

PENGARUH PENGGUNAAN FLY ASH SEBAGAI SUBSTITUSI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN DAYA SERAP AIR PAVING BLOCK

Siti Nurhalizah Rasyid¹, Andi Sulfanita², Andi Bustan Didi³

sitikarinaaa5@gmail.com¹, andisulfanita@gmail.com², andibustan27081961@gmail.com³

Universitas Muhammadiyah Parepare

ABSTRAK

Paving block merupakan salah satu material perkerasan yang banyak digunakan pada jalan lingkungan, trotoar, area parkir, dan pelataran karena mudah dipasang, ekonomis, serta memiliki nilai estetika yang baik. Di sisi lain, penggunaan semen Portland sebagai bahan pengikat utama masih menimbulkan dampak lingkungan berupa emisi karbon yang cukup tinggi. Oleh karena itu, diperlukan alternatif material yang dapat mengurangi konsumsi semen tanpa menurunkan kualitas produk. Salah satu bahan yang berpotensi digunakan adalah fly ash, yaitu limbah hasil pembakaran batu bara yang memiliki sifat pozzolanik. Sifat tersebut memungkinkan fly ash bereaksi dengan kalsium hidroksida dan membentuk senyawa pengikat tambahan yang dapat meningkatkan kekuatan serta memperbaiki struktur mikro paving block. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi sebagian semen dengan fly ash terhadap kuat tekan dan daya serap air paving block melalui metode eksperimental. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan fly ash mampu meningkatkan kuat tekan dari 24,25 MPa menjadi 27,85 MPa pada variasi optimum 10%, serta menurunkan daya serap air sehingga menghasilkan paving block yang lebih padat, kuat, dan tahan terhadap penetrasi air.

Kata Kunci: Paving Block, Fly Ash, Kuat Tekan, Daya Serap Air, Material Perkerasan.

ABSTRACT

Paving blocks are one of the most widely used pavement materials for residential roads, sidewalks, parking areas, and open spaces due to their ease of installation, cost-effectiveness, and aesthetic value. On the other hand, the use of Portland cement as the primary binding material still has a significant environmental impact through high carbon emissions. Therefore, alternative materials are needed to reduce cement consumption without compromising product quality. One potential material is fly ash, a by-product of coal combustion that possesses pozzolanic properties. These properties enable fly ash to react with calcium hydroxide and form additional cementitious compounds that can enhance strength and improve the microstructure of paving blocks. This study aims to analyze the effect of partial cement substitution with fly ash on the compressive strength and water absorption of paving blocks using an experimental method. The results indicate that the addition of fly ash increased compressive strength from 24.25 MPa to 27.85 MPa at the optimum variation of 10%, while also reducing water absorption. Consequently, the paving blocks became denser, stronger, and more resistant to water penetration.

Keywords: Paving Block, Fly Ash, Compressive Strength, Water Absorption, Pavement Material.

PENDAHULUAN

Paving block merupakan salah satu material konstruksi yang banyak digunakan sebagai lapisan perkerasan pada trotoar, area parkir, jalan lingkungan, dan kawasan permukiman. Penggunaan paving block terus meningkat karena memiliki keunggulan berupa kemudahan pemasangan, biaya perawatan yang relatif rendah, serta kemampuan drainase yang lebih baik dibandingkan perkerasan konvensional [1]. Selain itu, paving block memiliki nilai estetika yang tinggi dan dapat dibongkar pasang sehingga lebih fleksibel dalam pelaksanaan maupun pemeliharaan infrastruktur [2]. Kualitas paving block umumnya ditentukan oleh karakteristik mekanik dan fisiknya, terutama kuat tekan dan daya serap air yang menjadi parameter utama dalam penentuan mutu berdasarkan Standar Nasional

Indonesia (SNI) [3].

Kebutuhan semen sebagai bahan pengikat utama dalam pembuatan paving block terus meningkat seiring dengan perkembangan sektor konstruksi. Produksi semen diketahui menjadi salah satu penyumbang emisi karbon dioksida (CO_2) terbesar dalam industri konstruksi akibat tingginya konsumsi energi selama proses produksi[4]. Dampak lingkungan tersebut mendorong berbagai upaya untuk mengurangi penggunaan semen melalui penggunaan material alternatif yang lebih ramah lingkungan [5]. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah penggunaan limbah industri sebagai bahan substitusi sebagian semen guna mendukung konsep pembangunan berkelanjutan dan ekonomi sirkular [6] .

Salah satu limbah industri yang berpotensi digunakan sebagai bahan substitusi semen adalah fly ash. Fly ash merupakan residu hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang dihasilkan dalam jumlah besar setiap tahunnya[7]. Apabila tidak dikelola dengan baik, fly ash dapat menimbulkan pencemaran lingkungan berupa pencemaran udara, tanah, dan perairan akibat proses penimbunan yang terus berlangsung [8]. Namun demikian, fly ash memiliki kandungan silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3) yang tinggi sehingga bersifat pozzolan dan dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam material berbasis semen [9]. Reaksi pozzolanik antara fly ash dan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen mampu membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) tambahan yang berkontribusi terhadap peningkatan kualitas matriks material, sehingga berpotensi meningkatkan kekuatan dan mengurangi porositas paving block [4].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengkaji pengaruh penambahan fly ash terhadap karakteristik paving block. Penelitian Rahim dkk. menunjukkan bahwa penambahan fly ash memberikan pengaruh terhadap kapasitas kuat tekan paving block yang dihasilkan[10]. Dwiana dan Kristianto melaporkan bahwa penggunaan fly ash pada rentang 10–20% menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih baik dibandingkan variasi lainnya serta mampu mempertahankan daya serap air pada batas yang diizinkan [1]. Ka'dang juga menemukan bahwa penambahan fly ash mempengaruhi kuat tekan dan serapan air paving block sehingga dapat digunakan sebagai alternatif material yang lebih ramah lingkungan [11]. Selain itu, Karaeng melaporkan bahwa penambahan fly ash pada variasi tertentu mampu meningkatkan kinerja paving block yang ditinjau dari kuat tekan, daya serap air, dan porositas [12].

Penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan fly ash dapat menghasilkan material konstruksi yang memenuhi persyaratan teknis. Riyandini dkk. menggunakan fly ash bersama limbah plastik PET sebagai bahan penyusun paving block dan memperoleh hasil yang memenuhi persyaratan pengujian tertentu [2]. Isnandar dkk. melaporkan bahwa penggunaan fly ash dan bottom ash (FABA) dari PLTU dapat menghasilkan paving block dengan karakteristik kuat tekan dan daya serap air yang sesuai untuk aplikasi konstruksi tertentu [13]. Penelitian mengenai paving block geopolimer berbasis fly ash juga menunjukkan bahwa karakteristik material sangat dipengaruhi oleh komposisi campuran dan gradasi agregat yang digunakan [14]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa fly ash memiliki potensi yang besar sebagai bahan alternatif dalam industri paving block modern.

Meskipun penelitian mengenai penggunaan fly ash pada paving block telah banyak dilakukan, hasil yang diperoleh masih menunjukkan variasi yang cukup besar. Perbedaan karakteristik fly ash, sumber material, metode pencampuran, komposisi campuran, serta kondisi perawatan menyebabkan nilai kuat tekan dan daya serap air yang dihasilkan berbeda pada setiap penelitian[10]. Beberapa penelitian melaporkan peningkatan kuat tekan pada

kadar fly ash tertentu, sedangkan penelitian lainnya menunjukkan penurunan kuat tekan apabila kadar substitusi terlalu tinggi [1]. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kadar optimum fly ash sebagai substitusi sebagian semen masih perlu dikaji lebih lanjut untuk memperoleh komposisi yang mampu menghasilkan mutu paving block terbaik [12].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penggunaan fly ash sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan dan daya serap air paving block. Penelitian ini menggunakan variasi kadar fly ash sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen untuk menentukan komposisi yang memberikan kinerja optimum. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh kadar fly ash terhadap mutu paving block serta menjadi referensi dalam pengembangan material konstruksi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare. Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan fly ash sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan dan daya serap air paving block. Bahan yang digunakan terdiri atas semen Portland Composite Cement (PCC), pasir sebagai agregat halus, fly ash sebagai bahan substitusi sebagian semen, dan air bersih sebagai bahan pencampur. Benda uji yang digunakan berupa paving block berukuran 20 cm × 10 cm × 8 cm dengan variasi kadar fly ash sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Jumlah benda uji yang digunakan sebanyak 12 sampel yang terdiri atas empat variasi campuran dengan tiga benda uji pada setiap variasi. Sebelum proses pencampuran dilakukan, seluruh material diperiksa karakteristiknya untuk memastikan kesesuaiannya dengan persyaratan yang berlaku. Proses pembuatan paving block meliputi penimbangan bahan, pencampuran material hingga homogen, pencetakan, pemadatan, dan perawatan (curing). Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari, sedangkan pengujian daya serap air dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Seluruh prosedur pengujian mengacu pada SNI 03-0691-1996 tentang Bata Beton (Paving block).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Karakteristik

Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap agregat halus, semen, dan fly ash. Hasil rekapitulasi masing-masing pengujian ditunjukkan dalam tabel dibawah ini :

Tabel 1. Rekapitulasi hasil pengujian agregat halus (Sumber : hasil pengolahan data 2026)

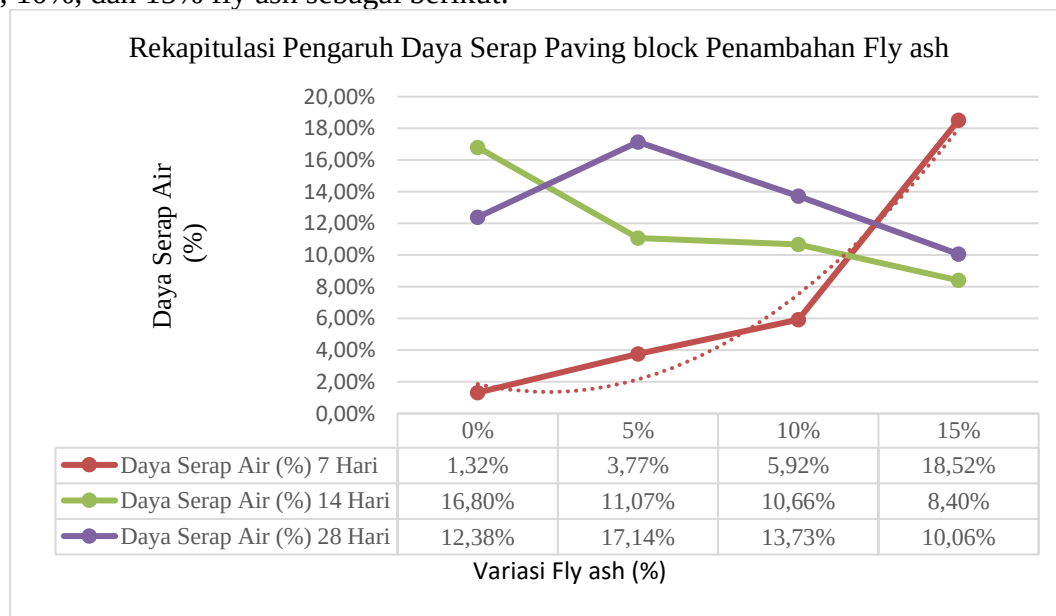
No.	Karakteristik Agregat	Interval Standar	Hasil Pengamatan	Keterangan
1	Kadar lumpur	Maks 5%	2,00%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	1	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	4,17%	Memenuhi
4	Berat volume			
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1,410	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1,504	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	1,94%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik			

a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,40	Memenuhi
b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,30	Memenuhi
c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,33	Memenuhi
7 Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	3,60	Memenuhi

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik agregat halus, seluruh parameter yang diuji memenuhi persyaratan standar untuk digunakan sebagai bahan campuran. Kadar lumpur rata-rata sebesar 2,00% masih berada di bawah batas maksimum 5%, sedangkan pengujian kadar organik menunjukkan warna kekeruhan pada standar warna No. 1 yang menandakan kandungan bahan organik rendah. Nilai kadar air rata-rata sebesar 4,17% juga masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Pengujian berat volume menghasilkan nilai rata-rata 1,410 gr/cm³ pada kondisi lepas dan 1,504 gr/cm³ pada kondisi padat, yang berada dalam rentang standar 1,4–1,9 gr/cm³. Selain itu, nilai absorpsi rata-rata sebesar 1,94% masih berada pada rentang yang diperbolehkan, yaitu 0,2–2,0%, sedangkan berat jenis agregat berkisar antara 2,30–2,40 yang memenuhi standar 1,6–3,3. Nilai modulus kehalusan rata-rata sebesar 3,60 juga masih berada dalam rentang yang dipersyaratkan, yaitu 1,50–3,80. Dengan demikian, agregat halus yang digunakan memiliki kualitas yang baik dan layak digunakan sebagai bahan penyusun campuran paving block karena telah memenuhi seluruh persyaratan teknis yang berlaku.

Pengujian Daya Serap Air Paving block

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 tentang Bata Beton (Paving block), salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan mutu paving block adalah nilai penyerapan air[15]. Standar tersebut mengklasifikasikan paving block menjadi empat mutu, yaitu Mutu A, B, C, dan D. Untuk Mutu D yang digunakan pada taman dan penggunaan lainnya, nilai penyerapan air rata-rata maksimum yang diperbolehkan adalah 10%. Sedangkan untuk pejalan kaki (Mutu C) maksimum 8%, tempat parkir (Mutu B) maksimum 6%, dan jalan (Mutu A) maksimum 3%. Berdasarkan hasil penelitian, penyerapan rata-rata pada paving block umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari yang didapat pada pengujian variasi normal, 0 %, 5%, 10%, dan 15% fly ash sebagai berikut:



Gambar 1. Rekapitulasi daya serap air gabungan 7 hari, 14 hari, dan 28 hari

Berdasarkan hasil penelitian pada Gambar 1, untuk umur perawatan 7 hari variasi 0%, 5%, dan 10% masih memenuhi persyaratan Mutu D karena memiliki nilai daya serap air

masing-masing sebesar 1,32%, 3,77%, dan 5,92%, sedangkan variasi 15% sebesar 18,52% belum memenuhi persyaratan. Pada umur 14 hari, hanya variasi fly ash 15% yang memenuhi persyaratan Mutu D dengan nilai daya serap air sebesar 8,40%, sedangkan variasi lainnya masih berada di atas batas yang ditentukan. Pada umur 28 hari, variasi 15% menghasilkan nilai daya serap air sebesar 10,06%, yang sangat mendekati batas maksimum SNI sebesar 10%, sementara variasi 0%, 5%, dan 10% masih berada di atas batas tersebut.

Berdasarkan persyaratan SNI 03-0691-1996, penggunaan fly ash sebagai substitusi sebagian semen menunjukkan pengaruh terhadap daya serap air paving block. Variasi fly ash 15% memberikan hasil terbaik, karena mampu menghasilkan nilai penyerapan air yang memenuhi persyaratan untuk paving block taman pada umur 14 hari dan hampir memenuhi persyaratan pada umur 28 hari. Semakin rendah nilai daya serap air, maka semakin sedikit pori-pori yang terdapat pada paving block sehingga material menjadi lebih padat, lebih tahan terhadap masuknya air, dan memiliki durabilitas yang lebih baik.

Pengujian Kuat Tekan Paving block

Setelah proses pembuatan dan perawatan benda uji, maka dilakukan pengujian kuat tekan. Pengujian ini dilakukan pada usia 7 hari, 14 hari dan 28 hari dengan total 36 sampel, yang terbagi ke dalam empat variasi campuran, yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15%. Setiap variasi campuran memiliki 3 sampel berbentuk balok dengan dimensi 20 cm × 10 cm × 80 cm. Sebelum melakukan uji kuat tekan paving blok, terlebih dahulu dilakukan penimbangan sampel untuk setiap variasi. Adapun perubahan berat pada setiap benda uji dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Hasil Kuat Tekan Untuk Paving block Normal (Sumber: hasil olah data)

No	Umur	Berat (kg)	Beban (KN)	Kuat tekan f_c (Mpa)
1	7 Hari	3,52	353,33	17,67
2	14 Hari	3,06	396,67	19,83
3	28 Hari	3,50	485,00	24,25

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan paving block Normal pada berbagai umur perawatan, yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pada umur 7 hari, berat paving block adalah 3,52 kg dengan beban maksimum yang diterima sebesar 353,33 kN, menghasilkan kuat tekan sebesar 17,67 MPa. Pada umur 14 hari, berat paving block sedikit menurun menjadi 3,06 kg, namun beban yang diterima meningkat menjadi 396,67 kN, menghasilkan kuat tekan sebesar 19,83 MPa. Pada umur 28 hari, berat paving block kembali meningkat menjadi 3,50 kg dengan beban maksimum sebesar 485 kN, menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 24,25 MPa. Dari data tersebut terlihat bahwa kuat tekan paving block meningkat seiring dengan bertambahnya umur perawatan, yang menunjukkan bahwa proses hidrasi semen dan pembentukan ikatan antar material berlangsung dengan baik sehingga kekuatan paving block terus berkembang hingga mencapai nilai maksimum pada umur 28 hari.

Tabel 3. Hasil Kuat Tekan Untuk Paving block Variasi 5% (Sumber: hasil olah data)

No	Umur	Berat (kg)	Beban (KN)	Kuat tekan f_c (Mpa)
1	7 Hari	3,63	356,67	17,83
2	14 Hari	3,49	450,00	22,50
3	28 Hari	3,45	503,33	25,17

Tabel 3. menunjukkan hasil pengujian kuat tekan paving block dengan variasi 5% fly ash pada berbagai umur perawatan, yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pada umur 7 hari, berat paving block adalah 3,63 kg dengan beban maksimum yang diterima sebesar 356,67 kN,

menghasilkan kuat tekan sebesar 17,83 MPa. Pada umur 14 hari, berat paving block sedikit menurun menjadi 3,49 kg, namun beban yang diterima meningkat menjadi 450 kN, menghasilkan kuat tekan sebesar 22,50 MPa.

Pada umur 28 hari, berat paving block semakin menurun menjadi 3,45 kg dengan beban maksimum sebesar 503,33 kN, menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 25,17 MPa. Dari data tersebut terlihat bahwa kuat tekan paving block meningkat seiring dengan bertambahnya umur perawatan, yang menunjukkan bahwa proses hidrasi semen dan pembentukan ikatan antar material berlangsung dengan baik sehingga kekuatan paving block terus berkembang hingga mencapai nilai maksimum pada umur 28 hari.

Tabel 4 Hasil Kuat Tekan Untuk Paving block Variasi 10 % (Sumber: hasil olah data)

No	Umur	Berat (kg)	Beban (KN)	Kuat tekan f_c (Mpa)
1	7 Hari	3,61	361,67	18,08
2	14 Hari	3,38	478,33	23,92
3	28 Hari	3,70	557,00	27,85

Tabel 4. menunjukkan hasil pengujian kuat tekan paving block dengan variasi 10 % fly ash pada berbagai umur perawatan, yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pada umur 7 hari, berat paving block adalah 3,61 kg dengan beban maksimum yang diterima sebesar 361,67 kN, menghasilkan kuat tekan sebesar 18,08 MPa. Pada umur 14 hari, berat paving block sedikit menurun menjadi 3,38 kg, namun beban yang diterima meningkat menjadi 478,33 kN, menghasilkan kuat tekan sebesar 23,92 MPa.

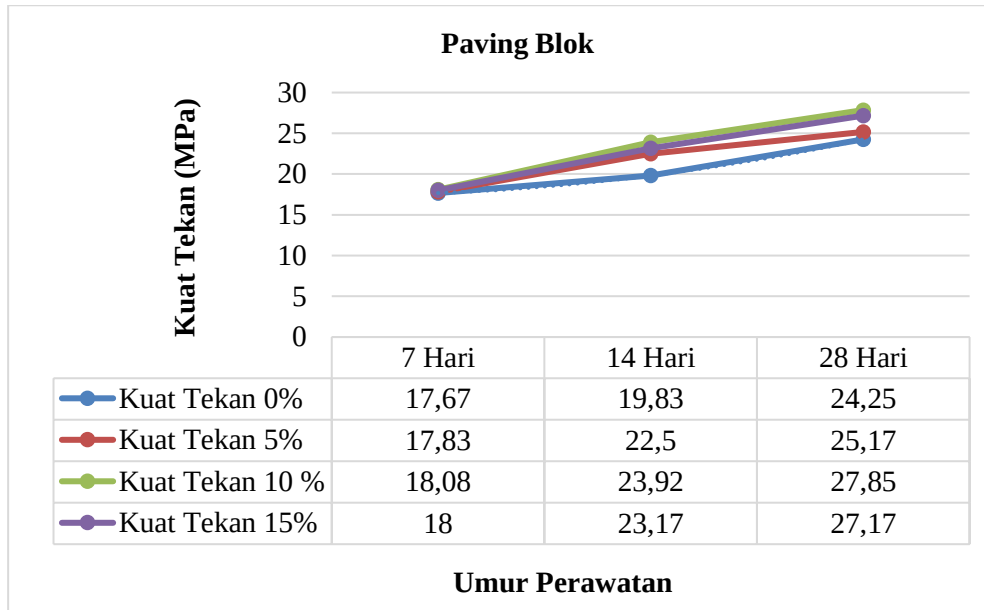
Pada umur 28 hari, berat paving block kembali meningkat menjadi 3,70 kg dengan beban maksimum sebesar 557 kN, menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 27,85 MPa. Dari data tersebut terlihat bahwa kuat tekan paving block meningkat seiring dengan bertambahnya umur perawatan, yang menunjukkan bahwa proses hidrasi semen dan pembentukan ikatan antar material berlangsung dengan baik sehingga kekuatan paving block terus berkembang hingga mencapai nilai maksimum pada umur 28 hari.

Tabel 5. Hasil Kuat Tekan Untuk Paving block Variasi 15 % (Sumber: hasil olah data)

No	Umur	Berat (kg)	Beban (KN)	Kuat tekan f_c (Mpa)
1	7 Hari	2,95	360,00	18,00
2	14 Hari	3,05	463,33	23,17
3	28 Hari	3,32	543,33	27,17

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan paving block dengan variasi 15 % fly ash pada berbagai umur perawatan, yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pada umur 7 hari, berat paving block adalah 2,95 kg dengan beban maksimum yang diterima sebesar 360 kN, menghasilkan kuat tekan sebesar 18,00 MPa. Pada umur 14 hari, berat paving block bertambah menjadi 3,05 kg, dan beban yang diterima meningkat menjadi 463,33 kN, menghasilkan kuat tekan sebesar 23,17 MPa.

Pada umur 28 hari, berat paving block kembali meningkat menjadi 3,32 kg dengan beban maksimum sebesar 543,33 kN, menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 27,17 MPa. Dari data tersebut terlihat bahwa kuat tekan paving block meningkat seiring dengan bertambahnya umur perawatan, yang menunjukkan bahwa proses hidrasi semen dan pembentukan ikatan antar material berlangsung dengan baik sehingga kekuatan paving block terus berkembang hingga mencapai nilai maksimum pada umur 28 hari.



Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan paving block meningkat seiring bertambahnya umur perawatan pada seluruh variasi campuran. Pada umur 28 hari, paving block normal (0% fly ash) menghasilkan kuat tekan sebesar 24,25 MPa, sedangkan substitusi fly ash 5%, 10%, dan 15% berturut-turut menghasilkan kuat tekan sebesar 25,17 MPa, 27,85 MPa, dan 27,17 MPa.

Peningkatan kuat tekan pada campuran yang menggunakan fly ash disebabkan oleh reaksi pozzolanik yang menghasilkan senyawa Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) tambahan sehingga struktur paving block menjadi lebih padat. Variasi fly ash 10% memberikan kuat tekan tertinggi sebesar 27,85 MPa atau meningkat sekitar 14,85% dibandingkan campuran normal. Hal ini menunjukkan bahwa kadar 10% merupakan komposisi optimum dalam penelitian ini.

Meskipun kuat tekan pada variasi fly ash 15% masih lebih tinggi dibandingkan campuran normal, nilainya lebih rendah dibandingkan variasi 10%. Kondisi ini mengindikasikan bahwa penggunaan fly ash yang terlalu tinggi dapat mengurangi jumlah semen yang berperan sebagai bahan pengikat utama sehingga proses hidrasi menjadi kurang optimal. Dengan demikian, penggunaan fly ash sebesar 10% direkomendasikan sebagai substitusi sebagian semen pada pembuatan paving block karena memberikan kuat tekan maksimum pada umur 28 hari.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan fly ash sebagai substitusi sebagian semen berpengaruh terhadap daya serap air paving block. Penambahan fly ash cenderung menurunkan nilai daya serap air pada umur 14 hari dan 28 hari karena fly ash mampu mengisi rongga-rongga dalam campuran dan menghasilkan struktur yang lebih padat. Nilai daya serap air terendah diperoleh pada variasi 15% fly ash, yaitu sebesar 8,40% pada umur 14 hari dan 10,06% pada umur 28 hari, sehingga variasi ini memberikan kinerja terbaik dalam mengurangi porositas paving block.

Selain itu, penggunaan fly ash juga berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan paving block. Kuat tekan meningkat seiring bertambahnya umur perawatan pada seluruh variasi campuran, dengan nilai tertinggi sebesar 27,85 MPa pada variasi 10% fly ash umur 28 hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kadar 10% merupakan komposisi optimum untuk meningkatkan kuat tekan paving block. Secara keseluruhan, fly ash berpotensi

digunakan sebagai bahan substitusi sebagian semen karena mampu meningkatkan kualitas paving block dari aspek daya serap air maupun kuat tekan.

DAFTAR PUSTAKA

- N. Dwiana, A. Kristianto, and U. K. Maranatha, "Effect of Fly Ash Use on Compressive Strength and Water Absorption of Paving Block," vol. 5, no. 12, pp. 6945–6957, 2024.
- V. L. Riyandini, "Daur Ulang Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) dan Abu Terbang (Fly Ash) Menjadi Paving Blok," 2024.
- K. N. Ihfansyah and M. Teguh, "Effect of coconut shell ash substitution on compressive strength, wear resistance and water absorption in paving blocks," vol. 29, no. 1, pp. 37–46, 2024.
- S. Sakir, S. N. Raman, and A. B. M. A. Kaish, "Utilization of By-Products and Wastes as Supplementary Cementitious Materials in Structural Mortar for Sustainable Construction" 2020.
- Z. A.-A. R. Mohammed Salah Nasr, Ali Abdulhussein Shubbar and Mohammed Sami Ibrahim, "Properties of Eco-Friendly Cement Mortar Contained Recycled Materials from Different Sources," 2023.
- M. Raghav, T. Park, H. Yang, S. Lee, S. Karthick, and H. Lee, "Review of the Effects of Supplementary Cementitious Materials and Chemical Additives on the Physical, Mechanical and Durability Properties of Hydraulic Concrete," 2021.
- Y. I. Masjud and A. Maulida, "Utilization bottom ash from incinerator become paving block (Study case : PT . X)," vol. 1, no. 2, pp. 93–109, 2024.
- O. Corbu and I. Toma, "Mortar Composites," pp. 2020–2023, 2022.
- P. N. Trushchelev, E. V Petrenko, and L. A. Piotrovskaya, "conceptualizing emotions through discourse: a pragmatic view on the reader's interest," pp. 93–114, 2023, doi: 10.5922/2225-5346-2023-2-6.
- M. M. Muh Ridha Abd Rahim, Mustakim Mustakim, "Pengaruh Penggunaan Fly Ash Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kapasitas Kuat Tekan Paving Block," vol. 2, no. 2, 2024.
- I. B. L. Karaeng, N. Okviyani, D. Patah, and A. Dasar, "Pemanfaatan Pasir Pantai dan Fly Ash Pada Kinerja Paving Block," vol. 6, no. 2, pp. 65–72, 2024.
- N. Dwiana and A. Kristianto, "Effect of Fly Ash Use of Compressive Strength and Water Absorption of Paving Block," 2025.
- D. Isnandar, H. Hasan, A. J. Pontus, and A. Winarno, "Pemanfaatan Limbah Hasil Pembakaran Batubara Faba (Fly Ash dan Bottom Ash) PLTU Menjadi Paving Block," no. 4, pp. 4–9, 2024.
- S. L. Sengkey, G. E. Kandiyoh, S. S. Peginusa, and D. Soukotta, "Pengaruh Gradasi Pasir Terhadap Kekuatan Tekan dan Penyerapan Paving Blok Geopolimer," vol. IX, no. 2, pp. 8582–8589, 2024.
- S. N. Indonesia and B. S. Nasional, "Bata beton," 1996.