

Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Sebagai Bahan Material Kontruksi Ramah Lingkungan Pada Bangunan

Adi Mulya Kusuma¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

¹Email: adimk55@gmail.com

Abstract

The increasing demand of infrastructure project development requires parties operating in the building materials industry to be able to present innovative environmentally friendly building material products. One innovation that has been widely tested and is the use of FABA waste (fly ash and bottom ash) as a construction material in buildings, because the characteristics of the FABA material are quite similar to cement. The aim of this research is to determine the use of FABA waste as an environmentally friendly material in buildings and the influence of FABA waste as a substitute for building construction materials. The method used is qualitative, with data collection and adjustment techniques based on the correlation of sources with the topic in this research. The research results show that the addition of FABA raw materials to building construction materials can increase the values of compressive strength, tensile strength, water absorption capacity, and can be resistant to acid and fire. Satisfactory results are obtained by paying proper attention to the composition of the ingredients. Thus, FABA waste can be used as infrastructure material to support sustainable development. The use of FABA waste as a construction material is considered quite effective and appropriate.

Keywords: *Construction Materials, FABA, Eco Friendly, Literature Review, Waste Utilization*

1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur dan bangunan memegang peranan yang sangat signifikan dalam pertumbuhan ekonomi suatu negara, sebagai sektor yang melibatkan pembangunan jalan, jembatan, perumahan, serta bangunan komersial dan industri, aktivitas ini tidak hanya menciptakan lapangan kerja dan menyediakan infrastruktur dasar yang diperlukan untuk kegiatan ekonomi, tetapi juga memicu pertumbuhan sektor-sektor terkait. Meskipun memiliki peran yang vital dalam pertumbuhan ekonomi, sektor pembangunan infrastruktur dan bangunan juga membawa dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak ini meliputi emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada perubahan iklim global, konsumsi besar sumber daya alam yang tidak terbarukan, serta volume limbah yang dihasilkan. Material konstruksi, sebagai salah satu elemen utama dalam proses pembangunan, memiliki peran yang signifikan dalam memengaruhi dampak lingkungan dari sektor ini. Pemilihan material konstruksi yang tidak ramah lingkungan atau penggunaan sumber daya yang tidak berkelanjutan dapat memperburuk dampak negatif terhadap lingkungan[1]. Pemilihan material bahan bangunan berpengaruh pada konsumsi energi bangunan tersebut. Pada saat didirikan, konsumsi energi bangunan tersebut berkisar antara 5-13% sedangkan 87-95% merupakan angka konsumsi energi bangunan selama masa hidup bangunan tersebut [2]. Berdasarkan hal tersebut diketahui bahwa sangatlah penting untuk mempertimbangkan pemilihan material yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan sebagai upaya meminimalkan dampak lingkungan sektor pembangunan infrastruktur dan bangunan.

Aplikasi dari bangunan ramah lingkungan biasanya disebut juga dengan konstruksi hijau (*green construction*). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Syahriyah (2017), GBCI yang merupakan lembaga penyelenggaraan kegiatan sertifikasi bangunan hijau di Indonesia memiliki sistem penilaian rating suatu bangunan dalam upayanya menerapkan bangunan ramah lingkungan. Sistem penilaian rating ini disebut dengan *GREENSHIP*. Yang menyebutkan bahwa salah satu aspek penilaian dari *GREENSHIP* adalah

Material Resource and Cycle (MRC). Kriteria penilaian aspek *Material Resource and Cycle* ini antara lain:

1. Menggunakan material bekas bangunan lama dan/atau dari tempat lain untuk mengurangi penggunaan bahan mentah yang baru, sehingga dapat mengurangi limbah pada pembuangan akhir serta memperpanjang usia pemakaian suatu bahan material.
2. Mengurangi jejak ekologi dari proses ekstraksi bahan mentah dan proses produksi material. Yaitu dengan menggunakan material yang merupakan hasil proses daur ulang, atau menggunakan material yang bahan baku utamanya berasal dari sumber daya terbarukan.
3. Meningkatkan efisiensi dalam penggunaan material dan mengurangi sampah konstruksi. Yaitu dengan menggunakan material modular atau prafabrikasi[3].

Berbagai terobosan baru dalam dunia konstruksi juga memperkenalkan berbagai material struktur yang saat ini menggunakan limbah sebagai salah satu komponennya, seperti pemakaian *fly ash*, *silica fume* pada beton siap pakai dan beton pra cetak[2]. Kebutuhan batu bara untuk PLTU tiap tahun diprediksi akan terus meningkat, sehingga akan meningkat pula jumlah FABA (*fly ash* dan *bottom ash*) yang dihasilkan. FABA yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada PLTU digolongkan sebagai limbah non-bahan berbahaya dan beracun (non-B3). Berdasarkan potensi besarnya jumlah limbah FABA yang dihasilkan oleh industri ini, diharapkan adanya pengolahan atau pemanfaatan berkelanjutan limbah FABA sebagai material yang mempunyai nilai tambah ekonomi seperti material konstruksi. Di beberapa negara antara lain China, India dan Jepang, FABA dimanfaatkan sebagai keperluan bahan bangunan atau konstruksi seperti batako, *paving block* dan material semen[4]. Adapun hasil studi ini diharapkan dapat mengetahui manfaat penggunaan limbah FABA sebagai material ramah lingkungan pada bangunan gedung, dan pengaruh limbah FABA sebagai bahan substitusi.

2. Metode

Kajian pustaka (*literature review*) merupakan sebuah aktivitas untuk meninjau atau mengkaji kembali berbagai literatur yang telah dipublikasikan guna untuk memperkuat hasil. Jurnal penelitian yang sesuai mempunyai korelasi kemudian dikumpulkan dan dibuat ringkasan jurnal meliputi nama peneliti, judul penelitian, metode dan ringkasan hasil atau temuan[5]. Penelitian ini masuk dalam kategori penelitian kualitatif data, teknik yang digunakan dalam pengumpulan data adalah pengumpulan dan penyesuaian data yang didasari dari korelasi sumber dengan topik dalam penelitian ini. Selanjutnya teknik analisis yang digunakan berupa *content analysis*, teknik ini digunakan untuk membuat inferensi yang dapat direplikasi (ditiru) dan shahih datanya dengan memperhatikan konteksnya[5]. Berdasarkan hasil pengumpulan data dan analisis data, telah terpilih artikel-artikel jurnal (dari tahun 2015-2024) yang menjadi acuan amatan terhadap topik penelitian ini, yaitu pemanfaatan FABA sebagai material ramah lingkungan pada bangunan gedung. Dalam kajian ini terdapat 10 artikel terpilih (dari tahun 2015-2024, yang memiliki indeks) yang akan disintesis dalam tabel 1 berikut.

Tabel 1. Artikel Objek Studi Literatur

No	Nama Pengarang	Jurnal	Judul	Tujuan
1	Utari Ayuningtyas, I Made Agus Dharma Susila, AdolfLeopold SM Sihombing, Nugroho Adi Sasongko, Putty Anggraeni, Teguh Pribadi Adi Nugroho, Nur	Jurnal Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (2022)	Pemanfaatan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> sebagai material kontruksi ramah lingkungan dalam rangka mendukung kriteria bangunan hijau	Untuk mengidentifikasi komposisi campuran FABA, mengidentifikasi ketersediaan standar produk turunan FABA, dan mengidentifikasi pemenuhan persyaratan pada kriteria bangunan hijau.

	Tjahyo Eka Darmayanti[4]			
2	Vira Ansari dan Eddy Prianto[6]	Jurnal Prosiding SNST ke-11, (2021)	Ciptakan Rumah Ramah Lingkungan dengan Material Dinding Limbah <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> (FABA)	Menjelaskan tentang pemanfaatan limbah FABA sebagai pengganti material konstruksi lain dalam upaya penyelenggaraan pelestarian lingkungan hidup.
3	I Putu Aditiya Premana, dan Ni Luh Kadek Resi Kerdiati[7]	Jurnal Vastukara, (2022)	<i>Ashcrete</i> Sebagai Material Bangunan Ramah Lingkungan	Untuk mengetahui cara penerapan konsep ramah lingkungan disebut bangunan atau rumah dengan menerapkan atau memproses dari bahan material alami berupa <i>ashcrete (fly ash)</i> .
4	Kinan Wintang Wardhani, Endah Kanti Pangestuti, Rini Kusumawardani, Muh Arief Firdaus[8]	Jurnal Inovasi Kontruksi, Vol. 03 Nomor 01, (2024)	Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash PLTU Rembang untuk Pembuatan Beton Menggunakan Semen PPC	Untuk mengurangi jumlah limbah pembakaran batu bara berupa <i>fly ash</i> dan <i>bottom</i> PLTU Rembang sebagai substitusi semen dan pasir pada pembuatan beton mutu K-225 dan kedap air menggunakan semen <i>Portland Pozzolan</i> .
5	Shinta Arifa, Popi Puspitasari, Khotijah Lahji[9]	Jurnal Rekayasa Lingkungan Terbangun Berbasis Teknologi Berkelanjutan, (2021)	Referensi Untuk Perancang: <i>Review</i> Produk Inovasi Material Ramah Lingkungan	Untuk mengkaji pengaruh material ramah lingkungan sebagai produk inovasi industri.
6	Utari Ayuningtyas, Rosmeika, dan Ach Firdaus[10]	Jurnal Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (2023)	<i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> Sebagai Material Infrastruktur Untuk Mendukung Pembangunan yang Berkelanjutan	Menjelaskan pemanfaatan FABA sebagai material infrastruktur untuk mendukung

				pembangunan berkelanjutan.
7	Endah Kanti Pangestuti, Praba Bagaskara, Fadhila Rizqina Heriyanto[11]	Jurnal Inovasi Kontruksi, Vol. 2 Nomor 2, (2023)	Pengaruh <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> (FABA) PLTU Sebagai Campuran Paving Blok Ditinjau Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air	Untuk menganalisis pengaruh penambahan material FABA pada paving blok ditinjau terhadap kuat tekan dan daya serap air serta pemanfaatannya.
8	Siva Kumar Nagathan, Al Mamon Yousef[12]	<i>Journal of Construction and Building Materials</i> (2015)	<i>Performance of Bricks Made From Fly Ash and Bottom Ash</i>	Untuk menghasilkan jenis batu bata yang ramah lingkungan dan menghasilkan batu bata yang lebih ekonomis dari limbah FABA
9	Mufti Amir Sultan, Imran, Muhammad Faujan[13]	Teras Jurnal, Vol.9, No. 2, (2019)	Pengaruh Penambahan Limbah Pembakaran Batu Bara (<i>Fly Ash</i>) Ex PLTU RUM pada Campuran Beton	Untuk mengetahui efek penambahan <i>fly ash</i> dalam campuran beton.
10	Sari Utama Dewi dan Febri Prasetyo[14]	<i>Journal of Infrasctructural in Civil Engineering,</i> Vol. 02, No. 02, (2021)	Analisa Penambahan <i>Bottom Ash</i> Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton	Untuk mengetahui pengaruh tambahan limbah batu bara (<i>bottom ash</i>) terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton.

Sumber: Kajian Penulis (2024)

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan 10 artikel terpilih di atas maka dilakukan suatu analisis mendalam mengenai unit amatan terhadap topik penelitian ini, yaitu pemanfaatan FABA sebagai material ramah lingkungan pada bangunan gedung. Unit amatan tersebut berupa poin-poin hubungan pengaruh antara karakteristik limbah FABA, pemanfaatan limbah FABA dalam material kontruksi bangunan ramah lingkungan, dan pengaruh limbah FABA sebagai bahan substitusi atau pengganti. Tabel 2 berikut menjelaskan poin-poin hubungan pada unit amatan berdasarkan jurnal terpilih.

Tabel 2. Analisis Unit Amatan Pemanfaatan FABA Sebagai Material Ramah Lingkungan pada Bangunan

No	Nama Pengarang	Jurnal	Unit Amatan (Pemanfaatan FABA sebagai material ramah lingkungan pada bangunan)
1	Utari Ayuningtyas, I Made Agus Dharma Susila, AdolfLeopold SM Sihombing, Nugroho Adi Sasongko, Putty Anggraeni, Teguh Pribadi Adi Nugroho, Nur Tjahyo Eka Darmayanti[4]	Jurnal Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Pemanfaatan Limbah FABA sebagai Material Kontruksi Bangunan • Pemenuhan Persyaratan Kriteria Bangunan Hijau
2	Vira Ansari dan Eddy Prianto[6]	Jurnal Prosiding SNST ke-11, (2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Pemanfaatan Limbah FABA sebagai Material Kontruksi Bangunan
3	I Putu Aditiya Premana, dan Ni Luh Kadek Resi Kerdiati[7]	Jurnal Vastukara, (2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Pemanfaatan Limbah FABA sebagai Material Kontruksi Bangunan • Pengaruh Limbah FABA sebagai Bahan Subtitusi
4	Kinan Wintang Wardhani, Endah Kanti Pangestuti, Rini Kusumawardani, Muh Arief Firdaus[8]	Jurnal Inovasi Kontruksi, Vol. 03 Nomor 01, (2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Pemanfaatan Limbah FABA sebagai Material Kontuksi Bangunan • Pengaruh Limbah FABA sebagai Bahan Subtitusi
5	Shinta Arifa, Popi Puspitasari, Khotijah Lahji[9]	Jurnal Rekayasa Lingkungan Terbangun Berbasis Teknologi Berkelanjutan, (2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Pemanfaatan Limbah FABA sebagai Material Kontruksi Bangunan • Pemenuhan Persyaratan Kriteria Bangunan Hijau
6	Utari Ayuningtyas, Rosmeika, dan Ach Firdaus[10]	Jurnal Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (2023)	<ul style="list-style-type: none"> • Pemanfaatan Limbah FABA sebagai Material Kontruksi Bangunan

7	Endah Kanti Pangestuti, Praba Bagaskara, Fadhila Rizqina Heriyanto[11]	Jurnal Inovasi Kontruksi, Vol. 2 Nomor 2, (2023)	<ul style="list-style-type: none"> • Pemanfaatan Limbah FABA sebagai Material Kontruksi Bangunan • Pengaruh Limbah FABA sebagai Bahan Substitusi
8	Siva Kumar Nagathan, Al Mamon Yousef[12]	<i>Journal of Construction and Building Materials</i> (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Pemanfaatan Limbah FABA sebagai Material Kontruksi Bangunan • Pengaruh Limbah FABA sebagai Bahan Substitusi
9	Mufti Amir Sultan, Imran, Muhammad Faujan[13]	Teras Jurnal, Vol.9, No. 2, (2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Pemanfaatan Limbah FABA sebagai Material Kontruksi Bangunan • Pengaruh Limbah FABA sebagai Bahan Substitusi
10	Sari Utama Dewi dan Febri Prasetyo[14]	<i>Journal of Infrascstructural in Civil Engineering, Vol. 02, No. 02,</i> (2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Pemanfaatan Limbah FABA sebagai Material Kontruksi Bangunan • Pengaruh Limbah FABA sebagai Bahan Substitusi

Sumber: Kajian Penulis (2024)

Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa pemanfaatan FABA sebagai material ramah lingkungan pada bangunan gedung terdiri atas tiga poin utama unit amatan, yaitu pemanfaatan limbah FABA sebagai material kontruksi bangunan, pemenuhan persyaratan kriteria bangunan hijau, pengaruh limbah FABA sebagai bahan substitusi. Penjelasan lebih detail mengenai ke-tiga hasil analisis di atas, dijabarkan dalam sub-sub bab berikut.

A. Pemanfaatan Limbah FABA Sebagai Material Kontruksi Bangunan

Permintaan pemenuhan kebutuhan pembangunan proyek infrastruktur yang kian meningkat, menyebabkan adanya tuntutan menghadirkan inovasi produk material bangunan yang lebih ramah lingkungan kepada pihak yang bergerak dalam bidang industri material bangunan. Penerapan inovasi material yang ramah lingkungan akan berperan aktif bagi masyarakat dalam menaikkan kesadaran terhadap lingkungan dengan menghasilkan dan menggunakan produk yang aman dan bebas dari bahan beracun dan berbahaya. *Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA) merupakan limbah padat hasil pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). FABA dikategorikan sebagai material konstruksi ramah lingkungan karena memenuhi sub-kriteria bangunan hijau yaitu material yang tidak mengandung bahan berbahaya dan beracun, merupakan material yang dapat diolah atau dimanfaatkan kembali dan produk turunan FABA merupakan produk ber-SNI. Berdasarkan kajian jurnal terpilih, disebutkan bahwa adanya kemiripan dengan sifat *fly ash* dan sifat-sifat semen menjadikan *fly ash* sebagai material pengganti untuk mengurangi jumlah semen sebagai material penyusun beton mutu

tinggi, abu padat (*bottom ash*) juga dapat dimanfaatkan dalam dunia konstruksi bangunan. Dari kajian jurnal yang telah terpilih disebutkan pula bahwa pemanfaatan limbah FABA dapat digunakan sebagai material konstruksi bangunan gedung, antara lain paving block, genteng, batako, beton, batu bata.

Dengan adanya pemanfaatan 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.

B. Pemenuhan Persyaratan Kriteria Bangunan Hijau

Dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 8 Tahun 2010 tentang Kriteria dan Sertifikasi Bangunan Ramah Lingkungan serta kriteria *Greenship* dari *Green Building Council* Indonesia, bangunan yang dapat dikategorikan sebagai bangunan ramah lingkungan apabila memenuhi salah satu kriteria yaitu menggunakan material bangunan yang ramah lingkungan. FABA dapat dikategorikan sebagai material konstruksi ramah lingkungan karena memenuhi sub-kriteria bangunan hijau yaitu material yang tidak mengandung bahan berbahaya dan beracun sesuai yang tercantum di dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan hidup, merupakan material yang dapat diolah atau dimanfaatkan kembali. Berdasarkan penelitian jurnal terpilih, disebutkan bahwa beberapa material konstruksi berbahan baku FABA telah memenuhi persyaratan kriteria bangunan hijau, yang ditinjau berdasarkan sifat material dan berstandart SNI[4].

Bahan Baku	Produk turunan FABA	Pemenuhan persyaratan material konstruksi untuk kriteria bangunan hijau		
		Material tidak berbahaya	Material yang dapat dimanfaatkan kembali	Produk ber-SNI
Fly Ash	Batako	√	√	√
Ash	Genteng	√	√	√
Bottom Ash	Paving block	√	√	√

Gambar 1. Pemenuhan Kriteria Bangunan Hijau untuk Material Kontruksi

Fly ash menjadi pendukung dalam pembangunan yang ramah lingkungan dan memiliki beberapa keunggulan antara lain biaya pembuatan material yang lebih murah, ketahanan lebih baik pada lingkungan yang korosi, mudah dikerjakan, beton yang dipakai tidak mudah retak, dan tidak memerlukan perlengkapan khusus. Berdasarkan penjelasan tersebut, dalam konstruksi bangunan gedung, pemilihan material konstruksi yang berbahan baku FABA dapat dikatakan efektif pada dampak lingkungan yang positif, karena lebih ramah lingkungan, bukan merupakan material berbahaya, dan bahan baku yang diperoleh merupakan material hasil *recycle*. Pemilihan material konstruksi yang tepat dapat berpengaruh pada masa hidup bangunan tersebut.

C. Pengaruh Limbah FABA Sebagai Bahan Substitusi

Kebutuhan batu bara untuk PLTU tiap tahun diprediksi akan terus meningkat sehingga akan meningkat pula jumlah limbah yang dihasilkan. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan batubara sebagai sumber energi yang akan menghasilkan residu berupa *fly ash* dan *bottom ash* (FABA). Penumpukan limbah tersebut akan menimbulkan banyak masalah lain, sehingga diperlukan inovasi untuk mengubahnya menjadi bahan bernilai tambah. FABA dapat dimanfaatkan di dunia konstruksi bangunan sebagai bahan campuran pada semen dikarenakan karakteristik dari *fly ash* yang cukup mirip

dengan semen. Berdasarkan hasil kajian jurnal yang telah dilakukan diketahui bahwa material konstruksi yang berbahan baku FABA tidak kalah baik jika dibandingkan dengan material konstruksi normal dengan tidak ada campuran FABA. Berikut terangkum hasil pemanfaatan FABA sebagai material konstruksi serta bagaimana pengaruhnya dalam material tersebut

Tabel 3. Hasil Pengujian Pengaruh FABA dalam Material Kontruksi

No	Penelitian yang telah dilakukan	Produk Hasil Pemanfaatan FABA	Komposisi Optimum (Rasio perbandingan terbaik)	Hasil Pengujian	Kesimpulan Hasil Pemanfaatan FABA
1	I Putu Aditiya Premana, dan Ni Luh Kadek Resi Kerdiati (2022)[7]	Batako <i>ashcrete</i>	<i>fly ash</i> , tanah liat, semen Portland tipe 1, dan asam nitrat	<ul style="list-style-type: none"> Memiliki kemampuan permeabilitas Memiliki ketahanan asam dan api Penggunaan air lebih sedikit 	Batako <i>aschrete</i> lebih unggul dibanding batako biasa karena batako biasa tidak memiliki kelebihan seperti yang disebutkan dalam hasil pengujian
2	Kinan Wintang Wardhani, dkk (2024)[8]	Beton	Campuran semen PPC, pasir, kerikil, air, dan bahan substitusi <i>fly ash</i> 5% dan <i>bottom ash</i> 20%	<ul style="list-style-type: none"> Kuat tekan beton FABA 254,67 kg/cm² pada umur 60 hari, sedangkan kuat tekan beton normal 203 kg/cm² Daya serap beton FABA 5,17 % sedangkan beton normal 6,64 % 	<ul style="list-style-type: none"> Beton dengan penambahan FABA efektif menaikkan kekuatan tekan beton pada umur 60 hari Substitusi <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> dalam pembuatan beton menurunkan daya serap dari kemampuan beton normal yang berarti baik digunakan untuk bangunan struktur
3	Endah Kanti Pangestuti, Praba Bagaskara, Fadhila Rizqina	Paving Blok	<ul style="list-style-type: none"> Campuran bahan 1 semen : 3 <i>bottom ash</i> (untuk 	<ul style="list-style-type: none"> Nilai kuat tekan paving blok 18,73 MPa Daya serap air sebesar 7,5 % 	<ul style="list-style-type: none"> Penggunaan <i>bottom ash</i> sebagai pengganti pasir berdampak pada semakin

Heriyanto (2023)[11]		pengujian kuat tekan)		besarnya nilai kuat tekan paving blok
		<ul style="list-style-type: none"> • Campuran semen, <i>fly ash</i>, dan <i>bottom ash</i> dengan perbandingan masing-masing 0,5:0,5:3 (untuk pengujian daya serap air) 		<ul style="list-style-type: none"> • Penggunaan <i>bottom ash</i> sebagai pengganti pasir berdampak pada semakin tingginya nilai daya serap air. Karena kandungan lumpur yang lebih besar dibandingkan pasir. Paving blok jenis ini cocok sebagai sarana pejalan kaki
4 Siva Kumar Nagathan, dan Al Mamon Yousef (2015)[12]	Batu Bata	Campuran <i>bottom ash</i> , <i>fly ash</i> , dan semen dengan perbandingan masing-masing 1:1:0,35	<ul style="list-style-type: none"> • Nilai kuat tekan 10,65 MPa dan daya serap 10,4 % 	<ul style="list-style-type: none"> • Produksi batu bata dengan penggunaan material <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> mendapatkan hasil yang memuaskan berdasarkan persyaratan kriteria kinerja batu bata
5 Mufti Amir Sultan, Imran, dan Muhammad Faujan (2019)[13]	Beton	Campuran semen dan 20% <i>fly ash</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Nilai kuat tekan 29,43 MPa (material <i>fly ash</i> meningkatkan kuat tekan sebesar 26,45% dari beton tanpa bahan tambah <i>fly ash</i>) 	Penggunaan <i>fly ash</i> pada kadar tertentu sebagai bahan tambah dapat memperbaiki sifat mekanik beton. Diidentifikasi dari bertambahnya nilai kuat tekan beton dengan campuran <i>fly ash</i>
6 Sari Utama Dewi dan Febri	Beton	Campuran 9% <i>bottom ash</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Nilai kuat tekan 29,21 MPa (material <i>bottom</i> 	Penambahan <i>bottom ash</i> sebagai bahan substitusi

Prasetyo (2021)[14]	ash meningkatkan 13,2% dari beton tanpa bahan tambahan <i>bottom ash</i>)	material beton dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan kuat tarik pada beton
	• Nilai kuat tarik 2,95 MPa (material <i>bottom ash</i> meningkatkan 13,0% dari beton tanpa bahan tambahan <i>bottom ash</i>)	

Sumber: Kajian Penulis (2024)

4. Kesimpulan

Fly ash menjadi pendukung dalam pembangunan yang ramah lingkungan karena memiliki beberapa keunggulan antara lain biaya pembuatan material yang lebih murah, ketahanan lebih baik pada lingkungan yang korosi, mudah dikerjakan, beton yang dipakai tidak mudah retak, dan tidak memerlukan perlengkapan khusus.

Pemanfaatan limbah FABA dapat digunakan sebagai material konstruksi bangunan gedung, antara lain paving block, batako, beton, batu bata. Hal ini dikarenakan adanya kemiripan dengan sifat fly ash dan sifat-sifat semen menjadikan fly ash sebagai material pengganti untuk mengurangi jumlah semen sebagai material penyusun beton mutu tinggi, abu padat (*bottom ash*) juga dapat dimanfaatkan dalam dunia konstruksi bangunan.

Berdasarkan hasil kajian jurnal yang telah dilakukan, produk-produk hasil pemanfaatan FABA telah diuji sifat mekanik dan fisiknya. Hasil menunjukkan bahwa penambahan bahan baku FABA pada material konstruksi bangunan, antara lain batako, paving blok, batu bata, dan beton menunjukkan hasil yang memuaskan, dimana penambahan FABA dapat meningkatkan nilai kuat tekan, kuat tarik, daya serap air, dan dapat tahan terhadap asam dan api. Namun hal ini didapatkan dari hasil pencampuran bahan FABA dan material lainnya dengan komposisi yang tepat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan limbah FABA sebagai bahan material konstruksi bangunan cukup efektif dan tepat guna dengan memperhatikan komposisi bahan material lainnya.

Referensi

- [1] Gunawan, R. "Material Kontruksi Berkelanjutan: Tinjauan Komprehensif Tentang Rekayasa dan Aplikasi". *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, Vol. 7 No. 1, 2024.
- [2] Imran, Mohammad. "Material Kontruksi Ramah Lingkungan dengan Penerapan Teknologi Tepat Guna". *Jurnal Peradapan Sains, Rekayasa, dan Teknologi Sekolah Tinggi Teknik Bina Taruna Gorontalo*, Vol 6 No. 2, 2018.
- [3] Syahriyah, Dewi Rachmaniatius. "Penerapan Aspek *Green Material* Pada Kriteria Bangunan Rumah Lingkungan di Indonesia". *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia* 7 (2), 2017.
- [4] Ayuningtyas, Utari, dkk. "Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai Material Kontruksi Ramah Lingkungan dalam Rangka Mendukung Kriteria Bangunan Hijau". *Jurnal Nasional Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat*, 2022.
- [5] Shidiq, Umar, dan Choiri, Moh Miftachul. "Metode Penelitian Kualitatif di Bidang Pendidikan". *Penerbitan Nata Karta*, 2019.
- [6] Ansari, Vira, dan Prianto, Eddy. "Ciptakan Rumah Ramah Lingkungan Dengan Material Dinding Limbah *Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA)". *Jurnal Prosiding SNST ke-11*, 2021.
- [7] Premana, I Putu Aditiya Premana, dan Kerdiati, Ni Luh Kadek Resi. "*Ashcrete* Sebagai Material

- Bangunan Ramah Lingkungan”. *Jurnal Vastukara, Vol 2 No. 2, 2022.*
- [8] Wardhani, Kinan Wintang, Pangestuti, Endah Kanti, Kusumawardhani, Rini, dan Firdaus, Muh Arief. “Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* PLTU Rembang untuk Pembuatan Beton Menggunakan Semen PPC”. *Jurnal Inovasi Kontruksi, Vol. 7 No. 1, 2024.*
- [9] Arifa, Shinta, Puspitasari, Popi, dan Lahji Khotijah. (2021). “Referensi Untuk Perancang: *Review Produk Inovasi Material Ramah Lingkungan*”. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Terbangun Berbasis Teknologi Berkelanjutan, 2021.*
- [10] Ayuningtyas, Utari, Rosmeika, dan Firdaus, Ach. “*Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai Material Infrastruktur untuk Mendukung Pembangunan yang Berkelanjutan”. *Jurnal Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, 2023.*
- [11] Pangestuti, Endah Kanti, Bagaskara Praba, dan Heriyanto, Fadhila. “Pengaruh *Fly Ash* dan *Bottom Ash (FABA)* PLTU sebagai Campuran Paving Block Ditinjau Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air”. *Jurnal Inovasi Kontruksi, Vol. 2 No. 2, 2023.*
- [12] Naganathan, Siva Kumar, dan Yousef, Al Mamon. “*Performance of Brick Made From Fly Ash and Bottom Ash*”. *Journal of Construction and Building Materials, 2023.*
- [13] Sultan, Mufti Amir, Imran, dan Faujan Muhammad. “Pengaruh Penambahan Limbah Pembakaran Batu Bara (*Fly Ash*) Ex PLTU RUM pada Campuran Beton”. *Teras Jurnal Vol. 9 No.2, 2019.*
- [14] Dewi, Sari Utama, dan Prasetyo Febri. “Analisa Penambahan *Bottom Ash* Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton”. *Journal of Infrascruktural in Civil Engineering (JICE) Vol. 2 No.2, 2021.*