

Analisis Sifat Mekanis dan Kuat Tekan *Paving Block* dengan Material Campuran *Fly Ash* dan Polipropilena

Fakhrul Siddiq^{1✉}, Rita Nasmirayanti², Rafki Imani^{3✉}

^{1,2,3}Ptodi Teknik Sipil fakultas Teknik Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang

rafimani17@yahoo.co.id

Abstract

This study evaluates the use of fly ash and polypropylene (PP) plastic as alternative composite materials in the production of environmentally friendly paving blocks. Three mix compositions were tested: 1 : 4 : 1, 1.5 : 4 : 1, and 2 : 4 : 1 (fly ash : PP : sand), followed by compressive strength and water absorption tests at 28 days based on SNI 03-0691-1996 standards. Results indicated that the 1.5 : 4 : 1 composition achieved the best performance, with a compressive strength of 11.59 MPa and water absorption of 0.75%, meeting grade D standards. Excessive fly ash addition up to 50% significantly reduced strength due to increased porosity and disrupted particle bonding. The study demonstrates that an optimal combination of fly ash and PP can reduce industrial and plastic waste while producing high-quality paving blocks that support sustainable construction.

Keywords: Fly ash, polipropilena, compressive strength, water absorption

CEC is licensed under a Creative Commons 4.0 International License.



1. Pendahuluan

Paving block merupakan produk beton pracetak yang tersusun dari campuran semen *Portland* atau bahan perekat hidraulik lainnya, air, dan agregat, dengan atau tanpa bahan tambahan lain, sesuai dengan definisi dalam [1]. *Paving block* konvensional yang dibuat dari campuran semen dan pasir ditambah air banyak digunakan secara komersial karena bahan bakunya mudah didapat dan proses produksinya relatif sederhana. Namun, *paving block* jenis ini memiliki kelemahan dari segi bobot yang berat dan sifat yang kaku, sehingga rentan pecah atau patah ketika dipasang di atas pondasi yang tidak rata atau saat menerima beban dinamis.

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, muncul tantangan dalam menghasilkan *paving block* yang lebih ringan namun tetap memiliki mutu mekanik yang baik. Salah satu pendekatan inovatif adalah dengan memanfaatkan *fly ash* dan polipropilena (PP) sebagai bahan campuran alternatif.

Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran batu bara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang mengandung silika, alumina, dan besi, dan memiliki sifat pozzolanik yang dapat meningkatkan kekuatan dan durabilitas beton. Studi menunjukkan menunjukkan bahwa substitusi *fly ash* sebesar 10% dalam *paving block* dapat meningkatkan kuat tekan hingga 27,85 MPa, dan menurunkan daya serap air hingga 6,15%, yang memenuhi mutu B menurut SNI [2].

Di sisi lain, polipropilena (PP) adalah jenis plastik yang ringan, kuat, dan tahan terhadap kelembapan

serta bahan kimia. Limbah PP dari kemasan dan produk sekali pakai menjadi masalah lingkungan karena sulit terurai. Kemudian dalam studi lain juga menunjukkan bahwa penggunaan limbah plastik PET dalam *paving block* dapat meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan terhadap beban dinamis, serta mengurangi emisi karbon melalui pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) [3].

Kombinasi *fly ash* dan polipropilena dalam *paving block* menawarkan solusi berkelanjutan dan ramah lingkungan. *Fly ash* berperan dalam meningkatkan kekuatan dan daya tahan, sementara polipropilena berkontribusi terhadap fleksibilitas dan ketahanan terhadap retak. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa *paving block* dengan campuran *fly ash* memiliki densitas lebih rendah dan kuat tekan lebih tinggi, mencapai 110,04 kg/cm² pada campuran 15% [4-8].

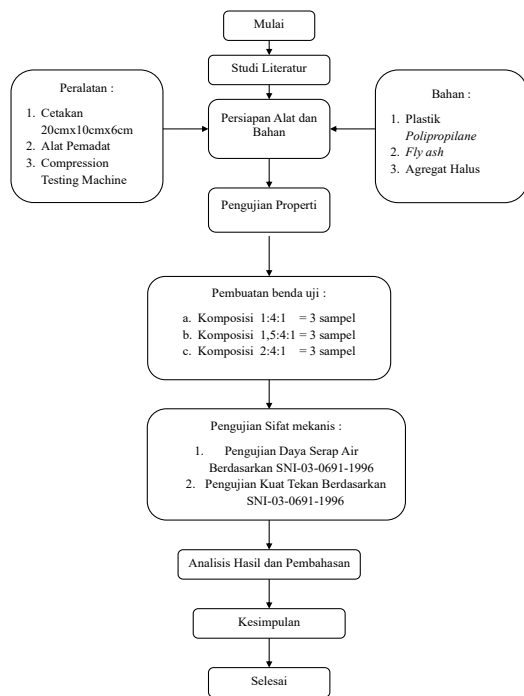
Dengan memanfaatkan kedua bahan tersebut, tidak hanya dapat mengurangi ketergantungan pada semen dan pasir yang semakin mahal, tetapi juga membantu mengurangi limbah industri dan emisi karbon. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat mekanik *paving block* yang dibuat dari campuran *fly ash* dan polipropilena, serta mendukung pengembangan material konstruksi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan [9-15].

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi *fly ash* dan polipropilena terhadap kuat tekan *paving block*. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen langsung terhadap benda uji yang dibuat berdasarkan variasi komposisi

campuran. Komposisi tersebut merupakan variasi komposisi campuran dari *fly ash*-polipropilena-pasir diantaranya adalah, (a) 1 : 4 : 1, (b) 1.5 : 4 : 1, dan (c) 2 : 4 : 1.

Setiap variasi diuji menggunakan 3 sampel paving block, dengan umur pengujian pada 28 hari, sesuai dengan standar pengujian beton ringan. Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengujian Daya Serap Air Paving Block

Pengujian daya serap air dilakukan pada paving block berumur 28 hari dengan tiga variasi formula campuran polipropilena, *fly ash*, dan pasir, yaitu 4:1:1, 4:1,5:1, dan 4:2:1. Setiap formula diuji menggunakan tiga sampel, sehingga total sampel sebanyak sembilan paving block. Pengujian dilakukan melalui metode perendaman selama 24 jam, dengan pengukuran massa kering dan massa setelah perendaman untuk menentukan persentase penyerapan air.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap tiga variasi komposisi campuran polipropilena, *fly ash*, dan pasir, seperti yang dirangkum dalam tabel 1.

Tabel 1. Data daya serap air pada sampel pada paving block pada umur rencana 28 hari

Formula	Sampel	Massa basah (Mb) Gram	Massa kering (Mk) Gram	Daya serap air (%)	Penyerapan air rata-rata (%)
1	1	1652	1643	0.55	0.62
	2	1617	1607	0.62	
	3	1766	1754	0.68	
2	4	1833	1824	0.49	0.75
	5	1818	1806	0.66	
	6	1866	1846	1.08	
3	7	1472	1465	0.48	0.77
	8	1530	1520	0.66	
	9	1625	1606	1.18	

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai penyerapan air rata-rata untuk formula pertama sebesar 0,62%, formula kedua 0,75%, dan formula ketiga 0,77%. Seluruh nilai tersebut berada jauh di bawah batas maksimum yang ditetapkan oleh SNI-03-0691-1996, yaitu 10%, sehingga memenuhi standar kualitas paving block.

Formula pertama (4:1:1) menunjukkan performa terbaik dalam hal daya serap air yang rendah. Hal ini diduga karena kombinasi polipropilena dan *fly ash* menghasilkan struktur paving block dengan pori-pori yang lebih kecil, sehingga menghambat penetrasi air. Rendahnya daya serap air ini berimplikasi positif terhadap kekuatan dan durabilitas paving block, menjadikannya alternatif potensial dalam substitusi semen pada material konstruksi.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving Block

Tabel 2. Data kuat tekan pada sampel pada paving block

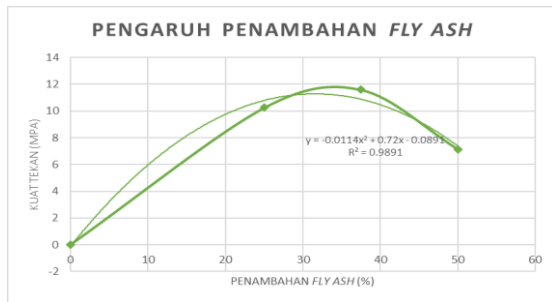
Formula	Sampel	Umur sampel 28 hari		Mutu
		Kuat Tekan (Mpa)	Rata-rata (Mpa)	
1	1	8.85	10.25	D
	2	11.51		
	3	10.38		
2	4	11.86	11.59	D
	5	12.27		
	6	10.66		
3	7	8.36	7.14	
	8	6.04		
	9	7.02		

Pengujian kuat tekan paving block pada umur 28 hari menunjukkan variasi performa berdasarkan komposisi campuran polipropilena, *fly ash*, dan pasir. Formula 1 (4:1:1) dan Formula 2 (4:1,5:1) menghasilkan kuat tekan rata-rata masing-masing sebesar 10,25 MPa dan 11,59 MPa, keduanya memenuhi klasifikasi mutu D sesuai SNI-03-0691-1996. Sebaliknya, Formula 3 (4:2:1) hanya mencapai rata-rata 7,14 MPa, di bawah ambang batas minimum 8,50 MPa.

Penambahan *fly ash* hingga 37,5% dari jumlah polipropilena (Formula 2) terbukti meningkatkan kekuatan mekanik paving block. Namun, peningkatan hingga 50% (Formula 3) justru menurunkan kuat tekan secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh potensi agregasi partikel *fly ash*, peningkatan porositas, dan gangguan pada kontinuitas fase polimer, yang melemahkan struktur komposit. Hal ini seperti yang ditampilkan dalam Gambar 2.

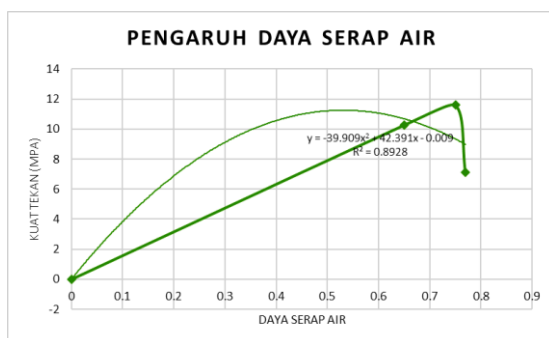
Fly ash yang bersifat halus dan absorbent dapat menyerap panas serta mengganggu proses pencetakan

termoplastik. Ketika jumlah polipropilena tidak mencukupi untuk melapisi seluruh partikel *fly ash*, terbentuk rongga mikro dan zona lemah yang menurunkan integritas struktural *paving block*.



Gambar 2. Pengaruh penambahan *fly ash*

Pada gambar 1 memperlihatkan hubungan antara proporsi penambahan *fly ash* terhadap kuat tekan dari *paving block*, grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* secara bertahap meningkatkan kuat tekan dari *paving block* hingga mencapai nilai kuat tekan maksimum. Ketika penambahan *fly ash* sekitar 37,5%. Setelah mencapai nilai maksimum terjadi penurunan kuat tekan seiring peningkatan proporsi penambahan *fly ash*.



Gambar 3. Pengaruh daya serap air

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara daya serap air terhadap kuat tekan *paving block*, pada grafik tersebut menunjukkan bahwa peningkatan daya serap air berkontribusi terhadap peningkatan kuat tekan, namun setelah mencapai titik optimum, peningkatan lebih lanjut justru menyebabkan penurunan kuat tekan. Hal ini dapat dijelaskan melalui mekanisme porositas internal. Dimana pada kadar air rendah *fly ash* membantu pembentukan struktur mikro yang padat, sedangkan pada kadar air yang tinggi menciptakan rongga dan mengganggu ikatan antar partikel sehingga menurunkan kuat tekan pada *paving block*.

4. Kesimpulan

Dalam Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kombinasi *fly ash* dan polipropilena (PP) sebagai bahan tambahan dalam pembuatan *paving block*, dengan fokus pada peningkatan performa mekanik dan aspek keberlanjutan material konstruksi.

Berdasarkan hasil eksperimen, formula campuran terbaik diperoleh pada komposisi 4:1,5:1 (PP:*fly ash*:pasir), yang menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 11,59 MPa dan daya serap air sebesar 0,75%. Kedua nilai tersebut memenuhi standar mutu D dan ambang batas penyerapan air menurut SNI 03-0691-1996. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen dapat meningkatkan sifat mekanis *paving block*, selama proporsi campuran dijaga secara optimal. Sebaliknya, penambahan *fly ash* secara berlebihan (hingga 50% dari berat PP) menyebabkan penurunan signifikan pada kuat tekan akibat terbentuknya rongga mikro dan ketidakterpaduan antar partikel, serta tidak mencukupinya polipropilena sebagai perekat. Meskipun demikian, seluruh variasi formula tetap menunjukkan daya serap air yang sangat rendah (<1%), sehingga *paving block* yang dihasilkan tetap memiliki ketahanan yang baik terhadap kelembapan.

Ucapan Terimakasih [jika ada]

Terimakasih penulis ucapkan kepada pembimbing penelitian penulis dan untuk semua pihak yang telah banyak membantu, serta terimakasih kepada yayasan YPTK Padang.

Daftar Rujukan

- [1] Badan Standardisasi Nasional, Bata Beton (*Paving Block*), SNI 03-0691-1996, Jakarta: BSN, 1996.
- [2] R. Sudjatmiko and M. Kholis, "Pemanfaatan Fly Ash PLTU dalam Pembuatan Paving Block Ramah Lingkungan," *Jurnal Teknologi Bahan Konstruksi*, vol. 14, no. 2, pp. 45–53, 2022.
- [3] T. Karisma, S. Widodo, and N. Rahayu, "Application of Recycled PET Waste in Paving Block: Mechanical Properties and Life Cycle Assessment," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 1220, no. 1, 012045, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1220/1/012045.
- [4] M. Asrial, Y. Firmansyah, and A. Pradana, "Pengaruh Campuran Fly Ash terhadap Kuat Tekan dan Densitas Paving Block," *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, vol. 18, no. 1, pp. 22–30, 2025.
- [5] P. Chindaprasirt, S. Homwuttiwong, and V. Sirivivatnanon, "Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar," *Cement and Concrete Research*, vol. 34, no. 7, pp. 1087–1092, 2004.
- [6] A. Bilodeau and V. M. Malhotra, "High-volume fly ash system: Concrete solution for sustainable development," *ACI Materials Journal*, vol. 97, no. 1, pp. 41–48, 2000.
- [7] H. Yazıcı, "The effect of silica fume and high-volume class C fly ash on mechanical properties of high-performance concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 22, no. 8, pp. 1587–1591, 2008.
- [8] A. Siddique, "Effect of fine aggregate replacement with fly ash on the mechanical properties of concrete," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 56, pp. 433–438, 2009.
- [9] S. Al-Hadithi and H. Hilal, "The possibility of enhancing some properties of paving blocks by using polypropylene fibers," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 7, pp. 191–201, 2017.

- [10] T. A. Alhozaimy, P. Soroushian, and F. Mirza, "Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic materials," *Cement and Concrete Composites*, vol. 18, no. 2, pp. 85–92, 1996.
- [11] M. K. Kim, S. J. Park, and K. H. Lee, "Evaluation of mechanical performance and durability of polypropylene fiber-reinforced pervious concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 223, pp. 1073–1080, 2019.
- [12] F. M. Khalid, A. R. Aziz, and R. N. Rahman, "Recycling of waste plastic bottles into paving blocks using different mix proportions," *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 9, no. 9, pp. 851–858, 2018.
- [13] M. M. Rahman, A. M. Tarefder, and A. B. Ashraf, "Effect of fly ash and recycled plastic on the mechanical properties of paving blocks," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 30, no. 4, 04018062, 2018.
- [14] S. M. Patil and S. D. Patil, "Utilization of Fly Ash and Plastic Waste in Paver Blocks," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 3171–3176, 2019.
- [15] M. A. Ismail, M. A. Wahab, and H. M. Salleh, "Properties of paver blocks containing polypropylene and fly ash," *Materials Today: Proceedings*, vol. 39, pp. 1006–1011, 2021.