

Analisis Pengaruh Variasi Lama Perendaman Terhadap Porositas dan Daya Serap Air Paving Block dengan Menggunakan Campuran Fly Ash dan Limbah Plastik PET

Sudarno P. Tampubolon^{1*} dan Deviana Pratiwi Munthe²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta, Indonesia; e-mail: sudarno.tampubolon@uki.ac.id

²Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Universitas Negeri Manado, Indonesia

ABSTRAK

Paving block merupakan material konstruksi yang banyak digunakan pada jalan dan area pekarangan. Untuk mengurangi dampak fly ash dan plastik terhadap lingkungan, penelitian ini mengkaji pemanfaatan variasi fly ash dan limbah plastik PET sebagai bahan substitusi semen dan agregat halus dalam pembuatan paving block. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dan pengujian laboratorium melalui pembuatan alat pencacah plastik, pengujian sampel di laboratorium, perencanaan *mix design*, pengecoran, pengujian, dan analisis data. Material campuran yang digunakan adalah plastik PET dan *fly ash* dengan persentase plastik 5% di substitusikan terhadap agregat halus (pasir) dan *fly ash* 5%, 10%, 15%, dan 20%, yang disubstitusikan terhadap semen. Pengujian porositas dan daya serap air paving block dilakukan pada perendaman 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Hasil pengujian di peroleh nilai porositas berada pada 13% dengan daya serap air 7.1% pada substitusi campuran *fly ash* 20% dan plastik 5% dengan mutu paving block berada pada kelas C dengan kualitas paving baik dengan lama perendaman 28 hari. Paving block dengan campuran plastik dan fly ash memiliki daya serap air yang lebih rendah jika dibandingkan dengan paving normal, karena sifat plastik yang hidrofobik. Variasi lama perendaman hanya memberikan pengaruh minimal pada paving berbahan plastik, sedangkan pada paving normal peningkatan serapan lebih signifikan akibat struktur pori yang lebih terbuka.

Kata kunci: Limbah plastik (PET), fly ash, porositas, penyerapan, paving block

ABSTRACT

Paving blocks are widely utilized as construction materials for roadways and yard pavements. In an effort to mitigate the environmental impact of fly ash and plastic waste, this study investigates the incorporation of fly ash and PET plastic waste as partial substitutes for cement and fine aggregates in paving block production. The research methodology combines a literature review with experimental laboratory work, including the fabrication of a plastic shredding device, material testing, mix design formulation, specimen casting, curing, and data analysis. The mixture composition consists of 5% PET plastic as a replacement for fine aggregate (sand) and fly ash variations of 5%, 10%, 15%, and 20% as a partial substitute for cement. Porosity and water absorption tests were conducted after curing periods of 7, 14, 21, and 28 days. The results indicate that the optimal mixture, containing 20% fly ash and 5% plastic, produced a porosity value of 13% and water absorption of 7.1%, meeting the criteria for Class C paving blocks at 28 days with acceptable performance. Furthermore, paving blocks incorporating plastic and fly ash exhibited lower water absorption compared to conventional paving blocks, primarily due to the hydrophobic characteristics of plastic materials. The variation in immersion duration showed only a minor influence on the modified paving blocks, whereas conventional paving blocks demonstrated a more significant increase in absorption, attributed to their relatively higher and more interconnected pore structure.

Keywords: Waste plastic (PET), fly ash, porosity, absorption, paving block

Citation: Tampubolon, S. P. dan Munthe, D. P. (2026). Analisis Pengaruh Variasi Lama Perendaman Terhadap Porositas dan Daya Serap Air Paving Block dengan Menggunakan Campuran Fly Ash dan Limbah Plastik PET. Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(5), 1150-1159, doi:10.14710/jil.24.5.1150-1159

1. PENDAHULUAN

Plastik merupakan salah satu sampah non-organik yang sulit untuk terurai dan dapat menimbulkan berbagai masalah pada lingkungan. Ketika sampah plastik di buang sembarangan dan tidak dilakukan

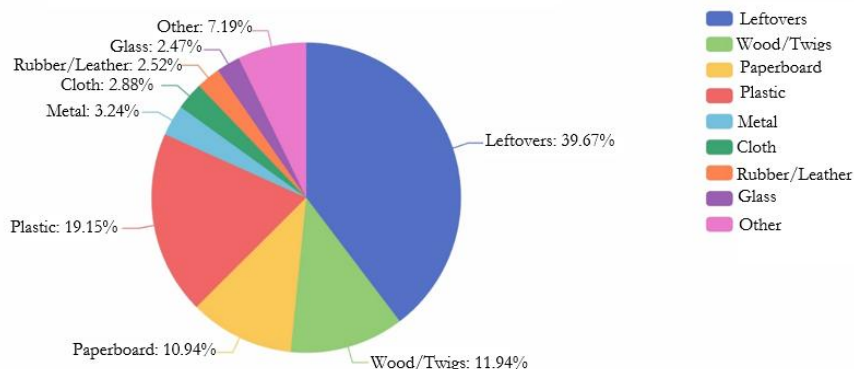
pengolahan, maka sampah plastik tersebut akan mencemari lingkungan karena limbah plastik merupakan non-biodegradable yang sulit terurai di alam sehingga akan bertahan sangat lama di lingkungan dan menumpuk. Berdasarkan data tahun

(2019-2024) jumlah persentase komposisi sampah di Indonesia terdiri dari sisa makanan (39,65%), plastik (19,21%), kayu/ ranting (12,09%), kertas/ karton (10,83%), logam (3,24%), kain (2,91%), karet/ kulit (2,53%), kaca (2,46%), dan lainnya (7,08%). Dari data tersebut terlihat bahwa sampah plastik merupakan jenis sampah yang persentase nya cukup tinggi di Indonesia mencapai 19,15 % dengan posisi ke dua tertinggi, untuk itu proses pengolahan dan daur ulang limbah plastik harus segera dilakukan. Gambar 1 menunjukkan persentase dari komposisi sampah berdasarkan jenis sampah.

Peningkatan penggunaan plastik sekali pakai menyebabkan akumulasi sampah sulit untuk ditangani, terutama pada wilayah perkotaan yang padat penduduk seperti Jakarta. Apabila tidak diolah dengan baik, sampah plastik akan menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, kesehatan, dan ekonomi. Dari sisi lingkungan, plastik yang menumpuk di daratan dapat menurunkan kualitas tanah dan air tanah akibat pelepasan senyawa kimia berbahaya seperti bisfenol A (BPA) dan phthalates (Sajjad et al., 2022; Teuten et al., 2009) (Laz Persis, 2023). Di perairan, plastik terfragmentasi menjadi mikroplastik yang termakan oleh biota laut dan berpotensi masuk ke rantai makanan manusia (De-la-Torre, 2020; Khan et al., 2024). Penelitian menunjukkan bahwa plastik di laut juga memicu kerusakan ekosistem melalui entanglement, ingestion, dan penyebaran spesies invasif (Lebreton et al., 2017; Rochman et al., 2013).

Selain itu, dampak kesehatan manusia semakin nyata. Mikro dan nano-plastik dapat menimbulkan stres oksidatif, inflamasi, gangguan hormon, hingga risiko gangguan metabolisme (Prata et al., 2020). Studi terbaru bahkan mengaitkan paparan mikroplastik prenatal dengan peningkatan risiko bayi lahir dengan berat badan rendah, yang diperkirakan mencapai lebih dari 200.000 kasus per tahun secara global (Bao et al., 2023). Secara global, produksi hingga pembakaran plastik diperkirakan menyumbang 3–14% emisi gas rumah kaca pada tahun 2050 (Zheng &

Suh, 2019). Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan plastik bukan hanya isu lingkungan, tetapi juga tantangan serius bagi kesehatan masyarakat dan pembangunan berkelanjutan. Dengan berbagai dampak tersebut, pengelolaan sampah plastik melalui pendekatan sirkular seperti daur ulang, pemanfaatan kembali, dan inovasi material ramah lingkungan menjadi sangat penting untuk keberlanjutan ekosistem dan kualitas hidup manusia. Penanganan sampah plastik yang dilakukan dengan konsep 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) merupakan cara yang populer dalam mengelola sampah plastik (Hutabarat & Mulyani, 2022; Mohammed et al., 2021; Pandiyarajan et al., 2022). *Reduce* berarti mengurangi penggunaan dan pembelian barang berbahan plastik, terutama yang sekali pakai. *Reuse* berarti menggunakan kembali barang bekas sebagai kerajinan tangan, seperti botol plastik, plastik, dan kertas. *Recycle* berarti mendaur ulang sampah plastik sehingga memiliki produk nilai guna (Irwan et al., 2022; Mafulah et al., 2021; Triawan et al., 2018). Berbagai penelitian lainnya juga mengeksplorasi pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan campuran dalam pembuatan paving block. Pendekatan yang dipelajari diantaranya (1) substitusi sebagian agregat halus/ kasar dengan cacahan plastik, (2) penggunaan plastik yang dilelehkan sebagai bahan pengikat (*plastic-sand* blocks), yang menggantikan sebagian semen (3) kombinasi plastik dengan bahan tambahan seperti serat basalt atau abu sisa industri untuk meningkatkan kinerja mekanik. Hasil penelitian menunjukkan potensi pengurangan penggunaan semen dan agregat halus serta pengurangan jejak karbon pada beberapa komposisi, walaupun pengaruh terhadap kuat tekan dan daya tahan dipengaruhi oleh jenis plastik, rasio campuran, serta proses produksi (Iftikhar, Alih, Vafaei, Ali, et al., 2023; Iftikhar, Alih, Vafaei, Javed, et al., 2023). Menurut SNI 03-0691-1996, paving block di klasifikasikan berdasarkan kuat tekan dan daya serap air, sebagaimana di tunjukkan Tabel 1.



Gambar 1. Persentase Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah
(Sumber. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)-Data Pengelolaan sampah)

Tabel 1. Klasifikasi Paving Block Berdasarkan SNI 03-0691-1996

Mutu Paving Block	Kuat Tekan (MPa)		Penyerapan air rata-rata maks (%)	Penggunaan
	Rata-rata	Min		
A	40	35	3	Jalan raya, area dengan beban sangat berat (pelabuhan, bandara)
B	20	17.0	6	Jalan dengan beban sedang (jalan lingkungan, jalan komplek, parkir)
C	15	12.5	8	Trotoar dan area pejalan kaki
D	10	8.5	10	Area taman, halaman rumah, atau area dengan beban ringan

Beberapa penelitian juga menyebutkan, bahwa paving block berbasis *plastik-sand* (tanpa atau dengan sedikit semen), (Iftikhar et al., 2024; Rajan et al., 2025; Tempa et al., 2022) mampu mencapai kekuatan yang memadai untuk area lalu lintas rendah hingga sedang bila komposisi dan proses dikendalikan, sedangkan penelitian yang lain juga menemukan penurunan kuat tekan bila plastik hanya dicampurkan sebagai pengganti agregat halus dalam campuran beton terutama pada fraksi plastik yang tinggi, sehingga diperlukan optimasi proporsi dan perlakuan permukaan agregat plastik yang tepat. Di samping itu, kajian LCA (life cycle assessment) dan analisis ekonomi awal menunjukkan potensi pengurangan emisi CO₂ dan biaya jika limbah plastik dapat dimanfaatkan secara lokal dan skala produksi disesuaikan (Agrawal et al., 2023; Fauzan et al., 2023). Sejumlah penelitian dan pengabdian masyarakat di Indonesia telah mengembangkan metode pembuatan paving block dari limbah PET, LDPE, dan campuran plastik rumah tangga, serta mengevaluasi aspek teknis dan sosial ekonominya. Namun, ada kebutuhan penelitian yang lebih sistematis dan terdokumentasi untuk: (a) menentukan batas persentase plastik dan fly ash yang aman agar mutu paving block memenuhi standar, (b) mengevaluasi ketahanan jangka panjang terhadap cuaca dan abrasi, (c) menetapkan prosedur proses (pencucian, pencacahan, peleburan/pengikatan) yang dapat diterapkan di skala industri kecil-menengah, dan (d) melakukan analisis siklus hidup dan biaya yang komprehensif khusus untuk kondisi Indonesia (Agyeman et al., 2019; Hardinsi et al., 2022; Mahagadha et al., 2023). Pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) menghasilkan limbah berupa abu terbang (*fly ash*) yang menjadi ancaman terhadap lingkungan akibat dari jumlah *fly ash* terus meningkat dan tidak ditanganani dengan tepat, sehingga berpotensi mencemari lingkungan karena partikel halus yang dihasilkan ketika proses pembakaran batubara terlepas ke udara. *Fly ash* memiliki kandungan silika yang tinggi, berkisar 40-60%, yang bisa digunakan kembali untuk menjadi

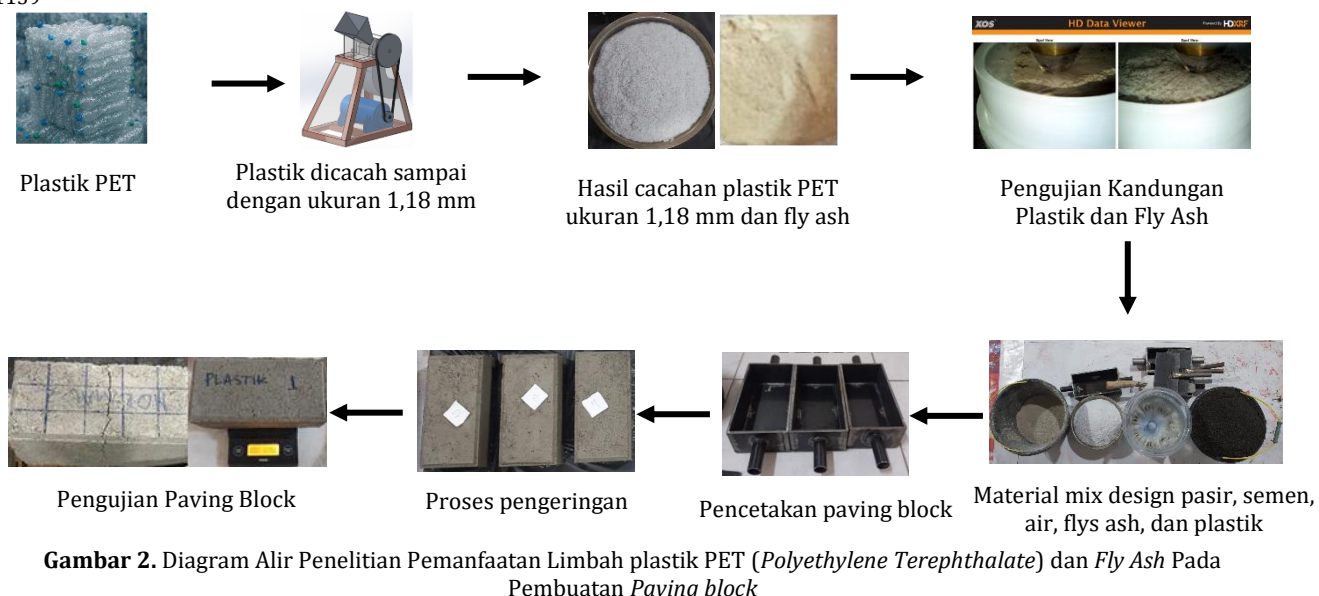
bahan baku pembuatan kaca, semen, keramik, dan elektronik (Chinara Abinawa & Alieftiyani Paramita Gobel, 2024). *Fly ash* termasuk limbah non B3 yang bisa dimanfaatkan secara maksimal penggunaannya menjadi salah satu campuran beton yang memberikan dampak baik pada lingkungan dan mendukung prinsip pembangunan yang berkelanjutan (Ashad et al., 2020; Rahmadini Utami & Eka Murtinugraha, 2023).

Berdasarkan pengertian dan penjelasan dari pentingnya pembuatan paving block ramah lingkungan dengan material plastik sebagai pengganti agregat halus serta limbah *fly ash* yang dapat digunakan sebagai pengganti agregat semen (Lestari Riyandini et al., 2024), maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah pengaruh kuat tekan dan daya serap air paving block akibat substitusi *fly ash* dengan semen dan substitusi plastik dengan pasir.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan limbah plastik PET (Polyethylene Terephthalate) dan fly ash sebagai bahan campuran pembuatan paving block yang ramah lingkungan dengan fokus pada (1) komposisi dan ukuran cacahan plastik (penggantian agregat), (2) pengujian daya serap air (*water absorption*) dan *porosity* sesuai dengan SNI. Dengan menggabungkan hasil pengujian laboratorium dan studi literatur, diharapkan penelitian ini dapat memberikan rekomendasi teknis dan praktik produksi yang dapat meningkatkan nilai tambah dari limbah plastik dan *fly ash* yang memenuhi persyaratan mutu beton B, C, dan D untuk aplikasi penggunaan pada pedestrian, area parkir, dan trotoar.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode pengujian laboratorium melalui serangkaian tahapan, dimulai dari survei lapangan, pembuatan alat pencacah plastik, pengujian sampel di laboratorium, perencanaan *mix design*, pengecoran, pengujian, analisis data, hingga penyusunan laporan. Diagram alir proses penelitian yang dilaksanakan dapat dilihat seperti pada Gambar 2.



Tabel 2. Komposisi Campuran Material Pembuatan Paving Block dengan Campuran plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan Fly Ash

Jumlah Sampel (buah)	Persentase (%)		Berat (kg)		Semen (kg)	Agregat Halus/ Pasir (kg)	Air (kg)
	Plastik	Fly Ash	Plastik	Fly Ash			
12	0	0	0	0	4.32	25.53	2.98
12	5	5	0.0127	0.216	4.104	25.518	2.98
12		10	0.0127	0.432	3.888	25.518	2.98
12		15	0.0127	0.648	3.672	25.518	3.9744
12		20	0.0127	0.864	3.456	25.518	2.98

2.1. Komposisi Campuran Pembuatan Paving Block (*Mix Design*)

Limbah plastik PET dicacah hingga mencapai ukuran maksimum 1,18 mm (lolos ayakan No. 16) untuk memperoleh ukuran partikel yang relatif mendekati fraksi agregat halus. Pemilihan ukuran tersebut dimaksudkan untuk meningkatkan homogenitas distribusi plastik dalam campuran serta mengendalikan gradasi material pengganti pasir. Penggunaan ukuran partikel yang terkendali juga diharapkan dapat meminimalkan terbentuknya rongga akibat perbedaan ukuran butir dan meningkatkan konsistensi campuran paving block, (Alam et al., 2025). Setelah proses pencacahan selesai dilakukan maka selanjutnya dilakukan analisis *mix design* (desain komposisi campuran). Desain komposisi campuran dilakukan berdasarkan standar SNI untuk mendapatkan proporsi setiap material campuran yang digunakan, (A, 2018; Difo Alfindo & Rita Nasmirayanti, 2022; Hakim et al., 2021; SNI 03-2834-2000, 2000; SNI 7656:2012, 2012; Sukardi et al., 2022). Tabel 3 menunjukkan komposisi campuran material pembuatan *paving block* dengan proporsi substitusi plastik PET sebesar 5% dari agregat halus dan *fly ash* sebesar 5%-20% dari agregat semen.

Pencetakan/ pembuatan *paving block* dilakukan untuk 60 buah sampel dengan penambahan campuran plastik dan fly ash. Sebelum dilakukan pencetakan maka semua material pasir, semen, plastik cacahan, dan air sudah dipersiapkan terlebih dahulu sesuai dengan hasil analisis *mix design*, (Foulhudan et al.,

2022). Gambar 3 menunjukkan hasil pencetakan *paving block* yang dilakukan di laboratorium. Setelah proses pencetakan *paving block* maka akan dilakukan pengeringan *paving block* dengan suhu ruangan 26-28 °C. Paving block yang sudah dicetak kemudian didinginkan sampai mengeras merata. Proses pengkondisian paving block plastik ini sekitar 1 hari (24 jam) (Badan Standardisasi Nasional, 1996).

2.2. Pengujian Daya Serap Air dan Massa Jenis

Adapun tujuan dari pengujian daya serap ini adalah untuk mengukur ketahanan terhadap cuaca dan lingkungan, mengecek kualitas campuran, menentukan tingkat kepadatan dan kekuatan dari *paving block*, serta mendukung keberlanjutan dari pengembangan campuran material (abu sekam padi) yang digunakan. *Paving block* dengan daya serap air yang baik cenderung memiliki persentase yang lebih rendah, (Badan Standardisasi Nasional, 1996; Wajdi et al., 2023). Rentang ini penting karena *paving block* sering digunakan untuk area yang terbuka dan terkena air hujan langsung. Daya serap yang rendah membantu *paving block* tetap kuat dan tahan terhadap pelapukan serta kerusakan akibat perubahan suhu. Analisa perhitungan daya resap *paving block* digunakan dengan rumus:

$$\text{Daya Serap Air (\%)} = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

dimana:

W_1 = Berat *Paving Block* dalam kondisi kering (kg).

W_2 = Berat *Paving Block* dalam kondisi basah (kg).



Gambar 3. Hasil Pencetakan dan Curing *Paving Block* dengan Menggunakan Campuran Plastik PET dan *Fly Ash*

Tabel 4 Hasil Pengujian Kandungan Kimia *Fly Ash*

No	Element	Concentration/ppm	%
1	Si (14)	215606	21.56
2	Fe (26)	73003	7.30
3	Ca (20)	71148	7.12
4	Al (13)	53502	5.35
5	K (19)	7972	0.80
6	P (15)	5643	0.56
7	Ti (22)	4831	0.48
8	S (16)	1517	0.15
9	Mn (25)	1091	0.11

Tabel 5. Hasil Pengujian Kandungan Kimia Plastik

No	Element	Concentration/ppm	%
1	Si (14)	27143	2.7143
2	Al (13)	11774	1.1774
3	Ca (20)	8601	0.8601
4	Fe (26)	2124	0.2124
5	P (15)	1299	0.1299
6	S (16)	311	0.0311
7	Sb (51)	234	0.0234
8	Ti (22)	146	0.0146
9	Cl (17)	125	0.0125

Untuk menentukan nilai massa jenis paving block dapat dihitung dengan:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

dengan:

ρ = Massa jenis (kg/cm³ atau (kg/m³)

m = Massa benda (kg)

V = Volume benda (cm³)

2.3. Pengujian Porosity

Porositas spesimen paving block ditentukan dengan mengukur berat kering dan berat jenuh setelah 24 jam perendaman air. Nilai porositas dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{W_b - W_k}{V \times \rho_{water}} \times 100\% \quad (3)$$

di mana P adalah porositas (%), W_b adalah berat jenuh, W_k adalah berat kering oven, V adalah volume spesimen, dan ρ_{water} merupakan massa jenis air.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Kandungan *Fly Ash* dan Plastik

Pengujian kandungan unsur kimia fly ash dan plastik dilakukan di Pusat Laboratorium Forensik Polri (PUSLABFOR) dengan menggunakan HDXRF. Hasil pengujian menunjukkan bahwa unsur kimia silikon memiliki persentase kandungan terbesar yaitu 215.606 ppm atau sekitar 21,56% dimana unsur silikon ini dapat mengikat oksigen sehingga membentuk unsur SiO₂ (Silikon dioksida/ silika) yang bisa meningkatkan kuat tekan dan daya tahan (durabilitas) beton. Beberapa jenis unsur kimia lainnya yang di kandung oleh fly ash dapat dilihat pada Tabel 4.

Dari hasil pengujian kandungan kimia plastik PET didapatkan hasil bahwa unsur kimia silikon memiliki persentasi yang terbanyak sebesar 27.143 ppm sekitar 2,7% diikuti dengan unsur kimia Al dengan nomor unsur 13 sebesar 11.774 ppm sekitar 1,17% dan beberapa jenis unsur kimia lain yang di kandung dapat di lihat pada Tabel 5.

Dari hasil pengujian kandungan kimia yang dilakukan pada fly ash dan plastik diperoleh bahwa silikon memiliki persentase kandungan terbesar sebesar 21,56% dan 2,7%. Hal ini menunjukkan kandungan yang sama juga dengan kandungan kimia semen untuk silika sebesar 17–25%. Dari hasil ini menunjukan bahwa plastik, fly ash dan semen akan

berikatan dengan baik dan mampu mempengaruhi kuat tekan dan daya serap air paving block.

3.2. Analisis Daya Serap Air pada Paving Block

Berdasarkan pada Tabel 6. Dapat di lihat hasil pengujian daya serap air pada lama perendaman paving block 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Dari data hasil pengujian daya serap air yang dilakukan pada semua lama perendaman paving block menunjukkan penurunan daya serap air yang ditambahkan cacahan plastik sebagai pengganti agregat halus/ pasir, dimana paving block yang ditambahkan cacahan plastik sebesar 5% memiliki penyerapan air yang lebih rendah daripada paving block normal, substitusi *fly ash* 5%-20% juga membuat hasil penyerapan dari paving block berbeda, dimana daya serap airnya menunjukkan penurunan seiring bertambahnya jumlah persentasi *fly ash*. Dari hasil pengujian daya serap yang dilakukan diperoleh nilai daya serap air berada pada 7.1%-11.07%.

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian yang dilakukan dengan substitusi semen dengan *fly ash* sebesar 5%-20% dan substitusi agregat halus dengan plastik sebesar 5% diperoleh nilai daya serap air terkecil berada pada paving block umur 28 hari dengan kadar *fly ash* 20% dan plastik 5% dengan daya serap air sebesar 7.1% dimana paving block berada pada mutu C, dengan standart daya serap air

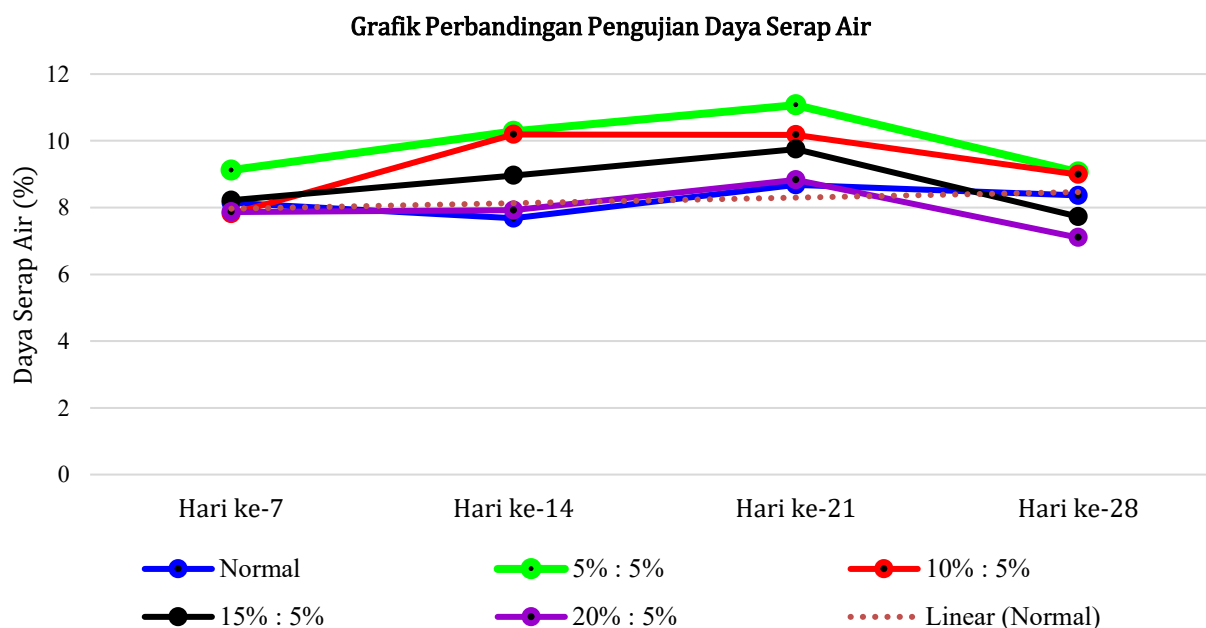
maksimum $\leq 8\%$, hal ini membuktikan bahwa penambahan *fly ash* dan plastik sebagai pengganti sebagian dari semen dan pasir memberikan pengaruh terhadap daya serap air pada paving block. Sedangkan nilai dari massa jenis paving block berada pada 1771-1958 kg/m³ yang masih berada pada massa jenis paving block dengan campuran plastik PET ± 1800 -2100 kg/m³. Gambar 4 menunjukkan hasil dari daya serap air paving block pada perendaman 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari.

3.3. Analisis Porosity pada Paving Block

Berdasarkan pada Tabel 7. Dapat di lihat hasil pengujian *porosity* pada perendaman paving block 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Dari data hasil pengujian *porosity* yang dilakukan pada semua umur paving block menunjukkan penurunan *porosity* yang ditambahkan cacahan plastik sebagai pengganti agregat halus/ pasir, dimana paving block yang ditambahkan cacahan plastik sebesar 5% memiliki *porosity* yang lebih rendah daripada paving block normal, substitusi *fly ash* 5%-20% juga membuat hasil *porosity* dari paving block berbeda, dimana *porosity* menunjukkan penurunan seiring bertambahnya jumlah persentasi *fly ash*. Dari hasil pengujian yang dilakukan diperoleh nilai *porosity* berada pada 13%-18%.

Tabel 6. Hasil Pengujian Daya Serap Air Paving Block

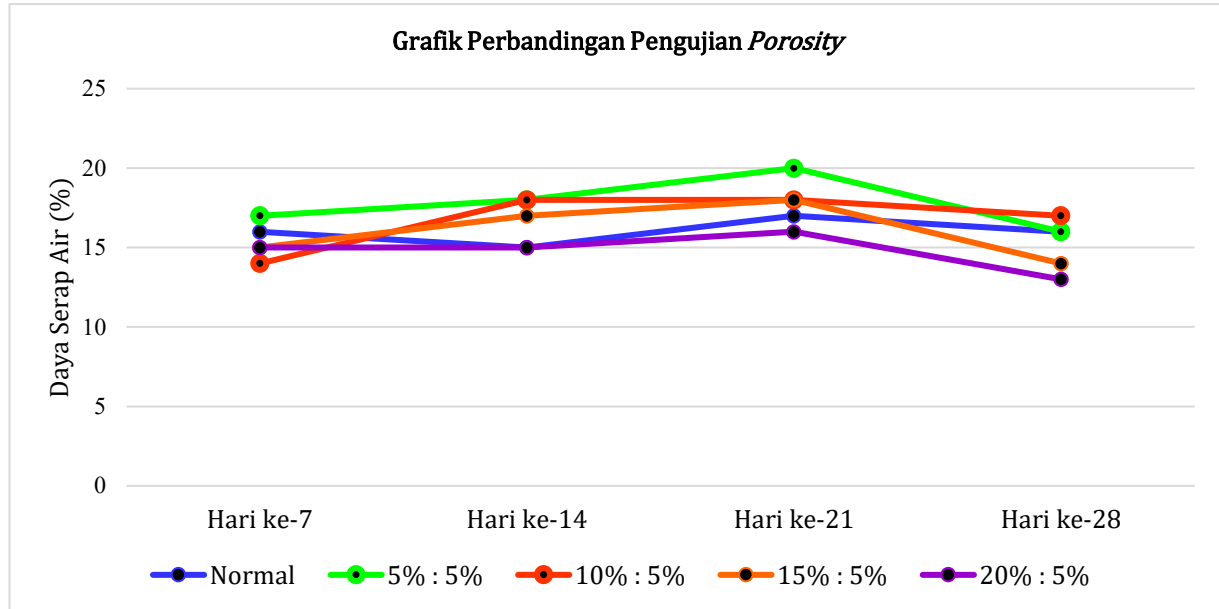
Variasi/ Sampel	Hari ke-7		Hari ke-14		Hari ke-21		Hari ke-28	
	Daya Serap (%)	Massa Jenis (ρ) kg/m ³	Daya Serap (%)	Massa Jenis (ρ) kg/m ³	Daya Serap (%)	Massa Jenis (ρ) kg/m ³	Daya Serap (%)	Massa Jenis (ρ) kg/m ³
Normal	8.14	1911	7.68	1974	8.68	1922	8.36	1958
5%: 5%	9.12	1813	10.28	1782	11.07	1793	9.06	1807
10%: 5%	7.81	1847	10.19	1771	10.18	1806	8.99	1856
15%: 5%	8.22	1842	8.96	1844	9.75	1824	7.73	1833
20%: 5%	7.87	1890	7.92	1929	8.83	1857	7.1	1896



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Daya Serap Air pada Paving Block

Tabel 7. Hasil Pengujian *Porosity* Paving Block

Variasi/ Sampel	Hari ke-7		Hari ke-14		Hari ke-21		Hari ke-28	
	<i>Porosity</i> (%)	Massa Jenis (ρ) kg/m ³	<i>Porosity</i> (%)	Massa Jenis (ρ) kg/m ³	<i>Porosity</i> (%)	Massa Jenis (ρ) kg/m ³	<i>Porosity</i> (%)	Massa Jenis (ρ) kg/m ³
Normal	16	1911	15	1974	17	1922	16	1958
5%: 5%	17	1813	18	1782	20	1793	16	1807
10%: 5%	14	1847	18	1771	18	1806	17	1856
15%: 5%	15	1842	17	1844	18	1824	14	1833
20%: 5%	15	1890	15	1929	16	1857	13	1896

**Gambar 5.** Grafik Hasil Pengujian *Porosity* pada Paving Block

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian yang dilakukan dengan substitusi semen dengan *fly ash* sebesar 5%-20% dan substitusi agregat halus dengan plastik sebesar 5% diperoleh nilai *porosity* terkecil berada pada paving block umur 28 hari dengan kadar *fly ash* 20% dan plastik 5% dengan *porosity* 13% dimana paving block berada pada kualitas baik, dengan standart *porosity* masih berada pada (10-15%), hal ini membuktikan bahwa penambahan *fly ash* dan plastik sebagai pengganti sebagian dari semen dan pasir memberikan pengaruh terhadap *porosity* pada paving block.

3.4. Hubungan Antara Daya Serap Air dan *Porosity*

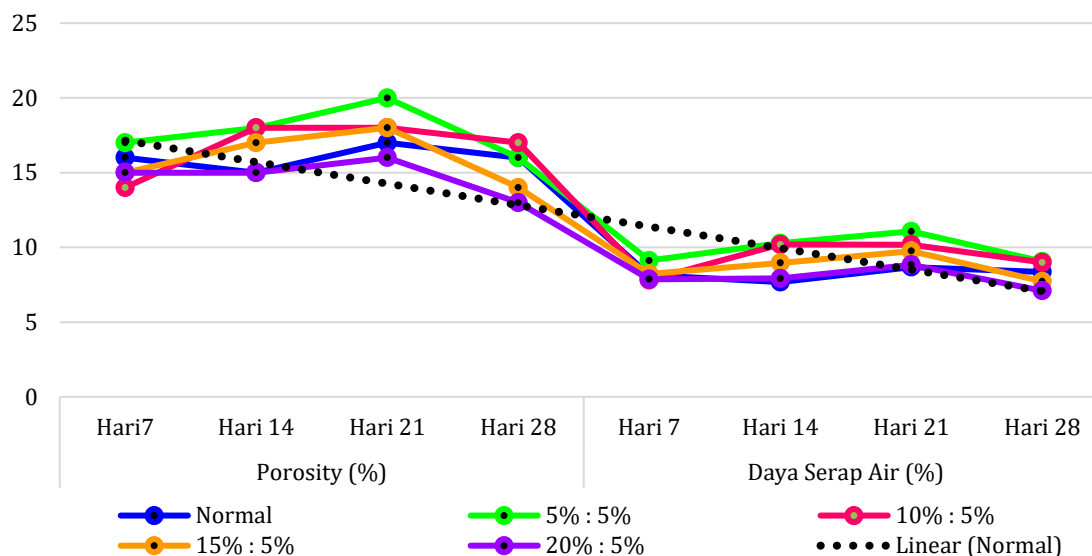
Hubungan antara porositas dan penyerapan air merupakan parameter penting dalam mengevaluasi kualitas paving block. Porositas yang lebih tinggi umumnya menyebabkan penyerapan air yang lebih tinggi karena peningkatan volume rongga di dalam material (Rangan et al., 2025). Akibatnya, kekuatan tekan menurun karena pori-pori internal mengurangi kepadatan dan ikatan matriks. Oleh karena itu, paving

block dengan porositas dan penyerapan air yang lebih rendah cenderung menunjukkan kekuatan tekan yang lebih tinggi dan daya tahan yang lebih baik (Subashi De Silva & Priyamali, 2022).

Pada Tabel 8, dapat dilihat hasil pengujian daya serap air dan *porosity* paving block pada perendaman 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Dari data hasil pengujian daya serap air dan *porosity* yang dilakukan pada semua umur paving block menunjukkan penurunan pada substitusi cacahan plastik sebagai pengganti agregat halus/ pasir sebesar 5% dan substitusi *fly ash* dengan semen sebesar 5-20% memiliki penyerapan air dan *porosity* yang lebih rendah daripada paving block normal, nilai daya serap dan *porosity* terendah berada pada usia paving block 28 hari dengan nilai daya serap 7.1% dan *porosity* 13%. Penggunaan *fly ash* 20% dan plastik 5% pada campuran paving block mempengaruhi sifat karakteristik fisik dan kimia campuran yang mampu menurunkan porositas dan penyerapan air yang lebih rendah, (Diana & Fansuri, 2020; Sawant et al., 2025).

Tabel 8. Hasil Pengujian Daya Serap Air dan *Porosity* Paving Block

Variasi/ Sampel	Hari ke-7		Hari ke-14		Hari ke-21		Hari ke-28	
	Daya Serap (%)	Porosity (%)	Daya Serap (%)	Porosity (%)	Daya Serap (%)	Porosity (%)	Daya Serap (%)	Porosity (%)
Normal	8.14	16	7.68	15	8.68	17	8.36	16
5%: 5%	9.12	17	10.28	18	11.07	20	9.06	16
10%: 5%	7.81	14	10.19	18	10.18	18	8.99	17
15%: 5%	8.22	15	8.96	17	9.75	18	7.73	14
20%: 5%	7.87	15	7.92	15	8.83	16	7.1	13



Gambar 6. Grafik Hubungan Daya Serap Air dan *Porosity* pada Paving Block

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian yang dilakukan dengan substitusi semen dengan *fly ash* sebesar 5%-20% dan substitusi agregat halus dengan plastik sebesar 5% diperoleh nilai daya serap air dan *porosity* terkecil jika di dibandingkan dengan paving block normal, dimana nilai dari daya serap dan *porosity* paving block normal pada usia 28 hari memiliki nilai 8.36% dan 16%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa paving block normal memiliki nilai porositas pada kisaran (15–20%), yang menunjukkan struktur pori relatif lebih tinggi dibandingkan paving block dengan campuran 20% *fly ash* dan 5% plastik PET yang memiliki porositas pada kisaran (10–15%). Penurunan porositas tersebut menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* pada kadar 20% berkontribusi terhadap pembentukan struktur matriks yang lebih padat. Partikel *fly ash* yang berukuran relatif halus dapat mengisi rongga di antara partikel semen dan agregat melalui mekanisme *filler effect*, sehingga volume rongga dalam campuran dapat berkurang. Selain itu, kandungan silika dan alumina reaktif dalam *fly ash* dapat mengalami reaksi *pozzolanik* dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen dan menghasilkan produk hidrasi tambahan, terutama *calcium silicate hydrate* (C-S-H), yang dapat mengisi dan mempersempit pori kapiler pada matriks semen. Penurunan porositas tersebut berhubungan langsung dengan penurunan penyerapan air (*water absorption*). Semakin kecil volume dan konektivitas pori yang terbentuk dalam paving block, semakin

sedikit ruang yang tersedia untuk masuk dan tersimpannya air. Dengan demikian, campuran yang memiliki struktur lebih padat cenderung menunjukkan nilai penyerapan air yang lebih rendah. Dalam penelitian ini, penurunan porositas dari kisaran 15–20% pada paving block normal menjadi 10–15% pada campuran 20% *fly ash* dan 5% plastik PET menunjukkan adanya perbaikan kepadatan struktur internal paving block. Meskipun demikian, pengaruh *fly ash* terhadap porositas dan penyerapan air tidak selalu bersifat linear terhadap peningkatan persentase substitusi. Efektivitas *fly ash* dipengaruhi oleh kehalusan dan karakteristik kimianya, rasio air terhadap bahan pengikat, kondisi pemadatan, serta proses dan umur curing. Pada kadar yang terlalu tinggi, *fly ash* yang tidak bereaksi secara optimal dapat meningkatkan kebutuhan air atau menghasilkan distribusi partikel yang kurang efektif sehingga berpotensi meningkatkan kembali porositas. Oleh karena itu, kadar 20% *fly ash* dalam penelitian ini dapat dinyatakan sebagai kadar yang memberikan kinerja terbaik berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh. Selain pengaruh *fly ash*, keberadaan plastik PET sebesar 5% juga perlu dipertimbangkan dalam interpretasi hasil karena campuran tersebut merupakan kombinasi dua material substitusi. Oleh sebab itu, penurunan porositas dan penyerapan air pada campuran 20% *fly ash* + 5% PET lebih tepat diinterpretasikan sebagai hasil interaksi antara pengisian rongga oleh partikel halus *fly ash*,

pembentukan produk hidrasi akibat reaksi *pozzolanik*, serta perubahan susunan dan distribusi pori akibat keberadaan PET. Korelasi antara penurunan porositas dan penyerapan air menunjukkan bahwa campuran tersebut memiliki struktur internal yang relatif lebih rapat dibandingkan paving block normal. Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan antara daya serap air dengan *porosity* paving block, dimana dari hasil analisis diperoleh bahwa nilai daya serap rendah maka nilai *porosity* juga akan rendah, begitu juga sebaliknya.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada analisis pengaruh lama perendaman pada campuran *fly ash* dan plastik diperoleh kesimpulan dimana paving block pada usia 28 hari dengan menggunakan campuran *fly ash* 20% dan plastik 5% memiliki nilai *porosity* 13% dan daya serap air 7.1% dengan kualitas paving baik mutu C. Nilai ini jika di bandingkan dengan paving normal yang memiliki nilai *porosity* 16% dan daya serap 8.36% dengan kualitas paving sedang. Dari hasil ini menunjukkan bahwa campuran *fly ash* dan plastik pada pembuatan paving block mampu menurunkan daya serap dan *porosity* dan kualitas paving block lebih baik dari paving normal.

DAFTAR PUSTAKA

- A, Arman. (2018). Kajian Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Standar SNI 7656-2012 dan ASTM C 136-06. *Rang Teknik Journal*, 1(2). <https://doi.org/10.31869/rtj.v1i2.760>
- Agrawal, R., Singh, S. K., Singh, S., Prajapat, D. K., Sudhanshu, S., Kumar, S., Āurin, B., Śrajbek, M., & Gilja, G. (2023). Utilization of Plastic Waste in Road Paver Blocks as a Construction Material. *CivilEng*, 4(4). <https://doi.org/10.3390/civileng4040058>
- Agyeman, S., Obeng-Ahenkora, N. K., Assiamah, S., & Twumasi, G. (2019). Exploiting recycled plastic waste as an alternative binder for paving blocks production. *Case Studies in Construction Materials*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00246>
- Alam, P., Mazhar, M. A., Verma, M., Farooq, U., & Khan, A. H. (2025). Analysis of concrete properties with partial sand replacement by recycled plastic and its cost-benefit evaluation. *Frontiers in Materials*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmats.2025.1719644>
- Ashad, H., Supardi, S., Mappiasse, A., Zhahir, A. M. I., & Surya, D. P. (2020). Pemanfaatan Limbah Pembakaran Batu Bara Sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 5(1), 76–83. <https://doi.org/10.33096/jtsm.v5i1.391>
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). *SNI 03-0691-1996: Bata Beton (Paving Block)*.
- Bao, M., Xiang, X., Huang, J., Kong, L., Wu, J., & Cheng, S. (2023). Microplastics in the Atmosphere and Water Bodies of Coastal Agglomerations: A Mini-Review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 20, Number 3). <https://doi.org/10.3390/ijerph20032466>
- Chinara Abinawa, & Alieftiyani Paramita Gobel. (2024). Studi Pengolahan Limbah Fly Ash Batubara dalam Upaya Peningkatan Konsentrasi Silika Menggunakan Asam Sitrat. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 3(3), 288–296. <https://doi.org/10.55123/insologi.v3i3.3519>
- De-la-Torre, G. E. (2020). Microplastics: an emerging threat to food security and human health. In *Journal of Food Science and Technology* (Vol. 57, Number 5). <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04138-1>
- Diana, A. I., & Fansuri, S. (2020). Pengaruh Penambahan Limbah Botol Plastik dan Variasi Fly Ash terhadap Penyerapan Paving Blok Ramah Lingkungan. *Rekayasa*, 13(1). <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v13i1.5886>
- Difo Alfindo, & Rita Nasmirayanti. (2022). Analisis Perbandingan Kuat Tekan Paving block Berbahan Fly Ash dengan Limbah Plastik. *Civil Engineering Collaboration*. <https://doi.org/10.35134/jcivil.v7i1.38>
- Fauzan, Zakaria, R. F., Nugraha, M. D. A., & Al Jauhari, Z. (2023). The Effect of PET And LDPE Plastic Wastes on The Compressive Strength of Paving Blocks. *International Journal of GEOMATE*, 24(101). <https://doi.org/10.21660/2023.101.g12250>
- Foulhuan, J., Nurtanto, D., & Krisnamurti, K. (2022). Perbandingan Mix Design SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012 Ditinjau Dari Proses Pengecoran Beton Normal. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 5(2). <https://doi.org/10.20961/jrrs.v5i2.48172>
- Hakim, M. L. N., Roestaman, R., & Permana, S. (2021). Pengaruh Pemakaian Agregat Kasar Ex Pecahan Keramik Terhadap Mutu Beton. *Jurnal Konstruksi*, 19(1). <https://doi.org/10.33364/konstruksi.v.19-1.898>
- Hardinsi, F. A., H, P. O., & WTP, J. (2022). Workshop Dalam Pengolahan Limbah Plastik Menjadi Paving Block di Kabupaten Fakfak. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 6(6). <https://doi.org/10.31764/jmm.v6i6.11169>
- Hutabarat, L., & Mulyani, A. (2022). Analisis Korelasi Tingkat Pemahaman Masyarakat terhadap Perilaku Pemilahan dan Pengolahan Sampah di Dusun Pade Mare Lombok Utara. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3). <https://doi.org/10.14710/jil.20.3.646-653>
- Iftikhar, B., Alih, S. C., Vafaei, M., Ali, M., Javed, M. F., Asif, U., Ismail, M., Umer, M., Gamil, Y., & Amran, M. (2023). Experimental study on the eco-friendly plastic-sand paver blocks by utilising plastic waste and basalt fibers. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17107>
- Iftikhar, B., Alih, S. C., Vafaei, M., Alkhatabi, L., Althoe, F., Ali, M., & Javed, M. F. (2024). Sustainable use of plastic waste in plastic sand paver blocks: An experimental and modelling-based study. *Structures*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106285>
- Iftikhar, B., Alih, S. C., Vafaei, M., Javed, M. F., Rehman, M. F., Abdullaev, S. S., Tamam, N., Khan, M. I., & Hassan, A. M. (2023). Predicting compressive strength of eco-friendly plastic sand paver blocks using gene expression and artificial intelligence programming. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39349-2>
- Irwani, I., Shahreza, M., Melia, Y., Widiyanarti, T., & ... (2022). Pelatihan Pembuatan Kerajinan Daur Ulang Sampah Di Bank Sampah Sri Rejeki Kelurahan Benda Baru Kecamatan Pamulang *Journal of Community ...*, 2(2).

- Tampubolon, S. P. dan Munthe, D. P. (2026). Analisis Pengaruh Variasi Lama Perendaman Terhadap Porositas dan Daya Serap Air Paving Block dengan Menggunakan Campuran Fly Ash dan Limbah Plastik PET. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(5), 1150-1159, doi:10.14710/jil.24.5.1150-1159
- Khan, M. L., Hassan, H. U., Khan, F. U., Ghaffar, R. A., Rafiq, N., Bilal, M., Khooharo, A. R., Ullah, S., Jafari, H., Nadeem, K., Siddique, M. A. M., & Arai, T. (2024). Effects of microplastics in freshwater fishes health and the implications for human health. *Brazilian Journal of Biology*, 84. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.272524>
- Lebreton, L. C. M., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*, 8. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- Lestari Riyandini, V., Sawir, H., & Ilham, S. (2024). Daur Ulang Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) dan Abu Terbang (Fly Ash) Menjadi Paving Block. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 5(1). <https://doi.org/10.52158/jaceit.v5i1.754>
- Ma'uloh, S., Hartiningrum, E. S. N., & Susanto, S. R. (2021). Pelatihan Daur Ulang Sampah menjadi Produk Bernilai Guna. *UN PENMAS (Jurnal Pengabdian Masyarakat Untuk Negeri)*, 1(1). <https://doi.org/10.29138/un-penmas.v1i1.1586>
- Mahagadha, I. M. B., Barus, L., & Trigunarso, S. I. (2023). Pemanfaatan Sampah Plastik Jenis PET (Polyethylene Terephthalate) Sebagai Bahan Tambahan Pembuatan Paving Block Model Hexagon. *MJ (Midwifery Journal)*, 3(2).
- Mohammed, M., Shafiq, N., Elmansoury, A., Al-Mekhlafi, A. B. A., Rached, E. F., Zawawi, N. A., Haruna, A., Rafindadi, A. D., & Ibrahim, M. B. (2021). Modeling of 3r (Reduce, reuse and recycle) for sustainable construction waste reduction: A partial least squares structural equation modeling (pls-sem). *Sustainability (Switzerland)*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/su131910660>
- Pandiyarajan, V., Neelakantan, T. R., Sridharan, S. A., & Ramrao, N. (2022). Three "R" Concept in Waste Management for Sustainable Environment. *Journal of Sustainability Perspectives*, 2. <https://doi.org/10.14710/jsp.2022.15520>
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. In *Science of the Total Environment* (Vol. 702). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
- Rahmadini Utami, P., & Eka Murtinugraha, R. (2023). Pemanfaatan Campuran Fly Ash Dan Ldpe Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Paving Block. *Menara : Jurnal Teknik Sipil*, 18(1).
- Rajan, M. R. R., Rajalinggam, D., Narayanan, K., & Ramasamy, S. (2025). Eco-friendly paver blocks: repurposing plastic waste and foundry sand. *Revista Materia*, 30. <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2024-0707>
- Rangan, P. R., Sunarno, Y., Mapiley, Y. S., & Tumpu, M. (2025). Investigation of Water Absorption Characteristics in Fly Ash and Bottom Ash-Based Geopolymer Paving Blocks. *Annales de Chimie: Science Des Materiaux*, 49(5). <https://doi.org/10.18280/acsm.490512>
- Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., Rios-Mendoza, L. M., Takada, H., Teh, S., & Thompson, R. C. (2013). Policy: Classify plastic waste as hazardous. In *Nature* (Vol. 494, Number 7436). <https://doi.org/10.1038/494169a>
- Sajjad, M., Huang, Q., Khan, S., Khan, M. A., Liu, Y., Wang, J., Lian, F., Wang, Q., & Guo, G. (2022). Microplastics in the soil environment: A critical review. In *Environmental Technology and Innovation* (Vol. 27). <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102408>
- Sawant, R., Joshi, D. A., & Menon, R. (2025). Sustainable paver block development using recycled plastic waste and fiber reinforced geopolymer concrete. *Discover Applied Sciences*, 7(11). <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07481-5>
- SNI 03-2834-2000. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. *Sni 03-2834-2000*.
- SNI 7656:2012. (2012). Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa. *Badan Standarisasi Nasional*.
- Subashi De Silva, G. H. M. J., & Priyamali, M. W. S. (2022). Potential use of waste rice husk ash for concrete paving blocks: strength, durability, and run-off properties. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(7). <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1851029>
- Sukardi, F., Usamah, M., & Hermanto, J. (2022). Studi Rancangan Campuran Beton Mutu K-300 Menurut SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656 : 2012. *JURNAL SAINS, SOSIAL DAN HUMANIORA (JSSH)*, 2(1). <https://doi.org/10.52046/jssh.v2i1.1247>
- Tempa, K., Chettri, N., Thapa, G., Phurba, Gyeltshen, C., Norbu, D., Gurung, D., & Wangchuk, U. (2022). An experimental study and sustainability assessment of plastic waste as a binding material for producing economical cement-less paver blocks. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.jestech.2021.05.012>
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R. U., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., Rowland, S. J., Thompson, R. C., Galloway, T. S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P. H., Tana, T. S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M. P., Akkhavong, K., ... Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526). <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>
- Triawan, D. A., Nesbah, N., Oktiani, D., & Fitriani, D. (2018). Pembuatan Kerajinan Berbasis Sampah Sebagai Implementasi Pengendalian Sampah 3R (Reduce, Reuse Dan Recycle). *Dharma Raflesia : Jurnal Ilmiah Pengembangan Dan Penerapan IPTEKS*, 16(1). <https://doi.org/10.33369/dr.v16i1.3840>
- Wajdi, B. A., Mudiyo, R., & Soedarsono, S. (2023). Pengaruh Lamanya Perendaman Terhadap Absorpsi, Ketahanan Aus, dan Kuat Tekan Paving Block. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 6. <https://doi.org/10.30595/pspfs.v6i.849>
- Zheng, J., & Suh, S. (2019). Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics. In *Nature Climate Change* (Vol. 9, Number 5). <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0459-z>