust collector - 10A	DC-10A	Plant 10

(Sumber: PT ABC, 2023, telah diolah kembali)

### 3.3 Manfaat Finansial Pemanfaatan Limbah Fly Ash

Bahan baku utama untuk pembuatan semen secara umum terdiri dari batu kapur sebanyak 80%, tanah liat sebesar 10%, pasir silika 9%, dan pasir besi sekitar 1%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, PT ABC telah menggunakan limbah fly ash sebagai alternatif bahan baku pembuatan semen sejak tahun 2018, namun pemanfaatannya sempat terhenti di tahun 2019 hingga tahun 2021 dikarenakan berbagai faktor. Limbah fly ash yang digunakan pada tahun 2018 masih kategori limbah fly ash B3 sedangkan di tahun 2022 sudah dikategorikan sebagai limbah fly ash non B3 terdaftar. Produk semen PT ABC yang menggunakan alternatif bahan baku limbah fly ash terdiri dari 3 jenis produk diantaranya Ordinary Portland Cement (OPC), Portland Composite Cement (PCC) dan Pozzoland Portland Cement (PPC). Data penggunaan limbah fly ash untuk produk semen di PT ABC secara keseluruhan pada tahun 2018 dan 2022 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Penggunaan Limbah Fly ash di Seluruh Produk Semen PT ABC

Material	Total 2018 (ton)	Total 2022 (ton)
Clinker - O.P.C	1.109.001	938.357
Limestone	51.276	43.386
GBF Slag	1.200	1.015
Gypsum Natural	104.346	48.650
Fly ash	<b>8.739,06</b>	<b>86.674</b>
Trass	452.033	342.838
Trass Purchase	59.038	49.954
Clinker - O.P.C	942.492	953.919
Limestone	40.178	57.652
GBF Slag	940	2.391
Gypsum Natural	45.052	43.741
Fly ash	<b>6.739,06</b>	<b>5.012</b>
Trass	317.486	258.417
Trass Purchase	46.260	37.288
TOTAL (ton)	3.184.780	2.869.294

(Sumber: PT ABC, 2023, telah diolah kembali)

### 3.4 Alternatif Keberlanjutan Pemanfaatan Limbah Fly Ash

Bagian ini menjelaskan lebih rinci mengenai hasil analisis keberlanjutan pemanfaatan limbah fly ash sebagai alternatif bahan baku di industri semen. Indeks keberlanjutan diperoleh dari hasil penilaian AHP dari ahli yang dianggap telah memahami proses pemanfaatan limbah fly ash maupun proses secara keseluruhan di industri semen. Metode AHP digunakan untuk menentukan prioritas dari beberapa alternatif yang berpengaruh pada permasalahan yang dihadapi. Hasil penilaian AHP dari responden untuk menentukan bahwa data antar elemen dianggap konsisten jika nilai CR tidak melebihi 10% ( $CR \leq 0,1$ ). Jika nilai  $CR > 10\%$  berarti penilaian yang telah dibuat perlu dilakukan revisi dan evaluasi ulang terkait pertanyaan yang diberikan kepada informan (Saaty, 2008).

Untuk menentukan keberlanjutan di unit pemanfaatan limbah fly ash, diperlukan upaya untuk meminimalisir potensi dampak lingkungan berupa pencemaran udara yang disebabkan partikulat. Berdasarkan observasi di lapangan, PT ABC telah melakukan

beberapa upaya pengendalian pencemaran debu. Emisi debu adalah salah satu parameter spesifik yang paling berpengaruh terhadap kualitas udara ambien. Salah satu contoh pengendalian emisi dilakukan dengan alat penangkap debu berupa Dust Collector/Bag Filter dan EP (Electrostatic Precipitator). Optimalisasi pengendalian debu pabrik yang telah dilakukan oleh PT ABC, diantaranya:

- a. Modifikasi EP dengan perubahan desain awal 80 mg/Nm<sup>3</sup> untuk gas keluarannya menjadi 50 mg/Nm<sup>3</sup> pada bulan Mei tahun 2002.
- b. Pemasangan CPM (Continous Particulate Monitoring) untuk dapat mengukur beban emisi yang dihasilkan.
- c. Perbaikan sistem secara terus-menerus dan penambahan jumlah Dust Collector.
- d. Penanaman tanaman yang dapat menyaring emisi pencemaran udara di sekitar lokasi pabrik.

Adapun upaya lain yang dilakukan PT ABC dalam mengelola lingkungan dan masyarakat diantaranya mengelola desa binaan yang menjadi cakupan CSR PT ABC terdiri dari 6 desa binaan dengan jumlah penduduk sekitar ± 30.000 jiwa. Beberapa proyek lain yang telah dilakukan PT ABC, diantaranya pengolahan sampah rumah tangga. Proyek Pengolahan Sampah Rumah Tangga juga dilakukan PT ABC dengan membangun 2 unit fasilitas pengolahan sampah di 2 desa. Disamping itu, proyek jarak pagar yaitu membuat perkebunan jarak pagar (*Jatropha curcas*) guna merehabilitasi areal bekas pertambangan dan menggerakkan perekonomian dengan mempekerjakan masyarakat lokal di perkebunan (Wahidah et al., 2023). Hasil panen kemudian diharapkan dapat mengurangi bahan bakar karena biji jarak dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif dalam proses pembakaran.

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan metode AHP, diperoleh bahwa kriteria lingkungan merupakan prioritas utama yang mempengaruhi keberlanjutan pemanfaatan limbah fly ash sebagai alternatif bahan baku di industrisemen dengan skala 0,591 dari 1. Nilai CR menunjukkan nilai untuk kriteria sosial, ekonomi, lingkungan dan teknologi secara berturut-turut adalah 0,08; 0,25; 0,39 dan 0,27. Alternatif keberlanjutan yang ditawarkan merupakan alternative yang mengacu pada konsep produksi bersih. Adapun informan ahli dalam penelitian ini diantaranya:

Tabel 3. Data jabatan informan ahli

No.	Jabatan	Masa Jabatan
1	Kepala Departemen Produksi PT ABC	8 tahun
2	Kepala Pengawas Departemen Produksi PT ABC	8 tahun
3	<i>Environment, Sustainability and GHG Emission Expert</i>	12 tahun

Hasil penilaian yang diperoleh dari para ahli menunjukkan upaya melakukan recycle partikulat ke DC dan EP diperlukan sebagai alternatif keberlanjutan pemanfaatan limbah fly ash di industri semen. Upaya ini dinilai sesuai karena PT ABC dapat lebih memaksimalkan alternatif ini sebagai pengendalian adanya potensi dampak lingkungan.

### 3.5 Pembahasan

Keberlanjutan terus menjadi target di sektor industri maupun pemerintahan. Proses produksi yang dapat meminimalisir limbah menjadi tantangan tersendiri bagi industri (Putra et al., 2021). Berdasarkan hasil riset dan analisis yang telah dilakukan, mengacu pada tujuan penelitian pertama proses pemanfaatan limbah fly ash B3 dan fly ash non B3 terdaftar berpotensi menimbulkan dampak lingkungan berupa pencemaran udara yang

disebabkan oleh partikulat. Emisi yang dihasilkan dari unit pemanfaatan limbah fly ash yaitu Cement Mill di PT ABC dapat dipengaruhi oleh bermacam indikator namun sebagai bentuk pengelolaan lingkungan, PT ABC perlu menerapkan sistem pengendalian pencemaran udara dan pengelolaan limbah fly ash guna terciptanya produksi bersih di industri semen. Konsep pemanfaatan limbah fly ash di industri semen sebagai alternatif bahan baku merupakan salah satu upaya produksi bersih. Purwanto (2009) menyatakan bahwa produksi bersih merupakan tindakan efisiensi pemakaian bahan baku, air dan energi serta pencegahan pencemaran, dengan sasaran peningkatan produktivitas dan minimisasi timbulan limbah (Sa'adawisna & Putra, 2022). Produksi bersih merupakan sebuah strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif atau pencegahan dan terpadu yang perlu diterapkan secara terus menerus pada proses produksi dan daur hidup produk dengan tujuan mengurangi risiko terhadap manusia dan lingkungan (UNEP, 2003). PT ABC dalam proses produksi semen telah banyak melakukan efisiensi bahan baku utama yaitu dengan menggunakan alternatif bahan bakar seperti limbah domestik, sekam padi, ban dan sebagainya. Selain itu alternatif bahan baku juga telah dilakukan yaitu dengan menggunakan substitusi bahan baku dari limbah fly ash. Fitriyanti et al. (2019) dalam teori aplikasi produksi bersih pada industri semen menyebutkan bahwa penggantian bahan baku menggunakan limbah fly ash merupakan salah satu upaya yang perlu dilakukan di industri semen. Efisiensi alat penangkap partikulat baik Dust Collector maupun Electrostatic Precipitator sebagai komponen pengendalian pencemaran udara harus dikelola agar kinerja alat tetap optimal. Optimalisasi kinerja alat dapat dilakukan sebagai upaya menghindari adanya kesalahan pembacaan hasil pengukuran beban emisi cerobong yang menggunakan pengukuran otomatis yaitu CPM. CPM sebagai alat pengukuran otomatis dalam periode waktu pemakaian juga membutuhkan pengkalibrasian alat sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan.

Analisis penggunaan fly ash B3 dan fly ash non B3 terdaftar sebagai alternatif bahan baku di industri semen, menjawab tujuan penelitian dengan menghasilkan manfaat finansial yang cukup optimal (Sa'adawisna & Putra, 2023). Hal ini karena dengan penggunaan limbah fly ash, PT ABC dapat mengurangi penggunaan bahan baku utama yang memiliki nilai beli lebih mahal dibandingkan limbah fly ash diantaranya adalah material gypsum dan trass. Sehingga, dilihat dari aspek finansial pemanfaatan limbah fly ash dinilai menguntungkan.

#### **4. Kesimpulan**

Kegiatan pemanfaatan limbah fly ash di industri semen PT ABC memiliki potensi menimbulkan dampak lingkungan yang berupa pencemaran udara yang disebabkan oleh senyawa partikulat. Berdasarkan hasil pemodelan AERMOD, emisi partikulat tidak melebihi baku mutu 230  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  namun sebaran emisi tertinggi yang dihasilkan pada periode 24 jam sebesar 219  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sedangkan periode tahunan tertinggi dengan konsentrasi 67,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Manfaat finansial yang diperoleh PT ABC dalam penggunaan limbah fly ash sebagai alternatif bahan baku pada semen dinilai menguntungkan. Penggunaan limbah fly ash B3 tahun 2018 dapat mengurangi penggunaan bahan baku gypsum dan trass sebesar 0,49%, sedangkan penggunaan limbah fly ash non B3 terdaftar pada tahun 2022 sebesar 3,2 %.

Total efisiensi biaya yang diperoleh perusahaan memberikan keuntungan yang signifikan yaitu sebesar Rp6.052.872.369,02 pada tahun 2018 dan sebesar Rp32.730.142.087,09 pada tahun 2022. Alternatif keberlanjutan pemanfaatan limbah fly ash sebagai bahan baku di industri semen PT ABC perlu menerapkan recycle partikulat yang ditangkap oleh DC dan EP untuk mencapai produksi bersih berkelanjutan.

#### **Ucapan Terima Kasih**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim IASSSF karena telah mendukung penulisan penelitian ini.

## Kontribusi Penulis

Semua penulis berkontribusi penuh atas penulisan artikel ini.

## Pendanaan

Penelitian ini tidak menggunakan pendanaan eksternal.

## Pernyataan Dewan Peninjau Etis

Tidak berlaku.

## Pernyataan Persetujuan yang Diinformasikan

Tidak berlaku.

## Pernyataan Ketersediaan Data

Tidak berlaku.

## Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

## Akses Terbuka

©2024. Artikel ini dilisensikan di bawah Lisensi International Creative Commons Attribution 4.0, yang mengizinkan penggunaan, berbagi, adaptasi, distribusi, dan reproduksi dalam media dalam format apapun. Selama Anda memberikan kredit yang sesuai kepada penulis asli dan sumbernya, berikan tautan ke Lisensi Creative Commons, dan tunjukkan jika ada perubahan. Gambar atau materi pihak ketiga lainnya dalam artikel ini termasuk dalam Lisensi Creative Commons artikel tersebut, kecuali dinyatakan dalam batas kredit materi tersebut. Jika materi tidak termasuk dalam Lisensi Creative Commons artikel dan tujuan penggunaan Anda tidak diizinkan oleh peraturan perundang-undangan atau melebihi penggunaan yang diizinkan, Anda harus mendapatkan izin untuk langsung dari pemegang hak cipta. Untuk melihat lisensi ini kunjungi: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Referensi

- Adriano, D. C., Page, A. L., Elsewi, A. A., Chang, A. C., & Straughan, I. (1980). Utilization and Disposal of Fly ash and Other Coal Residues in Terrestrial Ecosystems: A Review. *Journal of Environmental Quality*, 9(3), 333–344. <https://doi.org/10.2134/jeq1980.00472425000900030001x>
- Aini, D., Farhaini, A., & Putra, B. K. (2023). Community Participation in Improving Health in Remote Areas: A Literature Review. *International Journal of Education, Information Technology and Others (IJEIT)*, 6(2), 27–43. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7798056>
- Duppa, A., Daud, A., Bahar, B., Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin, P., Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin, B., & Kesehatan Kerja Fakultas Kesehatan, B. (2020). KUALITAS UDARA AMBIEN DI SEKITAR INDUSTRI SEMEN BOSOWA KABUPATEN MAROS AMBIEN AIR QUALITY AROUND THE INDUSTRY CEMENT BOSOWA DISTRICT MAROS. 86 JKMM, 3(3). <https://doi.org/10.30597/jkmm.v2i1.10060>

- Farhaini, A., Putra, B. K., & Aini, D. (2022). Reformasi Birokrasi dalam Pelayanan Publik Melalui Aplikasi Halodoc di Kota Mataram. *Professional: Jurnal Komunikasi Dan Administrasi Publik*, 9(1), 71–82. <https://doi.org/10.37676/professional.v9i1.2416>
- Ferdous, W., Manalo, A., Siddique, R., Mendis, P., Zhuge, Y., Wong, H. S., Lokuge, W., Aravinthan, T., & Schubel, P. (2021). Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 173). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105745>
- Fitriyanti, R., Fatimura, M., & Dosen, J. (2019). Aplikasi Produksi Bersih Pada Industri Semen. 3(1), 10–15. <https://doi.org/10.31851/redoks.v4i1.3070>
- Gao, Q., Li, S., Xu, Y., & Liu, J. (2019). A general mechanistic model of fly ash formation during pulverized coal combustion. *Combustion and Flame*, 200, 374–386. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2018.11.022>
- Harits, B., Agus, P., & Ariwiyono, N. (2019). Studi Laju Erosi dan Pengendapan Akibat Fluida Campuran antara Fly ash dan Udara terhadap Elbow. *Proceeding 4rd Conference of Piping Engineering and Its Application*, 131–134. <https://journal.ppns.ac.id/index.php/CPEAA/article/view/1301>
- Ningrum, L. T., Permatasari, L., Ussarwan, M. I., Farhaini, A., Aini, D., & Putra, B. K. (2023). Review: Pemanfaatan Tanaman Jahe Sebagai Pengobatan Herbal Untuk Sakit Kepala. *BENZENA Pharmaceutical Scientific Journal*, 2(2), 55–65. <http://dx.doi.org/10.31941/benzena.v2i02.3751>
- PLN, (2020). Timbulan Limbah Fly ash dan Bottom Ash di PLTU. <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2021/08/Laporan-Keberlanjutan-PLN.pdf>
- Purwanto. (2009). Penerapan Teknologi Produksi Bersih Untuk Meningkatkan Efisiensi dan Mencegah Pencemaran Industri. <http://eprints.undip.ac.id/28184/>
- Putra, B. K., Dewi, R. M., Fadilah, Y. H., & Roziqin, A. (2021). Reformasi Birokrasi dalam Pelayanan Publik Melalui Mobile JKN di Kota Malang. *Jurnal Ilmiah Publika*, 9(1), 1–13. <http://dx.doi.org/10.33603/publika.v9i1.5325>
- Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN 2021-2030. (n.d.). <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2021/10/ruptl-2021-2030.pdf>
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. In *International Series in Operations Research & Management Science* (Second, Vol. 175, pp. 1–343). Springer. <http://www.springer.com/series/6161>
- Sa'adawisna, D., & Putra, B. K. (2022). The Effect of the Establishment of a New Autonomous Region on Electoral District Regulations in the 2024 General Election. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(20), 484–493. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7269113>
- Sa'adawisna, D., & Putra, B. K. (2023). Political Education to Increase Beginner Voter Participation in the 2019 General Elections. *Awang Long Law Review*, 5(2), 419–431. <https://doi.org/10.56301/awl.v5i2.716>
- UNEP. (2003). Cleaner Production Assessment in Dairy Processing. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9562;jsessionid=97E607B37582A2E2F7CCA2F88CDD7C4C>
- Winarno, H., Muhammad, D., Ashyar, R., & Wibowo, Y. G. (2019). Pemanfaatan Limbah Fly ash dan Bottom Ash dari PLTU SUMSEL-5 Sebagai Bahan Utama Pembuatan Paving Block. *Jurnal Teknika*, 11(1), 1067–1070. <https://doi.org/10.30736/jt.v11i1.288>
- Yan, R., Gauthier, D., & Flamant, G. (1999). Possible Interactions Between As, Se, and Hg During Coal Combustion. [https://www.researchgate.net/publication/222648828\\_Possible\\_interactions\\_between\\_As\\_Se\\_and\\_Hg\\_during\\_coal\\_combustion](https://www.researchgate.net/publication/222648828_Possible_interactions_between_As_Se_and_Hg_during_coal_combustion)
- Wahidah, N., Isro'ullaili, I., & Putra, B. K. (2023). The School Literacy Movement (GLS) and Student's Interest in Reading at SDN 3 Suka Makmur. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(7), 559–564. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7826963>

**Biografi Penulis**

**RATIH PERMATASARI**, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia.

- Email: [itsratihpermatasari@gmail.com](mailto:itsratihpermatasari@gmail.com)
- ORCID:
- Web of Science ResearcherID:
- Scopus Author ID:
- Homepage:

**DAVID FEBRALDO**, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia.

- Email:
- ORCID:
- Web of Science ResearcherID:
- Scopus Author ID:
- Homepage:

**LILY SUSANTI**, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia.

- Email:
- ORCID:
- Web of Science ResearcherID:
- Scopus Author ID:
- Homepage: