

Kajian Efektivitas dan Efisiensi Pemanfaatan Limbah Batu Bara dalam Pembuatan *Paving block* Ramah Lingkungan

Hilma Erliana^{1*}, Ade Dwinta²

^{1,2}Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat, Meulaboh 23615, Aceh Barat
e-mail: hilmaerliana@aknacehbarat.ac.id

Abstract

The waste from the operation activities of the Nagan Raya 1-2 Power Plant (PLTU) has caused environmental pollution. Therefore, this research was conducted to find a solution on how to directly reduce the environmental pollution load due to the accumulation of solid waste in the form of fly ash. This was achieved by conducting a technical and economic analysis to obtain the effectiveness and efficiency values of producing environmentally friendly paving blocks. The results showed that in terms of technical analysis, the highest water absorption percentage occurred in the composition with 25% fly ash, which was 10.73%, followed by compositions with 20%, 15%, 10%, and 5% fly ash, which had absorption percentages of 10.30%, 9.69%, 9.40%, and 8.60%, respectively. According to the SNI 03-0692-1996 standard, the maximum water absorption for paving blocks of quality grade D is 10%. In terms of economic analysis, the highest cost was incurred with a composition of 0% fly ash, which was Rp. 2,565.00, followed by compositions with 5%, 10%, and 15% fly ash, which had costs of Rp. 2,516.00, Rp. 2,468.00, and Rp. 2,420.00, respectively. Therefore, it can be concluded that the composition with 15% fly ash meets the effectiveness and efficiency criteria in both technical and economic aspects.

Keywords: Fly ash, technical analysis, economic analysis

1. PENDAHULUAN

Pasca bencana gempa dan tsunami dahsyat yang telah melanda provinsi Aceh pada tahun 2004 silam, pemerintah Indonesia bersama dengan bantuan internasional melakukan pembangunan kembali infastruktur secara besar-besaran. Selama beberapa tahun pembangunan infrastruktur telah dilakukan di provinsi Aceh sehingga banyak kemajuan yang telah dicapai, salah satunya banyak pengusaha mulai tertarik menanamkan modalnya ke Aceh untuk mendirikan industri-industri strategis, salah satunya adalah PLTU yang berada di Kabupaten Nagan Raya [1]. PLTU ini merupakan milik PT PLN Persero yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 1-2 berlokasi di Suak Puntong, Kecamatan Kuala Pesisir, Nagan Raya yang menyediakan arus dari Aceh hingga ke Sumatera. Dalam proses pengoperasian PLTU awalnya dilakukan pembakaran bahan bakar batu bara pada tungku pembakaran. Panas yang dihasilkan oleh pembakaran tersebut digunakan untuk memanaskan air dalam boiler dan mengubahnya menjadi uap. Uap yang dihasilkan kemudian dialirkan ke turbin uap, yang akan menggerakkan generator listrik untuk menghasilkan energi listrik. Namun fly ash yang merupakan hasil sisa dari pembakaran batu bara, merupakan salah satu isu lingkungan yang terkait dengan pembangkit listrik tenaga batu bara (PLTU) [2]. Abu terbang batu bara (*fly ash*) merupakan produk sampingan sekaligus limbah padat

utama yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara di industri. Jika tidak ditangani dengan baik, keberadaan *fly ash* batu bara dapat merusak tanah dan pencemaran lingkungan [3].

Fly ash adalah partikel-partikel kecil yang terbentuk saat batu bara dibakar dan kemudian dilepaskan ke udara. Masalah yang timbul akibat *fly ash* antara lain polusi udara karena mengandung zat berbahaya, seperti logam berat (misalnya, merkuri, kadmium, timbal) dan senyawa kimia beracun (misalnya, arsenik, selenium) Apabila terhirup oleh manusia dan hewan, dapat masuk ke dalam sistem pernapasan dan mengakibatkan gangguan seperti peradangan paru-paru, gejala asma, dan penyakit pernapasan kronis. Kontaminasi Tanah dan Air, jika *Fly ash* yang terbang ke lingkungan dapat mengendap di tanah dan perairan di sekitarnya. Hal ini dapat menyebabkan kontaminasi tanah dan air, mengancam kehidupan organisme di ekosistem tersebut. Logam berat yang terkandung dalam *fly ash* juga dapat meracuni air tanah dan sumber air permukaan. Dampak Lingkungan Jangka Panjang: *Fly ash* dapat memiliki dampak jangka panjang terhadap ekosistem. Ketika terendap di tanah atau perairan, zat-zat beracun yang terkandung dalam *fly ash* dapat merusak keanekaragaman hayati dan mempengaruhi siklus nutrisi alami [4]. Dampak Sosial-Ekonomi: PLTU batu bara umumnya membutuhkan lahan yang luas, yang dapat mengakibatkan pemindahan penduduk dan kerugian ekonomi bagi masyarakat yang terkena dampaknya [5]. Selain itu, pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batu bara juga berpotensi mengganggu mata pencaharian masyarakat lokal yang bergantung pada sektor pertanian, perikanan, atau pariwisata. Terkait dengan perubahan iklim, PLTU batu bara adalah salah satu sumber utama emisi gas rumah kaca, terutama CO₂, yang merupakan penyebab utama dari perubahan iklim global. Dampak perubahan iklim, seperti kenaikan suhu rata-rata, perubahan pola cuaca, dan peningkatan tingkat air laut, dapat memiliki konsekuensi yang signifikan bagi masyarakat, termasuk ancaman terhadap pertanian, bencana alam, dan ketidakstabilan ekonomi [6].

Maka dari itu sisa dari proses pembakaran batu bara abu terbang (*fly ash*) dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam konstruksi, hal ini dikarenakan kandungan dari *fly ash* memiliki nilai ekonomis karena mengandung kandungan silika (SiO₂) yang cukup tinggi yaitu sekitar 30%, limbah batu bara ini bisa dimanfaatkan untuk campuran membuat *Paving block*, breakwater, atau roadbase [7]. Pemanfaatan *fly ash* dalam konstruksi juga memiliki potensi untuk mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam yang terbatas dan mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas pembangunan [8]. Maka, diperlukan usaha untuk memanfaatkan limbah *fly ash*, yang dalam penelitian ini digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan *Paving block*, dengan tujuan mengurangi penggunaan semen dalam campuran tanpa mengorbankan kualitas *Paving block*[9]. *Paving block* adalah produk material bangunan terbuat dari campuran semen dan pasir yang digunakan sebagai pelapis permukaan tanah. Campuran *paving block* terdiri dari semen Portland, air, agregat, dan bahan tambahan lainnya yang digunakan tanpa mengurangi kualitas *paving block*. *Paving block* juga memiliki beragam variasi ukuran, bentuk, warna, dan kekuatan struktur yang berbeda [10]. Secara umum, *paving block* yang diproduksi memiliki ketebalan standar yaitu 60 mm, 80 mm, dan 100 mm. Aturan dan persyaratan penggunaan *paving block* di Indonesia diatur dalam standar SNI 03-0691-1996. Sesuai dengan peraturan tersebut, kualitas *paving block* diklasifikasikan sebagai berikut [11] :

- Kualitas A : digunakan untuk perkerasan jalan;
- Kualitas B : digunakan untuk pelataran parkir;
- Kualitas C : cocok untuk pejalan kaki dan trotoar;
- Kualitas D : Sesuai untuk taman dan area lainnya.

Tabel 1. Kualitas Paving block

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Tahan Aus (mm/menit)		Penyerapan air (%)
	Rata-rata	Min	Rata-rata	Min	maks
A	40	35	0,09	0,103	3
B	20	17	0,13	0,149	6
C	15	12,5	0,16	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

Paving block yang diproduksi secara manual umumnya diklasifikasikan sebagai kualitas beton C atau D yang ditujukan untuk penggunaan non-struktural, seperti di area taman dan sejenisnya yang tidak memerlukan kemampuan menahan beban berat. Sementara itu, *paving block* yang dihasilkan melalui mesin press mendapat peringkat kualitas beton C hingga A dengan kekuatan tekan lebih dari 125 kg/cm², sesuai dengan perbandingan bahan yang dicampur. Meskipun tampilan antara *paving block* yang dibuat secara manual dan yang diproduksi oleh mesin press tampak serupa, perlu dicatat bahwa permukaan *paving block* dari mesin press biasanya tampak lebih padat dibandingkan dengan yang dibuat secara manual. [11].

Adapun tujuan dari penelitian ini dilakukan guna mencari solusi untuk mengurangi beban pencemaran lingkungan secara langsung akibat penimbunan limbah padat yang berupa *fly ash* dari aktivitas operasi PLTU 1-2 Nagan raya , menganalisis bagaimana peningkatan kadar *fly ash* memengaruhi penyerapan air pada *paving block*, memahami kualitas berdasarkan persyaratan SNI 03-0691-1996, dan melakukan perbandingan antara kualitas dan harga *paving block* pada campuran standar serta campuran dengan penambahan limbah batu bara. Dengan melakukan analisis teknis dan ekonomis untuk mengetahui efektivitas dan efisiensi yang nantinya diharapkan dapat diperoleh pemahaman mengenai keuntungan usaha pembuatan *Paving block* yang ramah lingkungan dengan menggunakan abu batu (*fly ash*) sebagai bahan pengurang semen [12].

2. METODE PENELITIAN

Bahan Material Pembuatan *Paving block*

- Abu Terbang (*Fly ash*)

Abu terbang (*fly ash*) diambil dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Nagan Raya yang terletak di Jalan Meulaboh-Tapak Tuan, Kabupaten Kuala Pesisir, Nagan Raya. Abu Terbang ini dihasilkan dari limbah proses pembakaran. Abu terbang (*fly ash*) yang dihasilkan dari proses

pembakaran batubara ini bisa mencapai 60-70 ton/hari. Saat ini, pengelola lingkungan PLTU Nagan Raya bertanggung jawab atas pengelolaan limbah tersebut [13].

Tabel 2. Analisis Material Komposisi Kimia Fly ash

Komposisi	Fly ash (%)
SiO ₂	46,71
Al ₂ O ₃	25,52
Fe ₂ O ₃	8,35
CaO	8,62
MgO	3,88
SO ₃	2,17
P ₂ O ₅	0,68
Na ₂ O	1,49
K ₂ O	0,82
TiO ₂	1,16
MnO ₂	0,13
Loi	0,42

- Semen Portland;
- Pasir;
- Air.

Metode penelitian ini melakukan pengujian pada sampel *paving block* dengan memanfaatkan abu terbang (*fly ash*) sebagai pengganti semen. Selain berpotensi mengurangi limbah, penggunaan bahan ini sebagai substitusi semen diharapkan dapat menekan harga produksi *paving block*. Tahapan penelitian dimulai dengan menguji bahan baku yang akan digunakan dalam pembuatan *paving block*. Substitusi semen dengan abu terbang (*fly ash*) diuji dalam berbagai perbandingan volume, yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Sampel *paving block* yang digunakan memiliki bentuk persegi dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm. Campuran yang digunakan dalam pembuatan *paving block* terdiri dari 1 bagian semen portland dan 5 bagian pasir (PC + *Fly ash* : 5 PS), dan untuk rincian komposisi campuran dapat dilihat pada Tabel di bawah ini :

Tabel 3. Perbandingan Komposisi Campuran Paving block

Perbandingan Campuran (Kg)	Penambahan Fly ash (%)	Jumlah Benda Uji (buah)
(2,25 PC) : (11,25 PS)	0	5
(2,1375 PC + 0,1125 FA) : (11,25 PS)	5	5
(2,025 PC + 0,225 FA) : (11,25 PS)	10	5
(1,9125 PC + 0,3375 FA) : (11,25 PS)	15	5
(1,80 PC + 0,45 FA) : (11,25 PS)	20	5
(1,6875 PC + 0,5625 FA) : (11,25 PS)	25	5

Ukuran dan bentuk sampel *paving block* sesuai dengan ketentuan SNI 03-0691-1996, yang

berupa benda uji persegi dengan dimensi 20 cm x 10 cm x 6 cm. Proses pembuatan benda uji *paving block* dilakukan secara manual. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan terhadap daya serap air pada saat *paving block* telah mengering selama 7 hari.



Gambar 1. Ukuran Benda Uji *Paving block*

Selain melakukan pengujian teknis, penelitian ini juga menganalisis pemanfaatan daur ulang limbah batu bara dari sudut pandang ekonomi. Dengan melakukan penelitian ini, diharapkan dapat memberikan gambaran tentang potensi penghematan biaya yang dapat diperoleh melalui pemanfaatan ekonomis limbah batu bara, baik dengan menggunakan campuran tambahan abu terbang (*fly ash*) batu bara maupun campuran standar tanpa tambahan abu terbang (*fly ash*) batu bara. Berikut adalah langkah-langkah dalam proses pembuatan benda uji (*paving block*) :

1. Pembuatan benda uji

- Bahan baku yang digunakan adalah semen, pasir dan abu terbang batu bara (*fly ash*) yang diambil sesuai dengan variasi komposisi campuran yang telah disesuaikan.
- Kemudian campurkan bahan-bahan tersebut dengan menggunakan sekop hingga tercampur merata (homogen).
- Tambahkan air PDAM sebanyak ± 1 liter ke dalam campuran bahan tersebut dan aduk hingga merata. Campuran bahan siap untuk dicetak.
- Masukkan campuran bahan ke dalam cetakan yang telah dibuat dan tekan secara manual.

2. Pengujian daya serap air

- Keluarkan spesimen uji dari cetakan dan letakkan di atas papan untuk dikeringkan selama 7 hari sebelum dilakukan pengujian.
- Rendam benda uji dalam kondisi yang bersih selama sekitar 24 jam, kemudian mengeluarkannya dari air lalu menunggu air yang tersisa menetes selama sekitar 1 menit, kemudian lap permukaan benda uji dengan kain untuk menghilangkan sisa-sisa air yang berlebihan dan timbang berat basah (A)
- Kemudian, setelah ditimbang masukkan benda uji dalam oven pengering pada suhu sekitar 105°C hingga beratnya mencapai dua kali lipat dari penimbangan sebelumnya disebut dengan berat kering (B) dengan selisih tidak lebih dari 0,2%. Selanjutnya dapat dihitung kuantitas

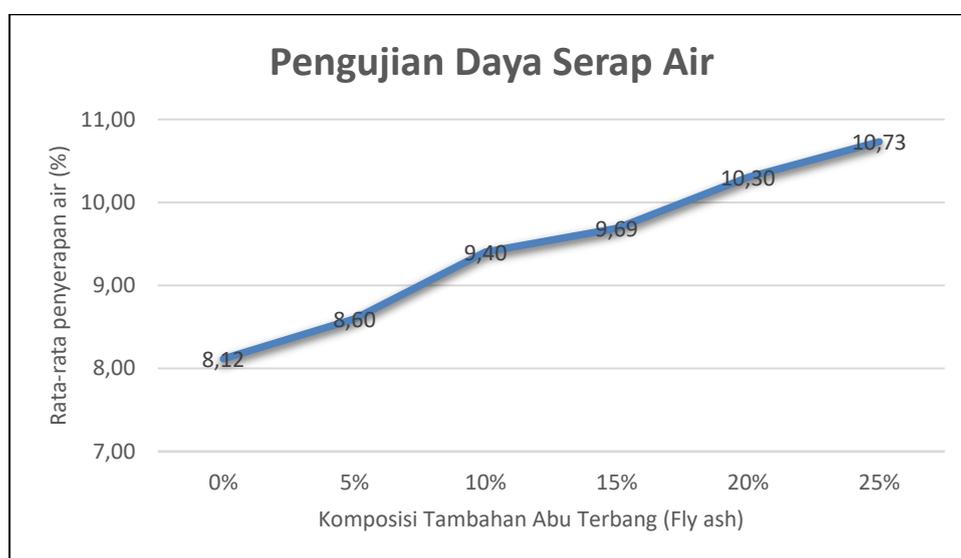
penyerapan air yang perlu dihitung dengan menggunakan persentase berat.

3. Biaya Produksi *Paving block*

- menganalisis Analisis biaya produksi *paving block* dengan dan tanpa pemanfaatan abu terbang batu bara (*fly ash*) sebagai komponen tambahan.
- Penilaian teknis dan ekonomis dari pembuatan *paving block* dengan pemanfaatan abu terbang batu bara (*fly ash*) sebagai komponen tambahan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kajian Teknis (Pengujian daya Serap Air)



Gambar 2. Grafik Persentase Daya Serap Air

Berdasarkan dari grafik di atas, hasil pengujian menunjukkan bahwa komposisi dengan nilai persentase penyerapan air tertinggi yaitu pada tambahan *fly ash* 25 % yaitu sebesar 10,73 % diikuti dengan komposisi *fly ash* 20 %, 15 %, 10% dan 5 % sebesar 10,30 %, 9,69 %, 9,40 % dan 8,60 %. Sedangkan nilai persentase penyerapan air paling rendah terjadi pada komposisi tambahan abu terbang (*fly ash*) % dengan daya serap paling rendah yaitu sebesar 8,12 %. Menurut SNI 03-0692-1996 bahwa nilai daya serap air untuk kualitas *paving block* dengan mutu D yaitu penyerapan air maksimal adalah 10 %, dengan demikian, *paving block* yang menggunakan komposisi *fly ash* 5%, 10%, dan 15% dapat difungsikan sebagai *paving block* dalam kualitas beton C atau D yang digunakan untuk tujuan non-struktural, seperti di area taman dan lingkungan lainnya yang tidak memerlukan kemampuan menahan beban berat.

Sedangkan komposisi *fly ash* 20% dan 25% persentase daya serap air melebihi batas kewajaran yang ditetapkan SNI 03-0692-1996 yaitu sebesar 10,73 dan 10,30%. Pada *paving block* apabila nilai persentase daya serap air melebihi batas standar yang tersedia, ini dapat memiliki beberapa konsekuensi negatif tergantung pada konteks penggunaannya. Penyerapan air yang tinggi pada *paving block* dapat menyebabkan masalah sebagai berikut [14], [15]:

- *Permeabilitas* Tinggi: Daya serap air yang tinggi akan membuat *paving block* lebih permeabel terhadap air. Ini berarti air dapat dengan mudah meresap ke dalam *paving block*, yang dapat

- mengakibatkan genangan air di permukaan *paving block* dan lingkungan sekitarnya. Ini bisa menjadi masalah dalam aplikasi seperti jalan raya, trotoar, atau area parkir di mana genangan air dapat menjadi masalah keselamatan.
- Penurunan Ketahanan: *Paving block* yang memiliki daya serap air yang tinggi cenderung kurang tahan terhadap beban dan tekanan. Ini dapat menyebabkan *paving block* menjadi lebih rentan terhadap kerusakan akibat pembekuan dan pencairan air, terutama dalam iklim dengan perubahan suhu ekstrem.
 - Pemudaran dan Kerusakan Estetika: Daya serap air yang tinggi juga dapat menyebabkan *paving block* lebih rentan terhadap pemudaran warna dan kerusakan estetika akibat kontak dengan air, terutama jika *paving block* terbuat dari bahan yang tidak tahan terhadap air.
 - Perubahan Dimensi: Daya serap air yang tinggi dapat menyebabkan *paving block* mengalami perubahan dimensi. Ini dapat mengakibatkan retakan, pergeseran, atau penurunan *paving block*, yang dapat mengganggu integritas struktural dan fungsi mereka.

3.2 Kajian Ekonomi

Perhitungan kebutuhan bahan

Hasil survei yang dilakukan di pabrik pembuatan *paving block* di Meulaboh, diperoleh data yang akan digunakan sebagai dasar dalam melakukan perhitungan analisis ekonomi, data tersebut disajikan sebagai berikut :

1. Jika waktu yang dibutuhkan dalam membuat *paving block*, misalkan 1 buah *paving block* dapat dibuat dalam waktu 10 menit
2. Jumlah tenaga kerja yang tersedia adalah 2 orang
3. Jumlah jam kerja dalam 1 hari adalah 8 jam maka 1 hari adalah $8 \times 60 = 480$ menit
4. Maka dalam 1 jam *paving block* dapat dibuat sebanyak 60 menit/10 menit, sehingga dalam 1 jam dengan 2 tenaga kerja *paving block* yang dihasilkan selama 1 jam adalah 6 *paving block*/tenaga kerja $\times 2$ tenaga kerja = 12 *paving block*
5. Dalam satu hari (8 jam) *paving block* yang dapat dihasilkan oleh 2 tenaga kerja adalah 12 *paving block*/jam $\times 8$ jam = 96 *paving block*
6. Kapasitas Produktivitas
 - Jumlah tenaga Kerja : 2 orang
 - Harga Agregat Halus : Rp. 150.000,00/m³
 - Harga Semen : Rp. 68.000,00/sak
 - Harga *Fly ash* : Rp. 0

Sehingga diperoleh nilai konversi untuk kebutuhan bahan tiap-tiap komposisi campuran yaitu sebagai berikut :

Tabel 4. Kebutuhan Bahan untuk tiap Komposisi Campuran

Komposisi Campuran	Semen (Sak)	Abu Batu (Kg)	Pasir (m3)
Normal (0%)	1,30	0	0,17
5%	1,23	2,59	0,17
10%	1,17	5,18	0,17
15%	1,10	7,78	0,17
20%	1,04	10,37	0,17
25%	0,97	12,96	0,17

Adapun Analisa harga untuk biaya *paving block* pada tiap-tiap komposisi campuran disajikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 5. Biaya *Paving block* Komposisi Campuran Normal (0%)

No	Komponen biaya <i>Paving Block</i>			Harga (per hari)	
		Vol	Harga	Sat	
1	Bahan				
	Semen	1,30	68.000	sak	88.128
	<i>Fly Ash</i>	0	0	kg	0
	Pasir	0,17	150.000	m3	25.758
2	Upah				
		2	60.000	OH	120.000
Total Biaya Per hari					233.886

untuk menghasilkan 96 buah *paving block* dengan tingkat resiko cacat/rusak sebesar 5%, sehingga perlu memperhitungkan faktor resiko = 0,95, maka harga *paving block* adalah sebagai berikut :

$$\frac{\text{Total Biaya/hari}}{96 \times 0,95} = \frac{\text{Rp. 233.886,00}}{91,2}$$

harga *paving block* untuk tiap buah adalah Rp. 2.565,00,-

Tabel 6. Biaya *Paving block* Komposisi Campuran 5%

No	Komponen biaya <i>Paving Block</i>			Harga (per hari)	
		Vol	Harga	Sat	
1	Bahan				
	Semen	1,23	68.000	sak	88.128
	<i>Fly Ash</i>	2,59	0	kg	0
	Pasir	0,17	150.000	m3	25.758
2	Upah				
		2	60.000	OH	120.000
Total Biaya Per hari					229.480

untuk menghasilkan 96 buah *paving block* dengan tingkat resiko cacat/rusak sebesar 5%, sehingga perlu memperhitungkan faktor resiko = 0,95, maka harga *paving block* adalah sebagai berikut :

$$\frac{\text{Total Biaya/hari}}{96 \times 0,95} = \frac{\text{Rp. 229.480,00}}{91,2}$$

harga *paving block* untuk tiap buah adalah Rp. 2.516,00,-

Tabel 7. Biaya *Paving block* Komposisi Campuran 10%

No	Komponen biaya <i>Paving Block</i>			Harga (per hari)	
		Vol	Harga	Sat	
1	Bahan				
	Semen	1,17	68.000	sak	79.315

	<i>Fly Ash</i>	5,18	0	kg	0
	Pasir	0,17	150.000	m3	25.758
2	Upah				
		2	60.000	OH	120.000
Total Biaya Per hari					225.073

untuk menghasilkan 96 buah *paving block* dengan tingkat resiko cacat/rusak sebesar 5%, sehingga perlu memperhitungkan faktor resiko = 0,95, maka harga *paving block* adalah sebagai berikut :

$$\frac{\text{Total Biaya/hari}}{96 \times 0,95} = \frac{\text{Rp. 225.073,00}}{91,2}$$

harga *paving block* untuk tiap buah adalah Rp. 2.468,00,-

Tabel 8. Biaya *Paving block* Komposisi Campuran 15%

No	Komponen biaya <i>Paving Block</i>			Sat	Harga (per hari)
	Vol	Harga			
1	Bahan				
	Semen	1,10	68.000	sak	74.909
	<i>Fly Ash</i>	7,78	0	kg	0
	Pasir	0,17	150.000	m3	25.758
2	Upah				
		2	60.000	OH	120.000
Total Biaya Per hari					220.667

untuk menghasilkan 96 buah *paving block* dengan tingkat resiko cacat/rusak sebesar 5%, sehingga perlu memperhitungkan faktor resiko = 0,95, maka harga *paving block* adalah sebagai berikut :

$$\frac{\text{Total Biaya/hari}}{96 \times 0,95} = \frac{\text{Rp. 220.667,00}}{91,2}$$

harga *paving block* untuk tiap buah adalah Rp. 2.420,00,-

Tabel 9. Biaya *paving block* Komposisi Campuran 20%

No	Komponen biaya <i>Paving Block</i>			Sat	Harga (per hari)
	Vol	Harga			
1	Bahan				
	Semen	1,04	68.000	sak	70.502
	<i>Fly Ash</i>	10,37	0	kg	0
	Pasir	0,17	150.000	m3	25.758
2	Upah				
		2	60.000	OH	120.000
Total Biaya Per hari					216.260

untuk menghasilkan 96 buah *paving block* dengan tingkat resiko cacat/rusak sebesar 5%, sehingga perlu memperhitungkan faktor resiko = 0,95, maka harga *paving block* adalah sebagai berikut :

$$\frac{\text{Total Biaya/hari}}{96 \times 0,95} = \frac{\text{Rp. 216.260,00}}{91,2}$$

harga *paving block* untuk tiap buah adalah Rp. 2.371,00,-

Tabel 10. Biaya *Paving block* Komposisi Campuran 25%

No	Komponen biaya <i>Paving Block</i>	Harga (per hari)			
		Vol	Harga	Sat	
1	Bahan				
	Semen	0,97	68.000	sak	66.096
	<i>Fly Ash</i>	12,96	0	kg	0
	Pasir	0,17	150.000	m3	25.758
2	Upah				
		2	60.000	OH	120.000
Total Biaya Per hari					211.854

untuk membuat *paving block* sebanyak 96 buah dengan resiko cacat/rusak sebesar 5% sehingga timbul perawatan faktor resiko = 0,95 maka harga *paving block* adalah :

$$\frac{\text{Total Biaya/hari}}{96 \times 0,95} = \frac{\text{Rp. 211.854,00}}{91,2}$$

harga *paving block* untuk tiap buah adalah Rp. 2.323,00,-

berikut ini adalah hasil rekapitulasi keseluruhan biaya *paving block* pada masing-masing komposisi campuran yang telah dijabarkan pada tabel sebelumnya :

Tabel 11. Rekapitulasi Biaya *Paving block*

Komposisi Campuran	Harga <i>paving block</i> /buah	Harga <i>paving block</i> /m2
	Rp.	Rp.
Normal (0%)	2.565,00	128.227
5%	2.516,00	125.811
10%	2.468,00	123.395
15%	2.420,00	120.980
20%	2.371,00	118.564
25%	2.323,00	116.148

Berdasarkan Tabel 11. Rekapitulasi Biaya *Paving Block* di atas, maka dapat disimpulkan bahwa keefektifan & keefisiensi dari segi kualitas dan biaya didapat pada komposisi campuran *fly ash* 15% sebagai pengganti semen. Hal ini karena dari segi kajian teknis dalam penyerapan agregat sudah masuk dalam standar SNI 03-0692-1996 syarat penyerapan agregat maksimal 10% dan dari segi kajian ekonomis biaya *paving block* komposisi campuran *fly ash* 15% juga lebih efisien dibandingkan dengan komposisi campuran yang normal (0%). Akan tetapi jika digunakan campuran 20% dan 25% nilai efisien dalam biaya tetapi tidak efektif dalam kualitas mutunya dari nilai penyerapan agregat yang tidak memenuhi standar SNI 03-0692-1996 . Begitu juga sebaliknya, jika kita menggunakan komposisi campuran yg normal dan komposisi campuran 5%,10% masih dapat keefektifan mutu yg baik karena memenuhi standar SNI 03-0692-1996 akan tetapi kurang efisien

dalam penggunaan biaya *paving block*.

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas maka dapat disajikan gambaran tentang efektivitas dan efisiensi penggunaan bahan tambahan pengganti semen Portland yaitu abu batu (*fly ash*). Berikut ini adalah beberapa hasil yang mungkin ditemukan dalam kajian ekonomis tersebut :

- Efisiensi Biaya Produksi: Penggunaan abu batu dalam komposisi campuran *paving block* biasanya lebih ekonomis daripada penggunaan bahan lain, seperti semen portland, sebagai bahan pengikat utama. Sehingga dapat menghasilkan penghematan biaya produksi yang signifikan, terutama dalam proyek-proyek besar. Hal ini karena abu batu seringkali lebih ekonomis daripada bahan lain seperti *semen portland*, dan penggunaannya dapat mengurangi biaya produksi;
- Pengurangan Biaya Pembuangan Limbah: Penggunaan abu batu dapat membantu mengurangi limbah yang dihasilkan dari pembakaran batu bara. Ini dapat menghemat biaya pemrosesan dan pembuangan limbah. Abu Penggunaan batu juga dapat memiliki dampak positif pada lingkungan;
- Efisiensi dalam Penggunaan Sumber Daya Lokal: Jika abu batu diproduksi secara lokal sebagai produk sampingan dari pembangkit listrik, ini dapat mengurangi biaya transportasi material jauh ke lokasi proyek. Ini adalah aspek penting dari efisiensi ekonomis.

5. SARAN

Adapun saran yang direkomendasikan sebagai berikut :

1. Sebaiknya tidak hanya dilakukan pengujian daya serap saja tapi dilakukan pengujian lanjutan mengenai kuat tekan dalam pembuatan *paving block*;
2. Hasil penelitian yang telah dilakuka ini diharapkan dapat dikembangkan produksinya, sehingga dapat meningkatkan penghematan dari segi biaya produksi serta mengurangi biaya produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Fauzi, F. Fazliah, F. Fajri, F. Rizal, and M. Mulizar, "Potensi Penggunaan Teknologi Geopolimer sebagai Alternatif Metode dalam Pembuatan Panel Ornamen," in *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 2020, vol. 4, no. 1, pp. 13–17.
- [2] E. Safitri and D. Djumari, "Kajian teknis dan ekonomis pemanfaatan limbah batu bara (fly ash) pada produksi paving block," *Media Tek. Sipil Univ. Kristen Petra*, vol. 9, no. 1, p. 151790.
- [3] F. Mulana, F. M. Djuned, M. Fadli, and M. Meilian, "Fabrication of activated charcoal from coconut shell combined with coal fly ash from PLTU Nagan Raya for adsorption of methylene blue," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 796, no. 1, p. 12049.
- [4] F. Ardiansyah, "SISTEM MONITORING POLUSI UDARA BERDASARKAN DEBU DAN KARBON MONOKSIDA PADA LINGKUNGAN KERJA BOILER BATUBARA DI PT. KARUNIA ALAM SEGAR." Universitas Muhammadiyah Gresik, 2019.
- [5] A. Fadil, "ANALISIS ISI TENTANG OBJEKTIVITAS PEMBERITAAN TAMBANG BATUBARA DI MEDIA ONLINE MONGABAY. CO. ID." Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2020.
- [6] M. P. Tumbol, S. Amirudin, and A. Fuad, "Dampak Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Banten 2 Labuan Pada Kehidupan Sosial Ekonomi Masyarakat di Desa

-
- Cigondang Kecamatan Labuan Kabupaten Pandeglang-Banten.” Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2015.
- [7] Z. Tatan and A. D. Juniarti, “Studi kelayakan pemanfaatan fly ash dan bottom ash menjadi paving blok di PLTU Banten 3 Lontar,” *J. Ind. Serv.*, vol. 5, no. 2, pp. 129–137, 2020.
- [8] S. SUDARNO, P. Purwanto, and P. Pratikso, “DAUR ULANG MATERIAL LAPIS PERKERASAN JALAN SEBAGAI UPAYA MENGURANGI KONSUMSI ENERGI DAN EMISI.” Program of Postgraduate, 2015.
- [9] H. Winarno, D. Muhammad, and Y. G. Wibowo, “Pemanfaatan limbah fly ash dan bottom ash dari pltu sumsel-5 sebagai bahan utama pembuatan paving block,” *J. Tek.*, vol. 11, no. 1, pp. 1067–1070, 2019.
- [10] A. Nurzal and Y. Budiman, “Pengaruh Waktu Pengeringan Dengan Menambahkan 5% Berat Fly Ash melalui Daya Serap Air dan Uji Densitas Pada Pembuatan Paving Blok,” *J. Tek. Mesin ITP*, vol. 5, no. 1, 2015.
- [11] B. S. N. Indonesia, “Bata beton (Paving block),” *Badan Stand. Nasional, Bandung*, 1996.
- [12] Y. Ulfiyati, T. I. E. Pratiwi, and Y. Wahyuningsih, “Kajian Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Limbah Kulit Kerang Pada Produksi Paving Block Ramah Lingkungan,” *Pros. SEMSINA*, pp. IV–87, 2019.
- [13] R. A. Ami and S. Sriwahyuni, “PROCESSING OF FLY ASH & BOTTOM ASH IN THE MANUFACTURING OF PAVING BLOCKS TO REDUCE THE TOTAL POLLUTION OF NON-B3 WASTE AT PLTU NAGAN RAYA,” *MORFAI J.*, vol. 2, no. 2, pp. 315–320, 2022.
- [14] U. P. FIRMANSYAH, “PEMANFAATAN BONGGOL JAGUNG SEBAGAI BAHAN CAMPURAN PEMBUATAN PAVING BLOCK POROUS,” 2023.
- [15] S. Kurniasyih, “Studi Kuat Tekan, Porositas dan Permeabilitas Dengan Penambahan Abu Arang Kayu Karet Terhadap Beton Porous.” Universitas Islam Riau, 2020.