

# FLY ASH DAN BOTTOM ASH SEBAGAI MATERIAL INFRASTRUKTUR UNTUK Mendukung Pembangunan Yang Berkelanjutan

Utari Ayuningtyas<sup>1, a)</sup>, Rosmeika<sup>1</sup>, dan Ach Firdaus<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Pusat Riset Sistem Produksi Berkelanjutan dan Penilaian Daur Hidup, Badan Riset dan Inovasi Nasional Kawasan Puspipstek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314

<sup>2)</sup> Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang Pamulang, Tangerang Selatan, 15417

<sup>a)</sup> email korespondensi: utari.ayuningtyas@brin.go.id

## ABSTRAK

Penggunaan batubara sebagai sumber energi pada pembangkit listrik tenaga uap akan menghasilkan residu berupa *Fly ash* dan *bottom ash* (FABA) sebagai hasil pembakaran. Besarnya jumlah residu tersebut perlu dikelola dengan baik, antara lain dapat dijadikan sebagai material infrastruktur bangunan dan perkerasan jalan seperti semen, beton, batako, genteng, *paving block* dan lain sebagainya. Dalam gencarnya pembangunan infrastruktur di Indonesia perlu dilakukan pendekatan konsep *green infrastructure* untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan. Dalam proses pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan ini tentu perlu diadakannya optimalisasi manfaat baik dari sumber daya alam, sumber daya manusia, dan juga ilmu pengetahuan dan teknologi secara efektif dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan melakukan pemetaan terhadap variabel yang saling terintegrasi dalam aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kualitatif. Data yang diperoleh berasal dari studi literatur dan pengamatan lapangan. Kriteria literatur yang digunakan membahas mengenai pemanfaatan FABA sebagai material infrastruktur untuk bangunan atau material perkerasan jalan, dan potensi keberlanjutan FABA ditinjau dari aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Observasi atau survei lapangan dilakukan di salah satu PLTU di Pulau Jawa guna mengetahui proses pengelolaan FABA. Hasil kajian ini menyatakan bahwa dengan adanya pemanfaatan FABA terdapat 13 variabel terkait keberlangsungan FABA sebagai material infrastruktur yang ditinjau dari aspek ekonomi, sosial dan lingkungan. Hal ini dapat menjadikan FABA sebagai material infrastruktur untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan.

**Kata kunci:** *Fly ash*, *Bottom ash*, Infrastruktur, Berkelanjutan

## PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan batubara sebagai sumber energi yang akan menghasilkan residu berupa *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) (Indriyantho *et al.*, 2022). Menurut Lubis *et al.* (2015), dari proses pembakaran tersebut dapat menghasilkan 80% *fly ash* dan 20% *bottom ash*. *Fly ash* (abu terbang) merupakan abu yang dihasilkan dari pelelehan material anorganik yang terkandung dalam batubara dan bentuknya merupakan bubuk halus serta merupakan material dengan sifat pozzolanik yang baik. Pozzolan adalah bahan yang mengandung silika atau silika dan aluminium yang beraksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada temperature biasa membentuk senyawa yang bersifat mengikat (Marthinus *et al.*, 2015). Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari oksida-oksida silika ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), dan kalsium ( $\text{CaO}$ ), serta potasium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah sedikit (Klarens *et al.*, 2016). Sedangkan, *bottom ash* (abu dasar) merupakan abu yang terbentuk di bawah tungku proses pembakaran (Yunita *et al.*, 2017). Penampilan fisik *bottom ash* mirip dengan pasir sungai alami, dan gradasinya bervariasi seperti pasir halus dan pasir kasar (Singh dan Siddique, 2016; Klarens *et al.*, 2016).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, FABA yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada PLTU digolongkan sebagai limbah non-bahan berbahaya dan beracun (non-B3) dikarenakan menggunakan batubara dengan kalor tinggi dan telah melewati proses pembakaran dengan temperature yang tinggi (diatas  $800^\circ\text{C}$ ) guna menjaga efisiensi pembakaran, sehingga FABA yang dihasilkan tidak menunjukkan karakteristik limbah B3. Oleh karena itu, hal ini sangat memungkinkan untuk mengelola FABA menjadi lebih optimal dan menjadikan produk turunan FABA menjadi produk yang bermanfaat dan ramah lingkungan (Anggara *et al.*, 2021; Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021).

Kebutuhan batubara sebagai sumber energi untuk PLTU tiap tahun diprediksi akan terus meningkat, sehingga akan meningkat pula jumlah FABA yang dihasilkan. FABA dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku atau bahan tambahan untuk pembuatan semen, beton, batako, genteng, ubin keramik, *paving block* dan lain sebagainya. Produk-produk tersebut digunakan untuk material konstruksi bangunan dan/atau material perkerasan jalan (Ayuningtyas *et al.*, 2022; Lubis *et al.*, 2015).

Pemanfaatan *fly ash* dalam bidang konstruksi sudah umum di seluruh dunia, mencapai angka 47% penggunaan, sedangkan *bottom ash* mencapai angka 5,28% penggunaan (Naganathan *et al.*, 2015). Hal ini dikarenakan *bottom ash* memiliki kendala pada bentuk butiranannya. Bentuk butiran yang sangat kasar memudahkan terjadinya *interlock* antar butiran bila dimanfaatkan sebagai agregat halus. Namun di sisi lain, ukuran butiran *bottom ash* cocok sebagai bahan pengganti sebagian pasir dalam produksi beton. Penggunaan 100% *bottom ash* dapat juga diterapkan pada pembuatan *paving block* (Singh dan Siddique, 2016; Klarens *et al.*, 2016).

Untuk menuju pembangunan yang berkelanjutan, kualitas infrastruktur sangat diperlukan dalam pembangunan dan juga perlu didorong dengan adanya inovasi. Kualitas infrastruktur yang buruk akan mengakibatkan lebih banyak biaya tambahan untuk operasi dan juga pemeliharaan, serta dampak terhadap lingkungan sekitar dan masyarakat. Untuk menghilangkan dampak buruk dan biaya tambahan, keberlanjutan harus dapat diterapkan di semua proyek infrastruktur (Hidayat and Salahudin, 2021). Dalam gencarnya pembangunan infrastruktur di Indonesia perlu dilakukan pendekatan konsep *green infrastructure* untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan. Aspek-aspek dalam pembangunan berkelanjutan terdiri dari aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Dalam proses pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan ini tentu perlu diadakannya optimalisasi manfaat baik dari sumber daya alam, sumber daya manusia, dan juga ilmu pengetahuan dan teknologi dengan menciptakan dan menghubungkan ketiga aspek tersebut secara bijaksana, sehingga pemenuhan kebutuhan manusia dapat direncanakan dan diimplementasikan secara efektif dan efisien dengan memperhatikan pemanfaatannya baik untuk saat ini maupun yang akan datang. Pelaksanaan pembangunan yang berkelanjutan merupakan acuan pembangunan di segala bidang (Ervianto, 2018; Hidayat and Salahudin, 2021; Hapsoro and Bangun, 2020).

Aspek ekonomi dalam pembangunan berkelanjutan erat hubungannya untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi, misalnya menaikkan pendapatan generasi masa kini tanpa mengurangi kesempatan generasi masa depan menaikkan pendapatannya, sehingga proses pembangunan berlangsung *sustainable*. Aspek sosial dalam pembangunan berkelanjutan dengan memuat pengembangan kualitas masyarakat secara *sustainable*, misalnya meningkatkan kualitas pendidikan dan kesehatan, dan membuka lapangan pekerjaan atau memberikan penyuluhan agar masyarakat memiliki keterampilan tertentu. Aspek lingkungan dalam pembangunan berkelanjutan dengan memuat pengelolaan sumberdaya alam dan lingkungan dengan melestarikan fungsi ekosistem (Hapsoro and Bangun, 2020; AIPI, 2016).

Hubungan antara aspek ekonomi, sosial dan lingkungan harus saling terintegrasi oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan melakukan pemetaan terhadap variabel yang saling terintegrasi dalam aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kualitatif. Tahapan dalam penelitian ini dilakukan dengan 2 (dua) tahap yaitu penelusuran dan pengkajian studi literatur dan pengamatan di lapangan. Studi literatur yang dimaksud merupakan hasil dari penelitian sebelumnya. Kriteria literatur yang digunakan membahas mengenai pemanfaatan FABA sebagai material infrastruktur dan pandangannya dari aspek ekonomi, sosial, lingkungan dan/atau teknologi. Sedangkan, pengamatan lapangan dilakukan di salah satu PLTU di Indonesia guna mengetahui proses pengelolaan FABA.

Proses Analisa pada penelitian ini kemudian dinarasikan secara komprehensif dengan tujuan agar menemukan pemaparan informasi yang lebih dalam mengenai FABA sebagai material infrastruktur yang memiliki integrasi variabel dalam aspek pembangunan berkelanjutan (Firmansyah *et al.*, 2021). Penelitian ini tersusun dari beberapa penjelasan. Pertama, pandangan dari aspek ekonomi berkelanjutan. Kedua, pandangan dari aspek sosial berkelanjutan. Ketiga, pandangan dari aspek lingkungan berkelanjutan. Keempat, penjelasan terkait sistem pengelolaan FABA di PLTU.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemanfaatan FABA sebagai material konstruksi untuk mendukung infrastruktur dalam pembangunan yang berkelanjutan perlu memperhatikan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Aspek-aspek tersebut dapat memberikan pandangan terhadap keberlangsungan penggunaan FABA sebagai material yang berkelanjutan, termasuk teknologi yang digunakan untuk mengolah FABA menjadi material infrastruktur. Selain untuk material infrastruktur, pemanfaatan FABA di Indonesia dapat digunakan dalam beberapa bidang salah satunya untuk bidang pertambangan, terlihat pada tabel 1 (Ansari and Prianto, 2021; Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021).

Produk turunan dari pemanfaatan FABA juga harus memperhatikan kualitasnya seperti uji kuat tekan dan kuat lentur. Standar kuat tekan dan kuat lentur tertuang dalam Standar Nasional Indonesia (SNI). Selain itu, produk turunan FABA juga harus masuk ke dalam kriteria bangunan hijau, antara lain FABA merupakan material yang tidak mengandung B3 dan merupakan material yang ramah lingkungan karena dapat diproses kembali atau digunakan kembali menjadi produk yang bermanfaat.

### Aspek ekonomi

Memproduksi material bangunan dengan pemakaian semen yang lebih banyak, maka biaya produksinya akan bertambah besar dimana harga satuannya relatif tetap, sehingga hal ini akan membuat usaha pembuatan material bangunan menjadi tidak ekonomis (Mashuri *et al.*, 2012). Dengan semakin mahalnya material bangunan tersebut, saat ini muncul berbagai inovasi, salah satunya adalah menggunakan FABA sebagai bahan tambahan. Pemanfaatan FABA dimaksudkan untuk menekan biaya tanpa harus mengurangi kekuatan dari material bangunan itu sendiri (Dewi and Prasetyo, 2021).

**Tabel 1.** Pemanfaatan *fly ash* dan *bottom ash*

No	Jenis pemanfaatan	Fly ash	Bottom ash
1	Substitusi bahan baku untuk material infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Substitusi agregat dalam pembuatan batako, <i>paving/cone block</i> dan genteng;</li> <li>- Campuran dalam pembuatan beton siap pakai (<i>ready mix</i>);</li> <li>- pemanfaatan sebagai <i>Sub-based Jalan</i>;</li> <li>- <i>Filler Asphalt</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Substitusi agregat dalam pembuatan batako, <i>paving/cone block</i> dan genteng;</li> <li>- Pemanfaatan sebagai Subbased Jalan</li> </ul>
2	Substitusi bahan baku untuk daerah tambang	Lapisan tudung untuk menetralkan air asam tambang	-
3	Substitusi bahan baku untuk industri semen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Substitusi material dalam produksi semen dan <i>cement clinkers</i>;</li> <li>- Kegiatan <i>batching point</i> untuk menghasilkan produk beton siap pakai</li> </ul>	Bottom ash sebagai substitusi material dalam pabrik semen memerlukan tambahan perlakuan yaitu harus dilakukan penghalusan ( <i>grinding</i> ) terlebih dahulu

Menurut Sivakumar and Kameshwari (2015), menyebutkan bahwa batu bata dengan material FABA dikatakan ramah lingkungan karena mengurangi dampak lingkungan dan juga pembuatannya jauh lebih murah 20% dibandingkan dengan pembuatan batu bata menggunakan tanah liat/merah. Selain untuk bangunan, FABA jelas mampu dimanfaatkan sebagai bahan campuran perkerasan jalan. seperti lapisan pondasi atas (*base*), lapisan pondasi bawah (*sub-base*) dan lapisan tanah dasar (*sub-grade*) (Wigusti *et al.*, 2022; Indriyati *et al.*, 2019).

Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan FABA sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya. Keuntungan teknis/ekonomis yang diperoleh dalam penggunaan FABA antara lain: (a) Peningkatan kualitas bahan bangunan lebih kuat, lebih tahan asam dan lebih ringan dibandingkan dengan bahan bangunan dari semen, (b) Peningkatan efisiensi biaya pembuatan bahan bangunan, (c) Mempunyai perbedaan utama dengan bahan bangunan yang lain yaitu pembuatannya yang tidak menggunakan semen (Haryanti, 2015).

Harga jual material konstruksi yang terbuat dari campuran FABA dapat lebih murah jika dibandingkan dengan material konstruksi dengan tidak menggunakan campuran FABA, dapat terlihat pada tabel 2 (Tatan and Juniarti, 2020; <https://buanakonstruksi.com/jasa/harga-paving-block-murah-per-pcs/>, diakses 20 Juli 2023; <https://readymix.co.id/produk/beton-mutu-k200/>, diakses 20 Juli 2023).

**Tabel 2.** Perbandingan harga jual *paving block*

Material konstruksi	Harga Jual	
	Dengan campuran FABA	Tidak dengan campuran FABA
Paving block	Rp 1.800/pcs	Rp 1.932/pcs
Beton	Rp 810.000/m <sup>3</sup>	Rp 840.000/m <sup>3</sup>

Diketahui bahwa perbandingan harga paving block antara menggunakan bahan baku campuran FABA dengan *paving block* yang tidak menggunakan bahan baku FABA pada mutu K200 dan ukuran 21 x 10,5 x 8 cm menyatakan bahwa *paving block* dengan campuran FABA memilih selisih harga Rp 132,-/pcs lebih murah dibandingkan dengan *paving block* yang tidak menggunakan campuran FABA. Sedangkan, harga satuan untuk beton dengan selisih perbandingan Rp 30.000,-/m<sup>3</sup> lebih murah beton yang menggunakan campuran FABA. Namun murah harga ini tidak mengurangi hasil kuat tekan dan kuat lentur produk tersebut.

### Aspek sosial

Terkait dengan kegiatan pemanfaatan FABA dari segi sosial dapat membantu masyarakat sekitar untuk memiliki keterampilan dalam mengolah FABA menjadi material bangunan melalui program kegiatan pengabdian masyarakat atau *Corporate Social Responsibility* (CSR). Tahapan kegiatan CSR biasanya melakukan sosialisasi program kepada masyarakat sekitar, kemudian mengajak masyarakat dalam pelaksanaan kegiatan tersebut. Dari kegiatan tersebut akan tercipta hubungan baik antara perusahaan dengan masyarakat sekitar. Hal ini menjadi modal sosial untuk menciptakan persepsi yang baik di masyarakat (Suparmoko, 2020). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Aman and Amri (2019), bentuk pelaksanaan CSR yaitu melakukan kegiatan pengabdian masyarakat di kelurahan Pematang Kapau. Kegiatan yang dilakukan adalah membuat *paving block* atau batako *geopolymer* dari *fly ash* tanpa menggunakan semen. Kemudian kegiatan CSR yang dilakukan oleh PLTU Molotabu, dengan melakukan pembinaan kepada kelompok usaha pengrajin di sekitar PLTU Molotabu dalam pembuatan batako, serta menerima tenaga kerja dari masyarakat sekitar untuk melakukan pengolahan FABA. Hal ini dapat meningkatkan pendapatan masyarakat sekitar dan juga sebagai alternatif mengurangi timbunan FABA (Tenaga listrik gorontalo, 2014).

Pembangunan infrastruktur yang baik dan layak akan meningkatkan kesejahteraan sosial masyarakat, karena dengan infrastruktur yang terpenuhi dan baik akan memberantas kemiskinan dan kelaparan, meningkatkan kesehatan dan daya dukung lingkungan hidup, sehingga dapat meningkatkan kemitraan global untuk pembangunan yang berkelanjutan. Hal ini sejalan dengan yang diungkapkan oleh Sukwika (2018), bahwa kesenjangan ekonomi dan sosial memiliki korelasi yang positif dengan kesenjangan pembangunan infrastruktur pada suatu daerah. Daerah dengan pembangunan infrastruktur yang baik akan memberikan kemudahan akses dan pelayanan dalam pemenuhan kebutuhan, sehingga kesejahteraan sosial akan terpenuhi (Wigusti *et al.*, 2022).

### Aspek lingkungan

Salah satu penanganan lingkungan yang dapat diterapkan adalah dengan memanfaatkan FABA untuk dapat diolah kembali sebagai material infrastruktur. Semenjak dikeluarkannya Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, FABA sudah tidak lagi dikategorikan sebagai limbah B3 dan jangka waktu penyimpanan FABA menjadi 3 tahun. Dengan lama penyimpanan tersebut FABA harus terus dikelola dan dimanfaatkan seoptimal mungkin untuk mengurangi timbunan (Kusdiyono *et al.*, 2017).

Pemanfaatan FABA dilihat dari aspek lingkungan memiliki konsep 3R yaitu *Reduce*, *Reuse* dan *Recycle*. *Reduce* diimplementasikan untuk mengurangi timbunan FABA dengan cara melakukan pengelolaan dan pemanfaatan FABA secara tepat guna. *Reuse*

artinya menggunakan kembali sampah untuk fungsi yang sama atau fungsi lainnya. Dalam hal ini diimplementasikan dengan menggunakan kembali FABA untuk menjadi material konstruksi. *Recycle* artinya mengolah dan merubah barang bekas menjadi barang yang berguna dan layak pakai. Hal ini diimplementasikan dalam proses produksi FABA menjadi material konstruksi, kecil kemungkinan terdapat produksi yang tersisa dikarenakan jika terjadi gagal produksi (cacat) maka produk tersebut akan dimasukkan kembali ke dalam proses produksi, diperlakukan sebagai abu halus dan mengikuti proses selanjutnya dari awal atau menjadi puing (Junaidi and Utama, 2023; Herlinawati *et al.*, 2022).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ayuningtyas *et al.* (2022) menyatakan bahwa, hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur pada produk batako dan *paving block* dari produk pemanfaatan FABA di beberapa PLTU di Indonesia telah memenuhi kualitas SNI 03-0349 -1989 tentang Bata Beton untuk pasangan dinding dan SNI 03-0691-1996 tentang *Paving Block* serta dapat dikategorikan sebagai material konstruksi ramah lingkungan karena telah memenuhi sub-kriteria bangunan hijau yaitu material yang tidak mengandung B3 dan merupakan material yang dapat diolah atau dimanfaatkan Kembali.

Hubungan yang saling berkesinambungan antara aspek ekonomi, sosial dan lingkungan dalam memberikan pandangan terhadap keberlangsungan penggunaan FABA sebagai material yang berkelanjutan dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3.** Hubungan aspek ekonomi, sosial, lingkungan

Aspek	Ekonomi	Sosial	Lingkungan
<b>Ekonomi</b>	- Biaya produksi - Harga jual dari produk	Lapangan pekerjaan	Kualitas produk turunan FABA
<b>Sosial</b>	Pendapatan masyarakat	- Kesejahteraan - Persepsi yang baik	Lingkungan terjaga
<b>Lingkungan</b>	Efisiensi sumber daya dan energi	Peran serta masyarakat	- Timbunan FABA berkurang - Produk ramah lingkungan - <i>Zero waste</i>

FABA dalam aspek ekonomi memberikan pandangan bahwa dengan dimanfaatkannya FABA sebagai material konstruksi dapat menurunkan biaya produksi. Dengan turunnya biaya produksi otomatis juga menurunkan harga jual produk turunan FABA tersebut, sehingga lebih ekonomis. Namun hal ini terintegrasi dengan aspek lingkungan, harga jual yang murah tidak menurunkan kualitas dari produk turunan FABA seperti tahan asam, lebih ringan dan lebih kuat. Tetap memperhatikan hasil uji kuat tekan dan kuat lentur sesuai dengan persyaratan pada SNI. Integrasi antara aspek ekonomi dan sosial yaitu kebutuhan tenaga lapangan dalam mengelola FABA di perusahaan pembangkitan tenaga listrik, dengan demikian dapat membuka lapangan pekerjaan. Kemudian dengan adanya program CSR juga dapat menciptakan peran serta masyarakat. Masyarakat dapat memiliki keterampilan dalam mengolah FABA secara mandiri. Hal ini dapat meningkatkan pendapatan dan meningkatkan kesejahteraan mereka serta membentuk persepsi yang baik di masyarakat.

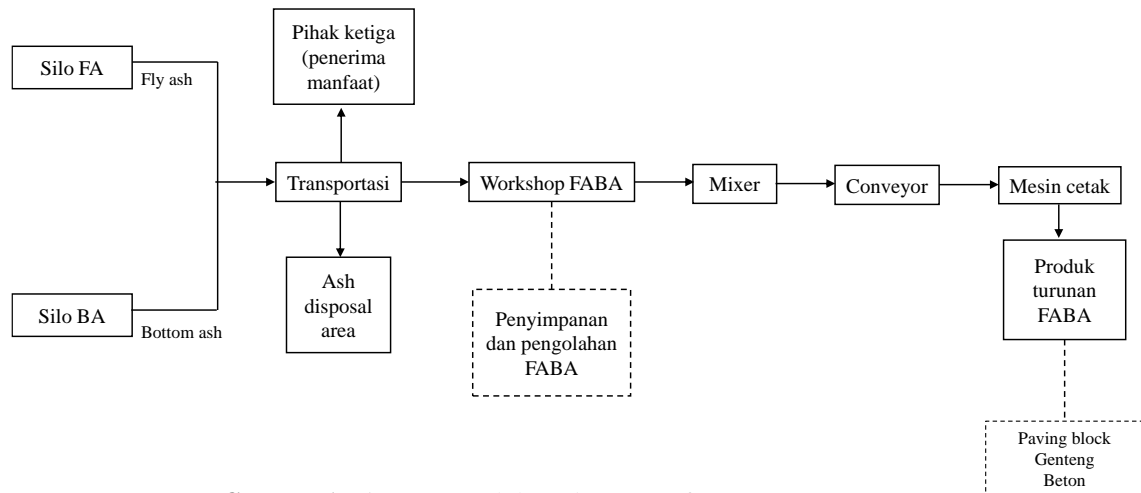
Integrasi aspek sosial dan lingkungan diimplementasikan dengan adanya peran serta masyarakat dapat membantu menjaga lingkungan agar nyaman dan aman. Efisiensi sumber daya dan energi merupakan langkah cermat dalam penggunaan sumber daya tersebut, sehingga keberadaannya dapat berkelanjutan dan dapat digunakan hingga generasi selanjutnya. Hal ini merupakan faktor yang saling berintegrasi antara aspek ekonomi dan lingkungan. Kemudian pada aspek lingkungan timbul pandangan bahwa dengan dilakukannya pemanfaatan FABA secara optimal dapat menciptakan produk yang ramah lingkungan, dapat mengurangi timbunan FABA dan membantu pencapaian program *zero waste*.

### Pengelolaan dan pemanfaatan FABA di PLTU

Hasil dari pengamatan dilapangan pada salah satu PLTU yang berlokasi di Pulau Jawa terkait dengan sistem pengelolaan dan pemanfaatan FABA sebagai berikut, FABA dihasilkan di dalam boiler. Kemudian keluar melalui penyangaran gas buang menggunakan

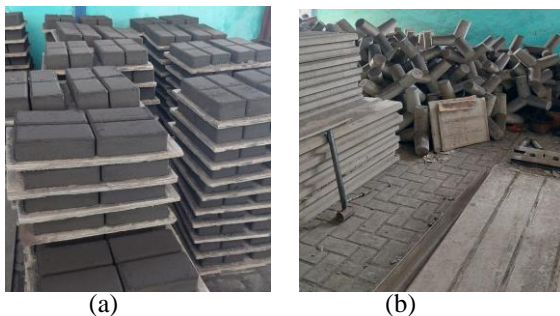
*electrostatic perscipitator*, kemudian ditampung di dalam FA silo dan BA silo yang tempatnya terpisah. Dari FABA silo langsung diangkat oleh menggunakan truck ke workshop FABA, perusahaan penerima

manfaat FABA seperti industri semen dan sebagian lagi disimpan di *ash disposal area* dengan lama penyimpanan 3 tahun (Gambar 1).



**Gambar 1.** Sistem pengelolaan dan pemanfaatan FABA

Produk turunan FABA yang dihasilkan di PLTU tersebut yaitu paving block yang diproduksi sebanyak 880 buah/hari, genteng yang diproduksi sebanyak 20 buah/hari dan beton yang diproduksi sebanyak 6 batang/hari. Selain ketiga produk tersebut PLTU juga memproduksi *breakwater* yang berguna sebagai penahan air (Gambar 2).



**Gambar 2.** (a) Paving block, (b) Breakwater dan beton

## KESIMPULAN

Dengan adanya pemanfaatan FABA terdapat 13 variabel terkait keberlangsungan FABA sebagai material infrastruktur yang ditinjau dari aspek ekonomi, sosial dan lingkungan yaitu biaya produksi berkurang, harga jual produk lebih murah, kualitas produk terjaga, lapangan pekerjaan meningkat, pendapatan masyarakat meningkat, kesejahteraan masyarakat meningkat, persepsi baik masyarakat, peran serta masyarakat, efisiensi sumber daya dan energi, timbunan FABA berkurang, lingkungan terjaga, merupakan produk ramah lingkungan dan mendukung program *zero waste*. Dengan demikian, FABA dapat dijadikan sebagai material infrastruktur untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Pusat Riset Sistem Produksi Berkelanjutan dan Penilaian Daur Hidup (PR SPB PDH) - Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan

kepada pihak-pihak terkait yang telah mendukung dalam proses penyusunan karya tulis ilmiah ini.

## REFERENSI

- Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia [AIPI], 2016. *Begawan Pemacu Ilmu Pengetahuan, Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia (edisi kedua)*. Jakarta: AIPI.
- Aman, A. and Amri, A., 2019. Pembuatan paving blok geopolimer dari limbah abu terbang batu bara (Fly Ash) di Kelurahan Pematang Kapau Tenayan Raya Pekanbaru. *Prosiding Seminar Nasional Pemberdayaan Masyarakat. Unri Conference Series: Community Engagement*, 1, pp. 223–227. ISSN 2685-9017.
- Anggara, F., Petrus, H.T.B.M., Besari, D.A.A., Manurung, H., dan Saputra, F.Y.A., 2021. Tinjauan Pustaka Karakterisasi dan Potensi Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash (FABA). *Buletin Sumber Daya Geologi*, 16(1), pp. 53–70.
- Ansari, V. and Prianto, E., 2021. Ciptakan Rumah Ramah Lingkungan Dengan Material Dinding Limbah Fly Ash Dan Bottom Ash (Faba). *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 1(1), pp. 1–6.
- Ayuningtyas, U, Susila, I.M.A.D., Sihombing, A.L., Sasongko, A.N., Anggraeni, P., Nugroho, T.P.A. dan Darmayanti, N.T.E., 2022. Material Konstruksi Ramah Lingkungan Dalam Rangka Mendukung Kriteria Bangunan Hijau. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat*, Vol. 6, pp. 51–56.
- Dewi, S.U. and Prasetyo, F., 2021. Analisa Penambahan Bottom Ash terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton. *Journal of Infrastructural in Civil Engineering*, 02(02), pp. 31–45.
- Ervianto, W.I., 2018. Capaian Isu Berkelanjutan Infrastruktur di Indonesia. *Civil Engineering and Environmental Symposium*, p. 1-6.
- Firmansyah, M.B., Suminar, D.R. and Fardana, N.A.,

2021. Tinjauan Literatur Tentang Kepuasan Kerja, Keterikatan Kerja Dan Kinerja Pendidik. *Khazanah Pendidikan*, 15(2), p. 181.
- Hapsoro, N.A. dan Bangun, K., 2020. Perkembangan Pembangunan Berkelanjutan Dilihat Dari Aspek Ekonomi Di Indonesia. *Lakar: Jurnal Arsitektur*, 3(2), p. 88-96. ISSN: 2656-4106.
- Haryanti, N.H., 2015. Kuat Tekan Bata Ringan Dengan Campuran Abu Terbang PLTU Asam-Asam Kalimantan Tengah. *Jurnal Fisika Flux*, 12(1), pp. 20–30.
- Herlinawati, H., Marwa, M. dan Zaputra, R., 2022. Sosialisasi Penerapan Prinsip 3R (Reduce, Reuse, Recycle) Sebagai Usaha Peduli Lingkungan. *COMPES: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), pp. 209–215.
- Hidayat, R.J.P. dan Salahudin, 2021. Perencanaan Pembangunan Infrastruktur Yang Berkelanjutan Sebuah Kajian Pustaka Terstruktur (Systematic Literature Review). *Kybernan: Jurnal Studi Pemerintahan*, 4(2), pp. 110–128.
- Indriyantho, B.R., Hidayati, N., Qomaruddin, M. dan Ferdiansah, F.F., 2022. Analisis Pengaruh Zat Polimer Paving Block FABA (Fly Ash & Bottom Ash dengan Variabel Semen dan Fly Ash PLTU TJB Jepara. *Jurnal Disproek*, 13(1), pp. 82–88.
- Indriyati, T.S., Malik, A. dan Alwinda, Y., 2019. Kajian Pengaruh Pemanfaatan Limbah Faba (Fly Ash Dan Bottom Ash) Pada Konstruksi Lapisan Base Perkerasan Jalan. *Jurnal Teknik*, 13(2), pp. 112–119.
- Junaidi, J. and Utama, A.A., 2023. Analisis Pengelolaan Sampah dengan Prinsip 3R (Reduce, Reuse, Recycle) (Studi Kasus Di Desa Mamak Kabupaten Sumbawa). *Jurnal Ilmu Sosial dan Pendidikan*, 7(1), pp. 706–713.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan [KLHK], 2021. Pengaturan Pengelolaan Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) Dalam PP 22/2021. Jakarta: KLHK.
- Klarens, K., Indranata, M., Antoni, dan Hardjito, D., 2016. Pemanfaatan Bottom Ash Dan Fly Ash Tipe C Sebagai Pengganti Dalam Pembuatan Paving Bock *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 5(2), pp. 1–8.
- Kusdiyono, K., Mulyono, T., dan Supriyadi, 2017. Pengaruh penambahan fly ash dan bottom ash terhadap mutu paving. *Jurnal Bangun Rekaprima*, 03(2), pp. 1–8.
- Lubis, E., Antoni, A. dan Hardjito, D., 2015. Komposisi Campuran Optimum Bottom Ash Dan Fly Ash Sebagai Agregat Buatan. *Dimensi Utama Teknik Sipil*, 2(1), pp. 16–23.
- Marthinus, A.P., Sumajouw, M.D.J. dan Windah, R.S., 2015. Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tarik Belah Beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(11), pp. 729–736.
- Mashuri, M., Adam, A.A., Rahman, R. dan Setiawan, A, 2012. Penggunaan abu terbang batubara pada pembuatan batako di Kota Palu. *Majalah Ilmiah Mektek*, Vol. 3, pp. 85–92.
- Naganathan, S., Mohamed, A.Y.O. and Mustapha, K.N., 2015. Performance of bricks made using fly ash and bottom ash. *Construction and Building Materials*. 96, pp. 576–580.
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
- Singh, M. dan Siddique, R., 2016. Effect of coal bottom ash as partial replacement of sand on workability and strength properties of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 112, pp. 620–630.
- Sivakumar, S. dan Kameshwari, B., 2015. Influence of fly ash and LYTAG light weight aggregate on concrete. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(15), pp. 35843–35848.
- Sukwika, T., 2018. Peran Pembangunan Infrastruktur terhadap Ketimpangan Ekonomi Antarwilayah di Indonesia. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 6(2), p. 115-130.
- Suparmoko, M., 2020. Pembangunan Nasional Dan Regional. *Jurnal Ekonomika dan Manajemen*, 9(1), pp. 39–50.
- Tenaga Listrik Gorontalo, PT., 2014. *Pemanfaatan Limbah Abu Batubara (Fly Ash dan Bottom Ash) PLTU Molotabu sebagai Campuran Pembuatan Batako*. Sulawesi: PT. Tenaga Listrik Gorontalo.
- Wigusti, A.E., Widyaningrum, A., Puspita, K.E., Trianingrum, S., Rosyidah, U. dan Sofiyah, 2022. Implementasi Konsep Creating Shared Value (CSV) dalam Pemanfaatan Fly Ash Bottom Ash (FABA) oleh PLTU Jateng 2 Adipala Omu. *Jurnal Ilmiah Manajemen, Ekonomi, dan Akutansi*, 6(2), pp. 1930–1945.
- Yunita, E., Rahmaniah dan Fitriyanti, 2017. Analisis Potensi Dan Karakteristik Limbah Padat Fly Ash Dan Bottom Ash Hasil Dari Pembakaran Batubara Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Semen Tonasa. *Jurnal Fisika dan Terapannya*, 4(1), pp. 93–106.
- Zakaria, T., dan Juniarti, A.D., 2020. Studi Kelayakan Pemanfaatan Fly Ash Dan Bottom Ash Menjadi Paving Blok Di Pltu Banten 3 Lontar. *Journal Industrial Servicess*, 5(2), pp. 129–137. <https://buanakonstruksi.com/jasa/harga-paving-block-murah-per-pcs/>. Diakses 20 Juli 2023.
- <https://readymix.co.id/produk/beton-mutu-k200/>, diakses 20 Juli 2023).