

Pemanfaatan Sampah Plastik Multilayer sebagai Campuran pada Bahan Bangunan Ramah Lingkungan dengan Produk Batako, Paving Blok dan Roster

Hijrah Purnama Putra^{1*}, Muhammad Zian Sulthon², Niesa Hanum Mistoro¹, Malik Mushthofa³, Fadhilah Ramadhana¹, Reyza Surya Ibrahim¹, Dieska Shafira Cahyadhy¹, dan Andri Pangestu Ashari¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia; e-mail: hijrah@uii.ac.id

²Magister Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

ABSTRAK

Peningkatan timbunan sampah plastik multilayer yang sulit didaur ulang mendorong perlunya inovasi pemanfaatan material alternatif pada sektor konstruksi non-struktural. Penelitian ini mengkaji pemanfaatan plastik multilayer sebagai substitusi parsial agregat halus pada batako, paving blok, dan empat motif roster beton melalui lima variasi campuran (V1–V5). Metode penelitian dilakukan melalui pendekatan eksperimental laboratorium yang mencakup proses pencampuran, pencetakan, curing, serta pengujian kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus (khusus paving blok). Kebaruan penelitian ini terletak pada pengujian simultan terhadap tiga jenis produk menggunakan sumber plastik dan kerangka evaluasi yang sama. Pada batako V2, kuat tekan berada pada kisaran 26.42 kg/cm² tetapi memiliki penyerapan air sebesar 67,01%, sehingga tidak terdapat variasi dengan penambahan plastik yang memenuhi standar baku mutu. Paving blok V2 memiliki kuat tekan 8,62 MPa, penyerapan air 7,88%, serta ketahanan aus 0.46 mm/menit, memenuhi persyaratan standar baku mutu D. Produk roster menunjukkan karakteristik berbeda berdasarkan geometri. Roster motif 2 menunjukkan kuat tekan 22,01–33,76 kg/cm² dengan penyerapan air 10,45–13,67%, sedangkan motif 4 menghasilkan kuat tekan rata-rata 25,11 kg/cm² dengan nilai antar benda uji berkisar antara 12,94–47,48 kg/cm² dan penyerapan air rata-rata 11,22–13,68% pada variasi V2–V3. Akumulasi potensi teoritis pemanfaatan plastik mencapai 544,90 kg/hari, dengan nilai terbesar terdapat pada paving blok V2 sebesar 468,00 kg/hari. Temuan ini menunjukkan adanya potensi pemanfaatan plastik multilayer pada produk konstruksi non-struktural berdasarkan skenario kapasitas produksi. Namun, manfaat lingkungannya belum dinilai secara menyeluruh melalui analisis daur hidup, pengukuran emisi, maupun konsumsi energi.

Kata kunci: Batako, Ketahanan Aus, Kuat Tekan, Penyerapan Air, Roster

ABSTRACT

The increasing volume of multilayer plastic waste, which is difficult to recycle using conventional technologies, necessitates innovative approaches for its utilization within non-structural construction materials. This study examines the use of multilayer plastic as a partial fine-aggregate substitute in the production of concrete bricks, paving blocks, and four geometric roster motifs across five mix variations (V1–V5). The research employed an experimental laboratory approach involving material mixing, molding, curing, and physical-mechanical testing, including compressive strength, water absorption, and abrasion resistance (for paving blocks). The novelty of this study lies in the simultaneous evaluation of three product types using the same plastic source and assessment framework. For concrete bricks, V2 produced an average compressive strength of 26.42 kg/cm² but exhibited water absorption of 67.01%, there is no variation with the addition of plastics that meet quality standards. Paving block V2 exhibited a compressive strength of 8.62 MPa, water absorption of 7.88%, and abrasion resistance of 0.46 mm/min, all of which comply with the applicable quality criteria class D. Roster products demonstrated varied characteristics depending on geometric design. Roster motif 2 achieved compressive strengths ranging from 22.01 to 33.76 kg/cm² with water absorption between 10.45% and 13.67%, while motif 4 produced an average compressive strength of 25.11 kg/cm², with individual specimen values ranging from 12.94 to 47.48 kg/cm² with water absorption values of 11.22–13.68% in variations V2–V3. Aggregated theoretical potential for multilayer plastic utilization reached 544.90 kg/day, with paving block V2 contributing the largest value of 468.00 kg/day. These findings indicate the potential utilization of multilayer plastic in non-structural construction products based on the production-capacity scenarios. However, its overall environmental benefits were not assessed through life-cycle analysis, emission measurements, or energy-consumption analysis.

Keywords: Concrete Brick, Abrasion Resistance, Compressive Strength, Water Absorption, Roster

Citation: Putra, H. P., Sulthon, M. Z., Mistoro, N. H., Mushthofa, M., Ramadhana, F., Ibrahim, R. S., Cahyadhy, D. S., dan Ashari, A. P. (2026). Pemanfaatan Sampah Plastik Multilayer sebagai Campuran pada Bahan Bangunan Ramah Lingkungan dengan Produk Batako, Paving Blok dan Roster. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(3), 672-687, doi:10.14710/jil.24.3.672-687

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk, konsumsi produk kemasan, serta perubahan pola konsumsi masyarakat Indonesia dalam dua dekade terakhir berdampak langsung terhadap meningkatnya produksi sampah plastik. Data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Tahun 2024 mencatat bahwa komposisi sampah plastik mencapai lebih dari 19% dari total timbulan sampah di Indonesia. Salah satu fraksi plastik yang paling bermasalah dalam sistem pengelolaan adalah plastik multilayer, yaitu kemasan berlapis yang tersusun dari kombinasi polimer, seperti *polyethylene (PE)*, *polypropylene (PP)*, *polyethylene terephthalate (PET)* serta lapisan tambahan seperti aluminium foil. Struktur berlapis dengan sifat fisik dan kimia yang berbeda-beda menjadikan plastik *multilayer* sangat sulit didaur ulang secara konvensional, bahkan sering kali dianggap sebagai residu yang tidak dapat diproses.

Dari 7 jenis plastik yang dikenal secara umum, jenis ke-7 atau kode *others* ini salah satunya adalah plastik multilayer, hingga saat masih jarang digunakan sebagai bahan daur ulang (Hahladakis & Iacovidou, 2018). Penyebab sulitnya sampah jenis ini diolah dengan cara dilelehkan (*melting*) dan biasanya dilanjutkan dengan proses pencetakan (*molding*) adalah karena perbedaan jenis plastik pada berbagai lapisannya, yang memiliki titik leleh yang berbeda, serta terdapat lapisan aluminium foil yang juga memiliki titik leleh berbeda pula (Kadir, 2012). Akibatnya, sebagian besar plastik multilayer berakhir di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), dibakar oleh masyarakat, atau bahkan terbuang ke lingkungan terbuka, yang pada akhirnya berkontribusi pada pencemaran tanah, air, dan udara.

Di sisi lain, industri konstruksi dan material bangunan di Indonesia tengah menghadapi tekanan terhadap ketersediaan agregat alam, khususnya pasir, akibat tingginya tingkat ekstraksi dan dampaknya terhadap lingkungan. Degradasi lahan, perubahan morfologi sungai, serta potensi kerusakan ekosistem menjadi isu yang semakin mengemuka seiring meningkatnya kebutuhan bahan bangunan. Kondisi ini mendorong perlunya inovasi material alternatif yang mampu mengurangi ketergantungan pada agregat alam, sekaligus memberikan solusi terhadap akumulasi sampah plastik yang masih sulit untuk ditangani. Berbagai penelitian telah mengkaji pemanfaatan limbah plastik dalam konstruksi non-struktural, seperti batako, paving blok, dan roster beton. Hasil-hasil awal menunjukkan bahwa penggunaan plastik sebagai substitusi agregat dapat mempengaruhi kerapatan, kuat tekan, dan daya serap air material, namun tetap memiliki potensi diterapkan dalam produk non-struktural yang tidak menahan beban kritis (Fatriady, 2022).

Penelitian sebelumnya oleh Nursyamsi dkk. (2019) menunjukkan bahwa pemanfaatan plastik LDPE sebagai substitusi agregat halus menyebabkan penurunan kuat tekan, namun tetap menghasilkan

material yang layak untuk aplikasi non-struktural. Plastik multilayer dapat digunakan dalam pembuatan paving blok dan batako dengan sifat mekanik yang masih berada dalam rentang yang diperbolehkan oleh standar, dalam hal ini adalah SNI (Rahni dkk, 2024). Variasi desain dan komposisi roster beton mempengaruhi kuat tekan, terutama ketika plastik multilayer digunakan sebagai bahan substitusi dalam metode solidifikasi. Temuan ini memperlihatkan bahwa meskipun plastik multilayer memiliki sifat hidrofobik yang mengurangi ikatan dengan pasta semen, potensi penggunaannya masih terbuka, terutama pada material arsitektural seperti roster yang mengutamakan fungsi estetika dan ventilasi.

Meskipun demikian, riset mengenai kajian komparatif berbagai produk bahan bangunan, seperti batako, paving blok, dan roster dalam konteks penggunaan plastik multilayer sebagai pengganti agregat halus masih sangat terbatas. Selain itu, belum banyak penelitian yang secara simultan mengevaluasi tiga aspek kritis yaitu kinerja fisik seperti kuat tekan, daya serap, dan ketahanan aus, serta kontribusi pengurangan sampah plastik jenis ini di lingkungan. Padahal, pendekatan yang integratif diperlukan untuk memastikan bahwa inovasi ini tidak hanya feasible dari sisi teknis, tetapi juga relevan dalam konteks pengurangan sampah serta potensi penerapannya dalam industri konstruksi ramah lingkungan.

Pada penelitian ini, istilah ramah lingkungan dipakai secara operasional untuk merujuk pada upaya pemanfaatan sampah plastik multilayer sebagai substitusi sebagian agregat halus dan pengurangan penggunaan pasir dalam campuran. Kelayakan produk tetap dinilai berdasarkan pemenuhan persyaratan teknis masing-masing produk.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis pemanfaatan sampah plastik multilayer sebagai substitusi agregat halus pada tiga jenis produk bangunan non struktural, yaitu batako, paving blok, dan roster beton dengan menilai performa mekanik, karakteristik fisik, hubungan antara proporsi plastik multilayer yang memenuhi atau mendekati persyaratan teknis dan potensi kontribusi terhadap pengurangan timbulan sampah. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah yang lebih kuat untuk pengembangan material konstruksi inovatif berbasis sampah plastik multilayer, sekaligus mendukung upaya pengelolaan sampah yang berkelanjutan di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dirancang sebagai penelitian eksperimental laboratorium yang bertujuan mengevaluasi pemanfaatan sampah plastik multilayer sebagai bahan substitusi agregat halus pada tiga produk bangunan non-struktural, yaitu batako, paving blok, dan roster beton. Pendekatan yang digunakan adalah variasi proporsi plastik multilayer

yang disesuaikan berdasarkan karakteristik masing-masing material. Penelitian dilakukan secara bertahap, dari persiapan bahan baku, pencampuran, pencetakan, proses *curing*, hingga pengujian sifat mekanik. Penelitian dilaksanakan di dua lokasi yaitu Pusat Inovasi Material Vulkanik Merapi Universitas Islam Indonesia (UII), sebagai tempat produksi seluruh sampel dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, sebagai tempat pelaksanaan pengujian kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi mesin pencacah plastik, saringan pasir, timbangan digital, cetakan batako, mesin ayakan, cetakan paving blok, mesin *press* paving blok, cetakan roster, alat pemadat roster, sendok semen, baskom, jangka sorong, mesin uji kuat tekan, mesin uji ketahanan aus dan oven. Sementara itu, bahan yang digunakan terdiri dari semen portland, pasir, air bersih, serta sampah plastik multilayer. Sampah plastik multilayer diperoleh dari setoran masyarakat melalui program sosial yang dikelola oleh Butik Daur Ulang Project B Indonesia, kemudian dicacah menggunakan mesin pencacah hingga berbentuk potongan kecil. Sampah plastik multilayer yang digunakan dibatasi pada kemasan sachet minuman instan, sabun cair dan pelembut pakaian yang mempunyai struktur berlapis serta lapisan aluminium foil. Pemilahan dilakukan secara visual untuk memisahkan kemasan multilayer berlapis foil dari plastik monolayer dan material pengotor lainnya dan tidak melakukan karakterisasi instrumental untuk menentukan jenis dan proporsi polimer pada setiap kemasan. Oleh karena itu, keberadaan PE, PP, PET, dan aluminium dijelaskan sebagai komposisi yang secara umum terdapat pada kemasan multilayer.

2.2. Proses Pembuatan Sampel

Proses pembuatan sampel dalam penelitian ini direncanakan dengan baik, agar setiap tahap berjalan seragam untuk ketiga jenis produk, sehingga hasil pengujian dapat dibandingkan secara adil. Secara umum, tahapan pembuatan meliputi: (1) persiapan bahan, (2) penimbangan dan pencampuran bahan, (3) pencetakan, dan (4) *curing* atau masa *finishing*.

2.2.1. Persiapan Bahan

Tahap ini diawali dengan memastikan seluruh material berada dalam kondisi siap pakai. Semen disimpan di tempat yang kering untuk mencegah penggumpalan, sedangkan pasir diayak hingga lolos saringan No. 4 agar ukurannya seragam. Sampah plastik multilayer dicuci untuk menghilangkan sisa kotoran atau bercampur dengan sampah jenis yang lain. Cacahan plastik selanjutnya disaring menggunakan saringan No. 4 sehingga material yang digunakan mempunyai ukuran maksimum kurang dari 4,75 mm. Cacahan ini selanjutnya ditimbang sesuai dengan variasi yang telah ditetapkan, dengan dasar perhitungan berat substitusi terhadap agregat

halus yang sebelumnya telah diselaraskan dari satuan volume ke massa.

2.2.2. Penimbangan dan Pencampuran

Setiap bahan ditimbang sesuai perbandingan campuran yang telah ditetapkan untuk masing-masing produk. Semen, pasir, dan plastik multilayer dicampur terlebih dahulu dalam keadaan kering hingga merata. Air kemudian ditambahkan secara bertahap sambil diaduk untuk memperoleh adukan homogen dengan konsistensi yang stabil. Jumlah air berbeda antarvariasi, yaitu 425–500 mL pada batako, 600–650 mL pada paving blok, 300–350 mL pada roster motif 1 dan motif 2, serta 220–300 mL pada roster motif 3 dan motif 4. Pengendalian jumlah air menjadi penting karena plastik bersifat hidrofobik, sehingga tidak menyerap air dan dapat menyebabkan adukan terlalu encer/basah jika tidak dikontrol.

2.2.3. Pencetakan

Adukan yang telah homogen kemudian dicetak sesuai jenis produk. Batako dan paving blok dicetak menggunakan mesin *press* agar tekanan pemadatan lebih seragam dan menghasilkan densitas yang konsisten. Roster beton dicetak menggunakan cetakan manual karena memiliki motif dan bukaan yang lebih kompleks. Pada seluruh jenis produk, pemadatan dilakukan secara merata untuk meminimalkan pori dan mencegah cacat bentuk. Sampel yang mengalami retak atau ketidaksempurnaan bentuk langsung dieliminasi dan dilakukan pencetakan ulang.

2.2.4. *Curing*/ *Finishing*

Sampel yang telah dicetak menjalani proses perawatan sesuai karakteristik produknya. Batako dan paving blok mengalami masa *curing* melalui perendaman atau penyiraman berkala selama 28 hari untuk memastikan proses hidrasi semen berlangsung optimal. Roster beton dikeringkan di ruang teduh dengan sirkulasi udara yang baik selama 14 hari tanpa perendaman untuk menjaga kestabilan bentuknya. *Curing* dilakukan untuk memperoleh kekuatan maksimum dan stabilitas dimensi sebelum sampel diuji.

2.3. Variabel Penelitian

Untuk memastikan pengujian berjalan terstruktur dan memungkinkan perbandingan kinerja antarproduk, penelitian ini menetapkan variasi campuran yang berbeda untuk batako, paving blok, dan roster beton. Penentuan variasi didasarkan pada karakteristik masing-masing produk, keterbatasan teknis pada proses pencetakan, serta hasil uji pendahuluan yang menunjukkan batas maksimum substitusi plastik multilayer yang masih dapat menghasilkan sampel dengan bentuk dan kekuatan yang stabil. Variasi ini disusun untuk melihat pengaruh penambahan plastik multilayer terhadap sifat mekanik dan fisik material, sekaligus mengidentifikasi komposisi yang paling layak

diterapkan sebagai bahan substitusi agregat halus. Sejalan dengan dasar tersebut, rentang substitusi tidak diseragamkan antarproduk, kadar plastik hingga 50% pada roster motif 1 ditetapkan sebagai batas variasi tertinggi yang masih dapat dicetak dalam rangkaian eksperimen tersebut berdasarkan hasil uji pendahuluan.

Penetapan jumlah benda uji pada setiap produk tidak diseragamkan karena data penelitian berasal dari beberapa rangkaian eksperimen yang dilaksanakan secara terpisah dengan desain dan ketersediaan sampel yang berbeda. Benda uji yang berasal dari satu adukan atau satu rangkaian pencetakan diperlakukan sebagai ulangan teknis untuk menggambarkan variasi hasil pencetakan dan pengujian, bukan sebagai replikasi eksperimen independen. Rincian variasi setiap produk disajikan pada Tabel 1.

2.4. Pengujian Fisik

Pengujian sifat fisik dilakukan untuk menilai sejauh mana penambahan sampah plastik multilayer sebagai pengganti sebagian agregat halus mempengaruhi kualitas batako, paving blok, dan roster beton. Parameter utama yang diukur meliputi kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus (khusus paving blok).

2.4.1. Pengujian Kuat Tekan

Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kemampuan batako, paving blok, dan roster beton dalam menahan beban tekan hingga terjadi keruntuhan (Sumajouw, dkk., 2014). Pengujian menggunakan mesin Compression Testing Machine (CTM) dengan kecepatan pembebanan terkontrol. Nilai kuat tekan dihitung dari perbandingan antara beban maksimum yang diterima sampel dan luas penampangnya. Luas penampang efektif ditentukan berdasarkan bidang tekan benda uji, dengan arah tekanan pada saat pengujian disesuaikan dengan arah penerimaan beban dalam pemakaian sebagaimana mengacu pada standar. Prosedur dan kriteria kuat tekan mengacu pada standar masing-masing produk, yaitu SNI 03-0349-1989 untuk batako dan roster, dan SNI 03-0691-1996 untuk paving blok. Hasil pengujian ini digunakan untuk menilai apakah substitusi plastik multilayer memengaruhi kapasitas struktural material. Nilai kuat tekan dihitung menggunakan persamaan:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

f_c = kuat tekan (MPa atau Kg/cm²),

P = beban maksimum saat benda uji hancur (Kg),

A = luas penampang benda uji (cm²).

2.4.2. Pengujian Penyerapan Air

Berdasarkan SNI 03-1570-1989, pengujian penyerapan air dilakukan dengan merendam sampel uji pada suhu ruang selama 24 jam. Setelah proses perendaman, benda uji ditiriskan sekitar satu menit, kemudian ditimbang sebagai berat jenuh air dan dikeringkan dalam oven pada suhu $\pm 105^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah itu, sampel uji ditimbang sebagai berat kering. Berikut ini persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai penyerapan air:

$$WA (\%) = (A-B)/B \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

WA = *Water Absorption*

A = Berat basah (Kg)

B = Berat kering (Kg)

2.4.3. Pengujian Ketahanan Aus

Uji ketahanan aus dilakukan khusus pada paving blok untuk menilai tingkat keausan permukaan akibat gesekan berulang. Sampel dipasang pada mesin uji aus dengan permukaan abrasif dan diberikan gesekan dalam durasi tertentu. Setelah pengujian, kehilangan massa atau pengurangan ketebalan sampel diukur sebagai indikator daya tahan permukaan. Prosedur pengujian dan batas ketahanan aus mengacu pada SNI 03-0691-1996, yang digunakan sebagai dasar untuk menilai apakah paving blok dengan substitusi plastik multilayer tetap memenuhi standar ketahanan aus yang dipersyaratkan. Hasil pengujian ketahanan aus dilakukan dengan persamaan berikut:

$$\text{Ketahanan aus} = 1.26(\text{mm/gram}) \times G + 0.0246 \quad (3)$$

Keterangan:

G = Selisih berat dibagi waktu (gram/menit)

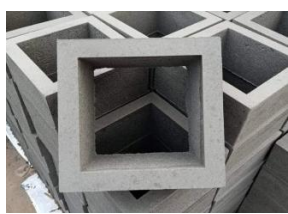
2.5. Analisis Pengurangan Sampah Plastik

Analisis pengurangan sampah plastik multilayer dalam penelitian ini dilakukan dengan cara menghubungkan kandungan plastik per produk, kapasitas produksi harian, dan timbulan sampah plastik di wilayah studi. Kapasitas produksi harian dalam penelitian diperoleh dari wawancara dengan pengelola tempat produksi. Tahap pertama adalah menghitung berat plastik multilayer yang digunakan dalam satu unit produk (batako, paving blok, atau roster) berdasarkan variasi campuran yang memenuhi atau mendekati syarat mutu fisik. Nilai ini diperoleh dari hasil perhitungan komposisi campuran, baik yang semula berbasis volume maupun berat, yang telah diseragamkan dalam satuan massa (kilogram) (Zainuri, 2021).

Persentase pengurangan =

$$\frac{(\% \text{ variasi} \times \text{Berat Produk (Kg)} \times \text{Kapasitas Produksi (pcs)})}{\text{Timbulan Sampah Plastik } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{hari}} \right)} \times 100\% \quad (4)$$

Tabel 1. Komposisi Variabel Penelitian

Variasi	Material				% plastik multilayer	Gambar Produk	
	Air	Semen	Pasir	Plastik			
Batako							
V1	Rasio	0,4	1	10	0		
	Berat (kg)	0,5	1,25	10	0		
V2	Rasio	0,36	1	9,8	0,2		2
	Berat (kg)	0,45	1,25	9,8	0,2		
V3	Rasio	0,36	1	9,6	0,4		4
	Berat (kg)	0,45	1,25	9,6	0,4		
V4	Rasio	0,34	1	9,4	0,6		6
	Berat (kg)	0,425	1,25	9,4	0,6		
V5	Rasio	0,34	1	9,2	0,8		8
	Berat (kg)	0,425	1,25	9,2	0,8		
Paving Blok							
V1	Rasio	0,295	1	6	0		
	Berat (kg)	0,65	2,2	13	0		
V2	Rasio	0,295	1	5,64	0,36		6
	Berat (kg)	0,65	2,2	12,2	0,78		
V3	Rasio	0,273	1	5,52	0,48		8
	Berat (kg)	0,6	2,2	12	1,04		
V4	Rasio	0,273	1	5,4	0,6		10
	Berat (kg)	0,6	2,2	11,7	1,3		
V5	Rasio	0,273	1	5,28	0,72		12
	Berat (kg)	0,6	2,2	11,4	1,56		
Roster Motif 1							
V1	Rasio	0,574	1	7	0		
	Berat (kg)	0,35	0,61	4,25	0		
V2	Rasio	0,574	1	5	2		28.6
	Berat (kg)	0,35	0,61	3,04	1,22		
V3	Rasio	0,574	1	4,5	2,5		35.7
	Berat (kg)	0,35	0,61	2,73	1,52		
V4	Rasio	0,492	1	4	3		42.8
	Berat (kg)	0,3	0,61	2,43	1,82		
V5	Rasio	0,492	1	3,5	3,5		50
	Berat (kg)	0,3	0,61	2,13	2,13		
Roster Motif 2							
V1	Rasio	0,574	1	5	0		
	Berat (kg)	0,35	0,61	3,04	0		
V2	Rasio	0,574	1	4,5	0,5		10
	Berat (kg)	0,35	0,61	2,73	0,3		
V3	Rasio	0,574	1	4,25	0,75		15
	Berat (kg)	0,35	0,61	2,58	0,46		
V4	Rasio	0,492	1	4	1		20
	Berat (kg)	0,3	0,61	2,43	0,61		
V5	Rasio	0,492	1	3,5	1,5		30
	Berat (kg)	0,3	0,61	2,13	0,91		
Roster Motif 3							
V1	Rasio	0,37	1	5	0		
	Berat (kg)	0,3	0,81	4,8	0		
V2	Rasio	0,346	1	4,75	0,25		5
	Berat (kg)	0,28	0,81	4,56	0,24		
V3	Rasio	0,321	1	4,5	0,5		10
	Berat (kg)	0,26	0,81	4,32	0,48		
V4	Rasio	0,296	1	4,25	0,75		15
	Berat (kg)	0,24	0,81	4,08	0,72		
V5	Rasio	0,272	1	4	1		20
	Berat (kg)	0,22	0,81	3,84	0,96		
Roster Motif 4							
V1	Rasio	0,37	1	6	0		
	Berat (kg)	0,3	0,81	5,76	0		
V2	Rasio	0,346	1	5,28	0,72		12
	Berat (kg)	0,28	0,81	5,07	0,69		
V3	Rasio	0,321	1	5,16	0,84		14
	Berat (kg)	0,26	0,81	4,95	0,81		
V4	Rasio	0,296	1	5,04	0,96		16
	Berat (kg)	0,24	0,81	4,84	0,92		
V5	Rasio	0,272	1	4,92	1,08		18
	Berat (kg)	0,22	0,81	4,72	1,04		

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian dilakukan untuk memahami sifat fisik setiap produk berubah seiring variasi komposisi plastik yang digunakan. Pengujian fisik difokuskan pada tiga parameter utama yaitu kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan aus untuk paving blok. Pengujian kuat tekan memberikan gambaran ketahanan material terhadap pembebanan struktural, dan penyerapan air digunakan untuk mengevaluasi kerapatan dan durabilitas, serta ketahanan aus pada paving blok menilai stabilitas permukaan terhadap pengikisan akibat gesekan. Hasil pengujian yang diperoleh dibandingkan dengan standar mutu untuk setiap produk batako, paving blok, dan roster, sehingga penilaian yang diberikan tidak hanya bersifat deskriptif, namun berorientasi pada kelayakan penerapan material dalam skala nyata.

3.1. Pengujian Fisik

3.1.1. Batako

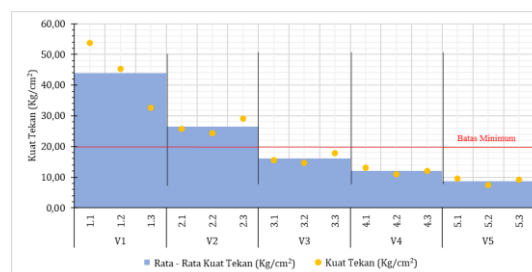
Hasil pengujian fisik batako meliputi kuat tekan dan penyerapan air untuk setiap variasi substitusi plastik multilayer. Data yang ditampilkan pada Tabel 2 memberikan gambaran kuantitatif mengenai perubahan komposisi campuran plastik multilayer.

Hasil pengujian fisik batako yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan dengan jelas pengaruh penambahan plastik multilayer terhadap kuat tekan dan penyerapan air. Variasi V1 tanpa substitusi plastik memberikan rata-rata kuat tekan tertinggi, yaitu 43,90 kg/cm², dengan nilai individual sampel berkisar antara 32,57–53,82 kg/cm². Pada variasi ini, kuat tekan masih jauh di atas batas minimal 20 kg/cm² sesuai SNI 03-0349-1989 untuk bata beton non struktural, sehingga dapat dianggap sebagai kondisi rujukan (kontrol). Ketika plastik multilayer mulai ditambahkan (pada V2–V5), kuat tekan rata-rata turun secara bertahap: V2 sebesar 26,42 kg/cm², V3 sebesar 16,03 kg/cm², V4 sebesar 12,05 kg/cm², dan V5 hanya 8,68 kg/cm². Artinya, hanya V1 dan V2 yang masih memenuhi persyaratan SNI, sedangkan V3–V5 sudah berada di bawah batas mutu. Penurunan ini memperlihatkan bahwa semakin besar proporsi plastik multilayer yang menggantikan agregat halus, semakin besar penurunan kapasitas batako dalam menahan beban tekan akibat berkurangnya zona ikatan efektif antara pasta semen dan agregat.

Dari sisi penyerapan air, data menunjukkan bahwa batako tanpa plastik (V1) memiliki rata-rata penyerapan 12,16%, sedangkan variasi dengan plastik memperlihatkan pola yang lebih kompleks. V2 dan V3 menunjukkan peningkatan penyerapan air yang cukup besar, masing-masing sebesar 69,06% dan 88,35%, mengindikasikan terbentuknya pori dan rongga yang lebih banyak di dalam struktur batako. Pada V4 penyerapan air masih tinggi (79,45%), sedangkan pada V5 justru menurun hingga sekitar 34,56%, kemungkinan terkait dengan perubahan

distribusi plastik di dalam adukan dan kualitas pemadatan saat pencetakan.

berdasarkan Gambar 1, pergerakan nilai kuat tekan dan penyerapan air dapat diamati secara lebih jelas, sehingga terlihat plastik *multilayer* memengaruhi kontinuitas matriks semen dengan agregat dan menghasilkan pergeseran kinerja dari variasi rendah hingga tinggi.

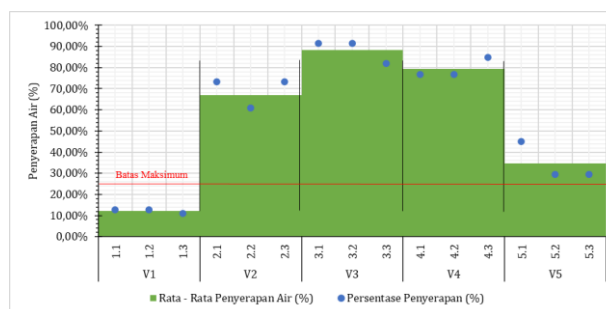


Gambar 1. Hasil Uji Kuat Tekan Batako

Grafik Gambar 1 menunjukkan pola penurunan yang sangat jelas seiring bertambahnya kadar plastik multilayer pada campuran batako. Pada V1, titik-titik kuat tekan tersebar pada nilai yang relatif tinggi dan stabil, menandakan bahwa campuran tanpa plastik menghasilkan struktur internal yang padat dan homogen. Area rata-rata yang digambarkan dalam warna biru menunjukkan konsistensi performa di atas batas minimum SNI (20 kg/cm²), sehingga V1 berfungsi sebagai baseline kinerja yang ideal.

Sementara pada V2, grafik memperlihatkan penurunan yang tajam pada posisi titik kuat tekan. Meskipun rata-rata V2 masih berada di atas batas minimum, penyebaran nilai pada titik-titik sampel mengindikasikan bahwa penambahan plastik mulai memengaruhi kestabilan material, terlihat dari beberapa titik yang mendekati garis batas minimum. Hal ini mengisyaratkan bahwa pada kadar plastik rendah, struktur batako masih mampu mempertahankan kekuatannya, tetapi mulai mengalami heterogenitas pada ikatan internal.

Pola grafik semakin menurun drastis pada V3 hingga V5, di mana hampir seluruh titik kuat tekan berada di bawah garis batas minimum. Penurunan ini tidak hanya menunjukkan perlemahan kekuatan material, tetapi juga mengindikasikan bahwa plastik multilayer memperbesar jumlah rongga dalam matriks semen-agregat.



Gambar 2. Hasil Uji Penyerapan Air Batako

Tabel 2. Hasil Pengujian Fisik Produk Batako

Variasi	Kode Sampel	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Rata - Rata Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Persentase Penyerapan Air (%)	Rata - Rata Penyerapan Air (%)
V1	1.1	53,82	43,90	12,70%	12,16%
	1.2	45,32		12,70%	
	1.3	32,57		11,08%	
V2	2.1	25,74	26,42	73,17%	69,06%
	2.2	24,40		60,85%	
	2.3	29,11		73,17%	
V3	3.1	15,57	16,03	91,58%	88,35%
	3.2	14,64		91,58%	
	3.3	17,90		81,88%	
V4	4.1	13,15	12,05	76,76%	79,45%
	4.2	10,93		76,76%	
	4.3	12,07		84,83%	
V5	5.1	9,50	8,68	44,97%	34,56%
	5.2	7,37		29,35%	
	5.3	9,16		29,35%	

Grafik Gambar 2 memperlihatkan tren yang berlawanan dengan grafik kuat tekan, mencerminkan hubungan negatif antara kekuatan material dan tingkat porositas. Pada V1, titik-titik penyerapan air berada pada nilai rendah dan stabil, sementara area rata-rata muncul pada rentang yang jauh di bawah batas maksimum SNI. Hal ini mengindikasikan bahwa batako tanpa plastik memiliki pori-pori yang rapat dan seragam, sehingga hanya sedikit air yang dapat meresap ke dalam struktur.

Ketika memasuki V2 menunjukkan lonjakan penyerapan air yang besar, ditandai dengan kenaikan area rata-rata berwarna hijau dan posisi titik-titik sampel yang lebih tinggi. Kenaikan ini memperlihatkan bahwa campuran mulai menjadi lebih berpori akibat plastik yang tidak menyerap air dan tidak dapat berikatan dengan baik dalam matriks semen. Visual ini menunjukkan munculnya jalur serapan baru di dalam struktur yang memperbesar kapasitas air untuk meresap.

Puncak penyerapan air terlihat jelas pada V3, menampilkan area hijau yang paling tinggi dan titik-titik penyerapan mencapai nilai ekstrem. Pola ini menegaskan bahwa variasi plastik pada rentang ini menghasilkan struktur batako yang sangat berpori dan kurang padat.

Pada V4 dan V5, masih menunjukkan penyerapan air yang tinggi, tetapi dengan kecenderungan menurun pada V5. Penurunan ini secara visual dapat dikaitkan dengan kemungkinan redistribusi partikel plastik *multilayer* pada kadar yang sangat tinggi, yang menyebabkan sebagian rongga tertutup oleh plastik, namun justru menurunkan kuat tekan karena hilangnya ikatan antar material. Fenomena ini menunjukkan bahwa penyerapan air tidak selalu meningkat linear dengan kadar plastik *multilayer*, tetapi bergantung pada interaksi antarpartikel dalam campuran serta pola penyebaran pada proses pencetakan batako.

Secara keseluruhan, tidak terdapat variasi batako dengan penambahan plastik *multilayer* yang

memenuhi persyaratan kuat tekan dan penyerapan air secara bersamaan. V2 masih memenuhi persyaratan kuat tekan dengan nilai rata-rata 26,42 kg/cm², tetapi memiliki penyerapan air sebesar 67,01% yang melampaui batas maksimum. Sementara itu, V3–V5 memiliki kuat tekan di bawah batas yang dipersyaratkan dan penyerapan air yang relatif tinggi. Oleh karena itu, variasi batako dengan penambahan plastik tidak dimasukkan dalam analisis potensi pengurangan sampah.

3.1.2. Paving Blok

Paving blok memiliki tuntutan kinerja yang lebih tinggi karena harus menahan beban tekan, dan gesekan. Oleh karena itu parameter yang diuji meliputi kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus untuk menggambarkan kemampuan material dalam mempertahankan kekuatan non-struktural dan ketahanan beban permukaan. Variasi komposisi plastik *multilayer* diuji untuk mengamati perubahan proporsi pengganti agregat halus ini memengaruhi kepadatan, ikatan antarmatriks semen, serta stabilitas permukaan paving blok. Tabel 3 menyajikan rangkuman hasil pengujian untuk setiap sampel dan setiap variasi, sehingga memberikan dasar kuantitatif yang diperlukan untuk memahami kecenderungan perubahan sifat fisik paving blok.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan plastik *multilayer* menunjukkan kecenderungan penurunan kinerja paving blok, terutama pada parameter kuat tekan. Pada variasi kontrol (V1), kuat tekan rata-rata tercatat sebesar 12,00 MPa, menunjukkan bahwa campuran awal tanpa plastik berada pada batas bawah kekuatan paving blok sesuai SNI, yang umumnya mensyaratkan mutu minimal untuk kelas ringan. Nilai kuat tekan yang relatif stabil antar sampel pada V1 menunjukkan bahwa matriks semen-agregat masih terbentuk dengan baik dan menghasilkan struktur yang mampu menahan beban tekan secara konsisten.

Tabel 3. Hasil Pengujian Fisik Produk Paving Blok

Variasi	Kode Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Rata - Rata Kuat Tekan (MPa)	Persentase Penyerapan (%)	Rata - Rata Penyerapan Air (%)	Ketahanan Aus (mm/menit)	Rata - Rata Ketahanan Aus (mm/menit)
V1	1.1	11,95	12,00	12,91%	12,83%	1,52	1,52
	1.2	12,04		12,75%		1,51	
V2	2.1	7,06	8,62	7,93%	7,88%	0,65	0,46
	2.2	10,18		7,82%		0,26	
V3	3.1	2,82	2,91	12,01%	10,97%	0,65	1,22
	3.2	2,99		9,93%		1,78	
V4	4.1	3,47	3,22	10,80%	12,32%	2,31	1,51
	4.2	2,97		13,85%		0,71	
V5	5.1	1,86	1,89	13,46%	14,69%	1,26	1,46
	5.2	1,92		15,92%		1,65	

Pada variasi V2, kuat tekan rata-rata turun menjadi 8,62 MPa, tetapi nilai individual pada sampel 2.2 masih mencapai 10,18 MPa. Pola ini menunjukkan bahwa penambahan plastik dalam jumlah rendah masih memungkinkan adukan memiliki zona ikatan yang memadai, namun keberadaan plastik mulai menciptakan rongga dan area tidak terikat yang melemahkan sebagian struktur internal. Penurunan kuat tekan semakin drastis pada variasi V3, dengan rata-rata hanya 2,91 MPa, mengindikasikan bahwa plastik telah menjadi komponen dominan yang memutus kontinuitas ikatan antarpartikel pada beton paving. Pada V4 dan V5, kuat tekan terus menurun hingga mencapai nilai rata-rata 3,22 MPa dan 1,89 Mpa. Nilai ini menunjukkan bahwa paving blok pada kadar plastik tinggi tidak lagi mampu menahan beban tekan yang diperlukan untuk aplikasi perkerasan. Sebagai perbandingan, Sandjaya dkk. (2023) melaporkan kuat tekan rata-rata sekitar 20,13 MPa pada substitusi limbah plastik sebesar 10% terhadap agregat halus. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan bahwa persentase substitusi yang sama tidak selalu menghasilkan kuat tekan yang setara karena terdapat perbedaan karakteristik plastik, komposisi campuran, serta proses pencetakan dan pemadatan yang digunakan.

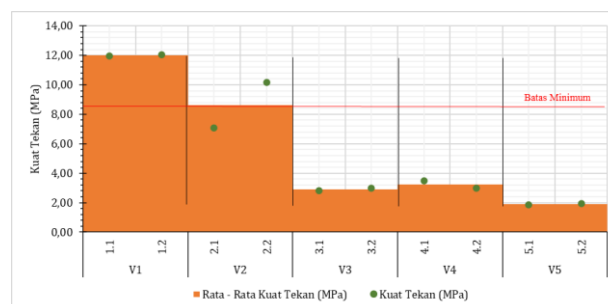
Hasil penyerapan air memperlihatkan kecenderungan yang konsisten dengan perubahan kuat tekan. Pada V1, penyerapan air berada pada kisaran 12,83%, nilai yang umum ditemukan pada paving blok dengan kerapatan sedang. Menariknya, pada variasi V2 nilai penyerapan air menurun menjadi rata-rata 7,88%, menunjukkan bahwa plastik multilayer pada kadar rendah dapat membantu menutup sebagian pori atau mengurangi volume air yang dapat masuk ke struktur, meskipun tidak meningkatkan kekuatan tekan. Namun pada variasi V3 hingga V5, penyerapan air kembali meningkat hingga mencapai 14,69%, memperlihatkan bahwa rongga internal semakin besar dan struktur material menjadi lebih terbuka terhadap penetrasi air. Peningkatan penyerapan air sejalan dengan melemahnya kekuatan material pada kadar plastik tinggi, memperkuat interpretasi bahwa plastik menciptakan zona lemah dalam matriks beton.

Uji ketahanan aus memberikan gambaran tambahan mengenai durabilitas permukaan. Pada V1

dan V2, nilai ketahanan aus berada pada kisaran 1,52 mm/menit dan 0,46 mm/menit, menunjukkan perbedaan nilai ketahanan aus antarvariasi. Variasi V2 memiliki nilai aus yang lebih baik dibanding V1, kemungkinan karena kandungan plastik rendah menghasilkan permukaan yang lebih plastis dan tidak mudah terkelupas, meskipun kekuatan tekan totalnya menurun. Pada variasi selanjutnya (V3–V5), nilai aus meningkat kembali hingga mencapai 1,46 mm/menit, yang mengindikasikan bahwa permukaan paving menjadi lebih rapuh dan mudah terabrasi. Hal ini dapat disebabkan oleh meningkatnya rongga permukaan dan berkurangnya kepadatan material akibat kandungan plastik yang lebih tinggi.

Secara keseluruhan, V2 merupakan variasi dengan hasil yang paling mendekati persyaratan mutu D. Nilai penyerapan air V2 sebesar 7,88% telah memenuhi batas maksimum penyerapan air mutu D. Namun, kuat tekan rata-rata sebesar 8,62 MPa dan ketahanan aus rata-rata sebesar 0,46 mm/menit belum memenuhi persyaratan mutu D. Oleh karena itu, V2 belum memenuhi seluruh persyaratan mutu D, tetapi menunjukkan kinerja terbaik dibandingkan variasi paving blok dengan penambahan plastik lainnya.

Distribusi nilai antar sampel pada tiap variasi dapat dibandingkan dengan batas maksimum serapan menurut standar SNI, sehingga terlihat seberapa besar pengaruh substitusi plastik terhadap karakter durabilitas dan kepadatan beton dalam grafik pada Gambar 3.



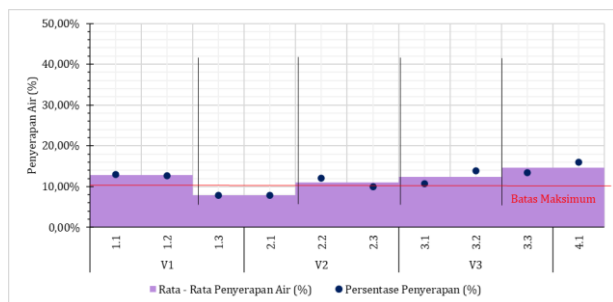
Gambar 3. Hasil Uji Kuat Tekan Paving Blok

Grafik Gambar 3 memperlihatkan pola penurunan yang sangat jelas dari variasi V1 hingga V5. Pada V1, titik-titik kuat tekan berada di sekitar nilai 12 MPa, yang ditunjukkan oleh area rata-rata yang cukup tebal pada bagian atas grafik. Visual ini menandakan bahwa

struktur internal paving blok pada kondisi tanpa plastik berada dalam keadaan paling padat dan memiliki kontinuitas matriks semen-agregat yang baik. Selain itu, kedekatan titik-titik sampel dalam kelompok V1 menunjukkan konsistensi atau homogenitas campuran.

Memasuki V2, grafik menunjukkan kecenderungan penurunan kuat tekan, dengan titik kuat tekan bergerak ke bawah mendekati batas minimum. Meskipun sampel 2.2 masih menunjukkan nilai relatif tinggi, penyebaran titik yang lebih lebar mengindikasikan bahwa kualitas campuran mulai tidak stabil. Penurunan rata-rata kuat tekan pada area grafik yang diarsir memperlihatkan bahwa kehadiran plastik multilayer mulai merusak keterikatan antarmaterial.

Pada V3 hingga V5, grafik menunjukkan penurunan drastis. Hampir semua titik berada jauh di bawah batas minimum, dan area rata-rata berubah menjadi segmen rendah yang panjang. Dari sudut pandang visual, grafik ini menunjukkan dominasi rongga (*void*) dan melemahnya interlocking partikel semen karena plastik yang bersifat licin, hidrofobik, dan tidak memiliki kemampuan ikat. Tren penurunan ini sangat jernih terlihat karena seluruh titik kuat tekan pada V3, V4, dan V5 tersebar rapat pada zona nilai rendah. Grafik ini secara keseluruhan menggambarkan bahwa peningkatan kadar plastik secara langsung berkontribusi pada menurunnya integritas struktural paving blok.



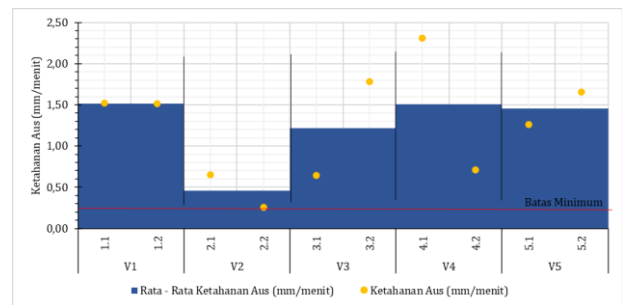
Gambar 4. Hasil Uji Penyerapan Air Paving Blok

Pada V1, titik-titik penyerapan air berada di kisaran 12–13%, sejalan dengan area rata-rata berwarna ungu yang relatif tipis. Visual ini menunjukkan bahwa porositas material masih terkontrol dengan baik. Batas maksimum penyerapan air (garis merah) berada sedikit di atas titik-titik sampel, menandakan bahwa paving blok tanpa plastik berada pada kondisi yang aman dari segi durabilitas.

Pada V2, grafik menunjukkan penurunan penyerapan air, ditandai dengan titik-titik yang turun hingga sekitar 7%. Secara visual, bagian grafik ini memperlihatkan bahwa sedikit penambahan plastik dapat mengisi sebagian rongga mikro atau menutup jalur kapiler, sehingga air lebih sulit meresap ke dalam struktur. Fenomena ini terlihat jelas pada grafik

karena area rata-rata penyerapan air pada V2 menjadi lebih rendah dibanding V1.

Namun, tren berbalik pada V3, V4, dan V5. Penyerapan air naik kembali dan titik-titik sampel berada di sekitar 10–16%. Hal ini terlihat dari area rata-rata yang melebar dan berada lebih dekat dengan garis batas maksimum. Pola ini mengindikasikan bahwa pada kadar plastik yang lebih tinggi, distribusi plastik di dalam adukan justru meningkatkan jumlah rongga tidak terisi, memperbesar jalur serapan air, dan menghasilkan material dengan pori yang lebih terbuka. Dari grafik ini, terlihat hubungan tidak linear: kadar plastik rendah mengurangi penyerapan, tetapi kadar plastik tinggi meningkatkan porositas material.



Gambar 5. Hasil Uji Ketahanan Aus Paving Blok

Grafik Gambar 5 memberikan gambaran yang berbeda dibanding grafik kuat tekan dan penyerapan air. Pada V1, grafik menunjukkan nilai ketahanan aus sekitar 1,5 mm/menit, menandakan bahwa permukaan paving blok tanpa plastik cenderung mudah terabrasi. Tingginya nilai ini dapat dikaitkan dengan komposisi yang masih dominan agregat kasar dan semen tanpa modifikasi tambahan yang dapat memperkuat permukaan.

Menariknya, pada V2, grafik menunjukkan penurunan ketahanan aus hingga 0,26–0,65 mm/menit, yang tercermin dari area rata-rata berwarna biru yang lebih rendah. Fenomena visual ini menunjukkan bahwa substitusi plastik dalam jumlah rendah memberikan efek penguatan permukaan karena plastik menciptakan permukaan yang sedikit lebih elastis dan kurang rapuh dibanding beton murni.

Pola ini kembali berubah pada V3 hingga V5, di mana grafik menunjukkan kenaikan nilai ketahanan aus. Pada V4 dan V5, titik-titik ketahanan aus mencapai nilai lebih tinggi dari 1,5 mm/menit. Area rata-rata pun bergeser naik, menunjukkan bahwa permukaan paving blok menjadi lebih rapuh dan mudah terkikis ketika kadar plastik terlalu tinggi. Hal ini terlihat jelas di grafik karena titik-titik pada V3 ke atas meningkat keragamannya, sebuah indikasi bahwa struktur mikro permukaan paving menjadi tidak stabil. Bagian grafik ini menegaskan bahwa plastik pada konsentrasi tinggi mengurangi kekuatan permukaan dan memperbesar risiko kerusakan akibat gesekan.

Tabel 4. Hasil Pengujian Roster

Tabel 1. Hasil Pengujian Roster					
Variasi	Kode Sampel	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Rata-Rata Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Persentase Penyerapan (%)	Rata - Rata Penyerapan Air (%)
Roster Motif 1					
V1	1.1	8,95	10,57	14,05%	14,05%
	1.2	12,18			
V2	2.1	7,98	7,94	17,46%	17,46%
	2.2	7,89			
V3	3.1	5,48	6,19	16,97%	16,97%
	3.2	6,89			
V4	4.1	5,14	6,08	16,45%	16,45%
	4.2	7,03			
V5	5.1	1,01	0,91	24,91%	24,91%
	5.2	0,81			
Roster Motif 2					
V1	1.1	33,37	33,76	10,45%	10,45%
	1.2	34,15			
V2	2.1	27,28	27,01	11,51%	11,51%
	2.2	26,74			
V3	3.1	26,08	25,71	12,98%	12,98%
	3.2	25,34			
V4	4.1	22,71	22,01	13,67%	13,67%
	4.2	21,31			
V5	5.1	18,15	17,26	11,20%	11,20%
	5.2	16,37			
Roster Motif 3					
V1	1.1	19,83	23,45	8,76%	9,55%
	1.2	20,20		9,31%	
	1.3	25,14		10,07%	
	1.4	22,54		10,06%	
	1.5	29,54		9,53%	
V2	2.1	19,89	17,47	10,61%	10,82%
	2.2	20,04		10,13%	
	2.3	15,03		12,90%	
	2.4	15,01		9,94%	
	2.5	17,39		10,54%	
V3	3.1	7,42	13,46	13,18%	10,42%
	3.2	15,15		9,60%	
	3.3	12,84		9,54%	
	3.4	18,00		9,00%	
	3.5	13,90		10,78%	
V4	4.1	11,91	12,38	12,65%	11,87%
	4.2	12,52		10,40%	
	4.3	15,62		10,35%	
	4.4	11,01		13,55%	
	4.5	10,82		12,40%	
V5	5.1	7,80	8,64	15,50%	14,26%
	5.2	6,88		15,78%	
	5.3	8,50		12,40%	
	5.4	9,13		15,14%	
	5.5	10,89		12,45%	
Roster Motif 4					
V1	1.1	15,16	23,28	15,27%	13,28%
	1.2	10,75		16,81%	
	1.3	26,46		12,56%	
	1.4	31,39		10,25%	
	1.5	32,65		11,49%	
V2	2.1	8,46	16,81	17,87%	13,68%
	2.2	29,85		10,14%	
	2.3	11,65		15,07%	
	2.4	21,26		10,57%	
	2.5	12,85		14,77%	
V3	3.1	19,13	25,11	11,27%	11,22%
	3.2	21,36		10,21%	
	3.3	47,48		10,22%	
	3.4	12,94		13,37%	
	3.5	24,65		11,00%	
V4	4.1	16,93	11,20	13,04%	14,59%
	4.2	17,11		12,28%	
	4.3	8,56		14,59%	
	4.4	4,18		18,29%	

Variasi	Kode Sampel	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Rata-Rata Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Persentase Penyerapan (%)	Rata - Rata Penyerapan Air (%)
V5	4.5	9,20	4,82	14,77%	19,82%
	5.1	6,60		18,43%	
	5.2	6,77		18,75%	
	5.3	6,47		18,58%	
	5.4	0,75		27,08%	
	5.5	3,53		16,26%	

3.1.3. Roster

Kinerja mekanik dan fisik roster beton yang dibuat dengan pemanfaatan sampah plastik multilayer sebagai substitusi sebagian agregat halus pada empat jenis motif yang berbeda. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk menilai kemampuan roster menahan beban tekan sebagai elemen penyusun dinding non-struktural, sedangkan uji penyerapan air digunakan untuk menggambarkan sifat porositas dan potensi ketahanannya terhadap pengaruh lingkungan (air hujan, lembab, siklus basah-kering). Variasi motif menyebabkan perbedaan luas penampang efektif, konfigurasi rongga, serta distribusi pasta semen-agregat, sehingga berimplikasi langsung terhadap kuat tekan dan penyerapan air yang dihasilkan. Ringkasan hasil pengujian kuat tekan dan penyerapan air untuk keempat motif roster beton disajikan pada Tabel 4.

Hasil pengujian kuat tekan dan penyerapan air yang disajikan dalam Tabel 4 menunjukkan perbedaan performa antar empat motif roster beton. Pada roster motif 1, nilai kuat tekan tercatat berada pada rentang 5,48–12,18 kg/cm² untuk variasi V1 hingga V3, dengan penurunan lebih tajam pada V4 dan V5 yang hanya mencapai 0,81–7,03 kg/cm². Nilai ini seluruhnya berada di bawah batas minimum 20 kg/cm², menunjukkan bahwa motif 1 memiliki penampang struktural yang tidak mampu menahan beban secara optimal. Sebaliknya, penyerapan air pada motif ini berada pada kisaran 14–25%, dengan V1–V4 berada pada 14–18%, sedangkan V5 melonjak hingga sekitar 24–25%, mendekati batas maksimum 25%. Kombinasi rendahnya kuat tekan dan tingginya penyerapan air menggambarkan bahwa motif 1 memiliki tingkat porositas tinggi serta struktur internal yang kurang padat, diperburuk oleh penggunaan plastik multilayer yang menyebabkan terbentuknya mikrovoid pada campuran.

Pada roster motif 2, menunjukkan nilai performa yang lebih tinggi dibanding motif 1. Nilai kuat tekan untuk variasi V1 mencapai 33,37–34,15 kg/cm², menjadi nilai tertinggi pada motif ini, kemudian menurun secara bertahap pada V2–V3 dalam rentang 25,34–27,28 kg/cm², dan turun lebih lanjut pada V4–V5 hingga 16,37–22,71 kg/cm². Meski terjadi penurunan, sebagian nilai pada V1–V3 dan beberapa titik pada V4 masih berada di atas atau mendekati batas minimum, sehingga motif ini tergolong lebih stabil. Penyerapan air pada motif 2 berada dalam kisaran 10,45–13,67%, dengan V1–V3 relatif rendah pada 10,45–12,98%, sedangkan V4 meningkat ke 13,67%. Nilai penyerapan yang masih jauh di bawah batas 25% menunjukkan bahwa struktur internal

motif 2 lebih rapat dibanding motif 1, dan penggunaan plastik multilayer pada persentase rendah masih dapat diterima.

Roster motif 3 menampilkan karakteristik menengah dengan pola yang lebih fluktuatif. Kuat tekan pada V1 berkisar 19,83–29,54 kg/cm², kemudian pada V2–V3 menurun ke 7,42–20,04 kg/cm², dan menurun drastis pada V4–V5 di kisaran 6,88–15,62 kg/cm². Meski beberapa nilai awal berada mendekati batas minimum, sebagian besar nilai pada variasi campuran tinggi berada jauh di bawah persyaratan. Penyerapan air pada motif ini bervariasi antara 9–15%, dengan nilai relatif stabil pada V1–V3 (9–12%) dan meningkat pada V4–V5 (13–15%). Stabilitas nilai penyerapan air pada motif ini menunjukkan bahwa meskipun kuat tekannya menurun, kepadatan beton masih lebih baik dibanding motif 1, namun tidak sebaik motif 4. Penurunan kuat tekan pada V4–V5 menunjukkan bahwa penggunaan plastik multilayer yang tinggi memperbesar jumlah rongga pada beton karena pasta semen tidak mampu menyelimuti partikel plastik secara optimal.

Roster motif 4 memiliki performa mekanik dan fisik merupakan yang paling unggul di antara seluruh motif. Nilai kuat tekan pada V1 mencapai 10,75–32,65 kg/cm², menjadikannya nilai tertinggi pada seluruh pengujian. Pada V2–V3, nilai kuat tekan berada pada kisaran 8,46–47,48 kg/cm², rentang tersebut menunjukkan bahwa hasil kuat tekan antar benda uji masih bervariasi, sehingga nilai rata-ratanya belum dapat menunjukkan performa yang stabil. Pada V4 menurun ke 4,18–17,11 kg/cm², dan V5 menunjukkan rentang 0,75–6,77 kg/cm². Penyerapan air pada motif 4 tercatat paling rendah, yaitu 11,22%, di mana V1–V3 bertahan pada nilai 11–14%, sedangkan V4–V5 sedikit meningkat ke 14–20%. Nilai ini jauh di bawah batas maksimum 25%, mengindikasikan tingkat porositas yang rendah serta efektivitas pemadatan beton yang lebih baik. Stabilitas penyerapan air yang rendah sekaligus kuat tekan tinggi pada motif ini menunjukkan bahwa desain geometri motif memiliki pengaruh besar terhadap kemampuan beton mempertahankan kerapatan internal meskipun terdapat substitusi plastik multilayer.

Secara keseluruhan, Tabel 4 menunjukkan bahwa motif 4 memiliki kombinasi kuat tekan dan penyerapan air terbaik, disusul oleh motif 2, kemudian motif 3, dan terakhir motif 1 yang memiliki performa terlemah. Variasi campuran juga memperlihatkan pola yang konsisten, di mana V1 dan V2 secara kuantitatif memberikan nilai kuat tekan tertinggi (18–45 kg/cm²) dan penyerapan air

terendah (9–14%). Mulai V3, performa menurun, dan pada V4–V5, penurunan kuat tekan terlihat tajam di seluruh motif, sementara penyerapan air meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa batas optimal substitusi plastik multilayer berada pada komposisi rendah (V1–V2), sementara komposisi yang lebih tinggi menyebabkan bertambahnya jumlah void dan melemahnya zona transisi antarmuka, sehingga menurunkan kualitas beton. Secara kuantitatif, memperjelas bahwa hubungan antara proporsi plastik dan sifat mekanik beton bersifat negatif, sementara geometri motif berperan sebagai faktor penguat atau pelemah terhadap performa akhir produk roster beton.

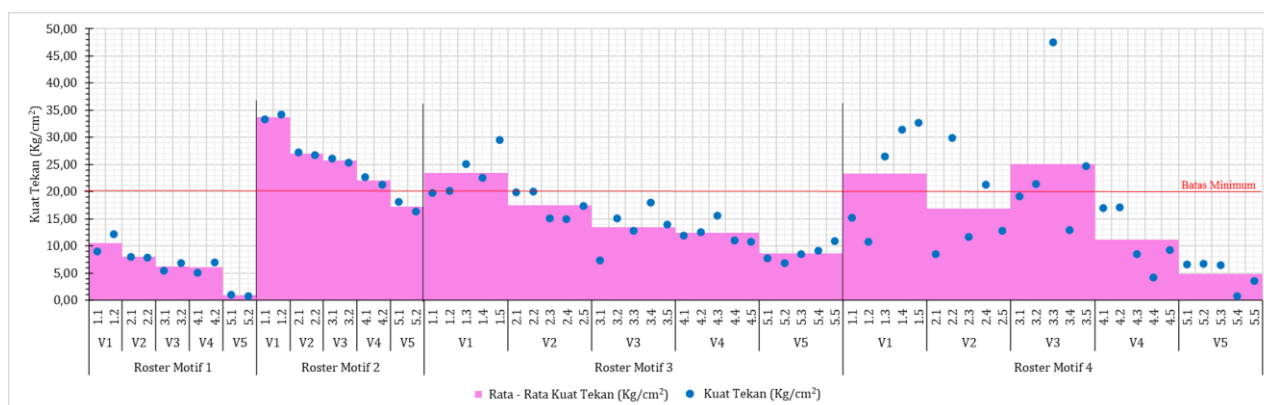
Melalui visualisasi grafik pada Gambar 6, perbedaan karakteristik antar motif baik dari segi distribusi beban, bentuk rongga, maupun luas penampang efektif, menjadi lebih terlihat dan dapat diinterpretasikan secara komprehensif. Grafik kuat tekan dan penyerapan air berperan sebagai indikator utama dalam menilai kelayakan roster beton yang memanfaatkan sampah plastik multilayer sebagai substitusi sebagian agregat halus.

Visualisasi Gambar 6 memberikan pemahaman mendalam mengenai respons struktural roster beton terhadap variasi komposisi plastik multilayer serta pengaruh geometri motif terhadap alur redistribusi tegangan. Gambar 6 menunjukkan trajektori performa setiap motif sepanjang rentang variasi campuran. Pada motif 1, grafik memperlihatkan “gradien penurunan” yang paling curam, menandakan sensitivitas struktural yang tinggi terhadap peningkatan substitusi plastik. Ketidakstabilan grafik ini menunjukkan bahwa bentuk rongga yang lebih terbuka dan penampang efektif yang kecil menyebabkan konsentrasi tegangan meningkat pada titik tertentu, sehingga ketahanan terhadap beban tekan menurun cepat seiring meningkatnya kandungan plastik. Secara pola penurunan drastis ini

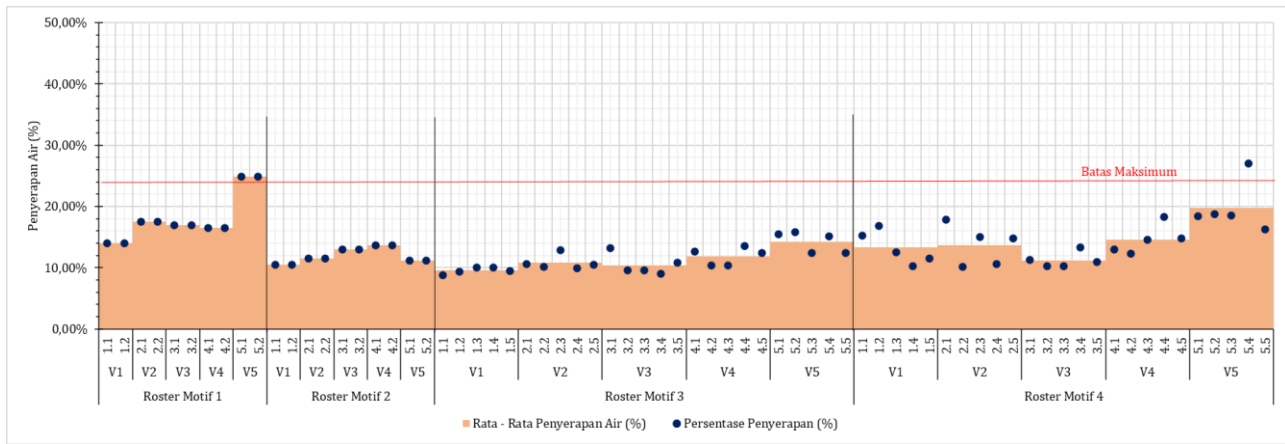
mengindikasikan ketidakmampuan struktur internal menjaga kontinuitas jalur beban, sehingga beton tidak mampu mengompensasi hilangnya partikel agregat halus yang digantikan plastik.

Berbeda dengan itu, motif 2 dan motif 3 menunjukkan pola yang lebih moderat, ditandai dengan kemiringan grafik yang lebih landai serta persebaran titik yang lebih terpusat. Pola ini menunjukkan bahwa kedua motif tersebut memiliki kemampuan adaptif yang lebih baik terhadap perubahan karakteristik material campuran, yang menunjukkan adanya keseimbangan antara luas penampang beton dan distribusi rongga. Dengan kata lain, interaksi antara bentuk geometris dan jaringan mikrostruktur beton mampu mempertahankan sebagian besar kapasitas tekan meskipun terjadi penurunan akibat substitusi plastik multilayer. Motif 3 memperlihatkan fluktuasi ringan, di mana grafiknya menunjukkan variasi naik-turun pada beberapa titik. Pola ini menandakan adanya ketidakseragaman lokal dalam pengisian beton pada area bermotif kompleks, sehingga menghasilkan mikrostruktur beton yang heterogen dan berdampak pada ketidakkonsistenan kuat tekan.

Motif 4 memperlihatkan grafik paling stabil dan dominan di area kuat tekan tinggi, menandakan bahwa desain geometrisnya paling optimal dalam meminimalkan efek negatif penggunaan plastik multilayer. Grafik ini menunjukkan bahwa roster dengan penampang lebih masif dan konfigurasi rongga yang lebih proporsional mampu mempertahankan continuity path pada jalur aliran gaya tekan. Secara pola grafik ini mengindikasikan adanya hubungan kuat antara efisiensi transfer tegangan dengan desain bentuk motif. Hal ini menegaskan bahwa dalam pemanfaatan plastik multilayer sebagai bahan substitusi, aspek desain motif menjadi parameter yang sangat menentukan efektivitas material.



Gambar 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Roster



Gambar 7. Hasil Uji Penyerapan Air Roster

Grafik Gambar 7 menunjukkan pola distribusi pori dan sensitivitas setiap motif terhadap peningkatan kadar plastik. Grafik motif 1 menunjukkan kurva peningkatan yang paling tajam, mencerminkan bahwa struktur beton pada motif ini mengalami peningkatan porositas yang cepat dan tidak terkendali. Pola grafik semacam ini mengindikasikan bahwa rongga pada motif tersebut memperbesar potensi terbentuknya jalur kapiler air yang saling terhubung, terutama ketika plastik multilayer yang bersifat hidrofobik dan tidak berikatan dengan pasta semen, menggantikan agregat halus dalam jumlah lebih besar. Keadaan ini menggambarkan terbentuknya *void interfacial* di sekitar plastik, yang bertindak sebagai reservoir kapiler dan meningkatkan laju absorpsi air.

Motif 2 dan motif 3 menunjukkan grafik yang jauh lebih stabil dibanding motif 1, dengan lereng kenaikan yang landai dan persebaran titik yang relatif terkendali. Stabilitas grafik ini menunjukkan bahwa pada kedua motif tersebut, geometri rongga lebih mampu mengakomodasi aliran beton segar, sehingga pemadatan dapat berlangsung lebih efektif dan pori yang terbentuk relatif lebih sedikit. Dalam perspektif ilmiah, pola grafik tersebut menandakan bahwa struktur internal kedua motif menunjukkan resistensi yang lebih baik terhadap pembentukan porositas sekunder, yaitu porositas yang muncul akibat ketidakhomogenan campuran dan ruang kosong di sekitar partikel plastik.

Motif 4 menampilkan grafik dengan nilai terendah dan paling stabil, yang menunjukkan porositas beton paling terkendali di antara seluruh motif. Pola grafik ini mencerminkan bahwa desain geometris motif 4 memungkinkan terjadinya pemadatan lebih baik, distribusi pasta semen lebih merata, serta minim void, sehingga jalur kapiler yang terbentuk lebih sedikit dan tidak mudah berkembang. Dalam terminologi ilmiah, bentuk grafik pada motif ini menunjukkan tingginya *matrix integrity*, yaitu kemampuan matriks beton mempertahankan kepadatan internal meskipun komposisi material mengalami perubahan.

Perbandingan kuantitatif pada tingkat substitusi yang setara dapat dilakukan pada paving blok, sedangkan perbandingan langsung pada batako dan roster masih terbatas karena penelitian terdahulu menggunakan rentang substitusi, dasar perhitungan persentase, jenis plastik, serta geometri benda uji yang berbeda. Oleh karena itu, perbandingan pada kedua produk tersebut digunakan untuk melihat kecenderungan hasil dan tidak untuk menyatakan kesetaraan kinerja secara langsung.

3.2. Pengurangan Sampah Plastik

Analisis pengurangan sampah plastik dilakukan terhadap produk dan variasi campuran yang memenuhi persyaratan teknis berdasarkan hasil pengujian. Pemanfaatan sampah plastik multilayer sebagai bahan substitusi parsial agregat halus tidak hanya diuji dari sisi kinerja mekanik dan fisik, tetapi juga dievaluasi kontribusinya terhadap pengurangan timbunan sampah plastik harian. Data pada Tabel 5 menyajikan rekapitulasi variasi campuran yang lolos uji kuat tekan dan penyerapan air, kemudian dioptimalkan dalam bentuk kapasitas produksi harian untuk menghitung besarnya plastik multilayer yang dapat dialihkan dari aliran sampah ke dalam produk konstruksi. Dengan pendekatan ini, analisis tidak hanya berhenti pada kelayakan teknis, namun diperluas menjadi kajian kuantitatif mengenai seberapa besar potensi reduksi sampah plastik (kg/hari) yang dapat dicapai jika produk-produk tersebut diproduksi secara rutin sesuai kapasitas rencana.

Berdasarkan data pada Tabel 5, akumulasi potensi teoritis pemanfaatan plastik multilayer dari skenario paving blok dan roster mencapai 544,90 kg/hari. Nilai akumulasi tersebut merupakan hasil perhitungan berdasarkan skenario kapasitas produksi dan tidak menunjukkan reduksi aktual yang telah dicapai selama penelitian.

Tabel 5. Analisis Pengurangan Sampah Plastik

Tabel 3. Analisis Pengurangan Sampah Plastik					
Variasi	Kode Sampel	Berat Produk (Kg)	Berat Plastik Multilayer (Kg)	Kapasitas Produksi Per Hari	Kontribusi Pengurangan Plastik (Kg/hari)
Paving Blok					
V2	2.1	4,77	0,78	600	468,00
	2.2	4,79			
Roster Motif 2					
V2	2.1	4,77	0,30	50	15,00
	2.2	4,79			
V3	3.1	4,48	0,46	50	23,00
	3.2	4,53			
V4	4.1	4,74	0,61	50	30,50
	4.2	4,31			
Roster Motif 4					
V3	3.1	5,07	0,14	60	8,40
	3.2	5,37			
	3.3	5,27			
	3.4	4,81			
	3.5	5,32			
Jumlah				544,90	

Pada paving blok, variasi V2 yang memenuhi kriteria kuat tekan dan penyerapan air memanfaatkan plastik multilayer lebih tinggi, yaitu sekitar 0,78 kg per unit. Dengan skenario kapasitas produksi 600 unit per hari, kontribusi pengurangan sampah plastiknya mencapai sekitar 468,00 kg/hari, menjadikannya penyumbang terbesar dalam skema daur ulang ini. Besarnya nilai ini berkaitan dengan dua faktor utama: (1) kandungan plastik per unit yang relatif besar, dan (2) kapasitas produksi harian yang tinggi karena paving blok umumnya diproduksi massal untuk kebutuhan perkerasan pekarangan, jalan lingkungan, dan area parkir. Dengan demikian, dari perspektif pengelolaan sampah, peningkatan produksi paving blok berbahan plastik multilayer menjadi strategi yang sangat efektif untuk menyerap timbunan sampah plastik dalam jumlah besar per satuan waktu, selama produk tersebut tetap memenuhi standar teknis yang disyaratkan.

Untuk roster, pemanfaatan sampah plastik multilayer terdistribusi pada dua desain motif yang lolos uji, yaitu roster motif 2 dan roster motif 4, masing-masing dengan beberapa variasi campuran. Pada roster motif 2, variasi V2, V3, dan V4 yang lolos uji mempunyai kandungan plastik multilayer berturut-turut sekitar 0,30 kg, 0,46 kg, dan 0,61 kg per unit. Dengan skenario kapasitas produksi yang sama, yaitu 50 unit per hari untuk masing-masing variasi, kontribusi pengurangan plastik yang dicapai adalah 15,00 kg/hari (V2), 23,00 kg/hari (V3), dan 30,50 kg/hari (V4). Terlihat adanya kecenderungan bahwa semakin tinggi kadar plastik dalam campuran, semakin besar pula volume sampah yang dapat direduksi, namun variasi-variasi tersebut tetap dipilih karena masih berada dalam batas aman kinerja mekanik dan fisik. Hal ini menunjukkan bahwa untuk produk roster, terdapat ruang optimasi komposisi yang relatif lebih luas, sepanjang desain motif dan mutu pengerjaan mampu menjaga kualitas produk.

Pada roster motif 4, variasi yang dinyatakan layak adalah V3, dengan kandungan plastik multilayer sekitar 0,14 kg per unit. Skenario kapasitas produksi

harian yang direncanakan sebesar 60 unit menghasilkan kontribusi pengurangan sampah plastik sebesar 8,40 kg/hari. Meskipun nilai pemanfaatan plastiknya lebih kecil dibandingkan produk lain, roster motif 4 V3 menghasilkan kuat tekan rata-rata yang memenuhi batas acuan, tetapi hasil antar benda ujinya masih menunjukkan variasi yang cukup lebar. Dengan demikian, motif ini tetap penting dalam portofolio produk karena menggabungkan fungsi estetis, teknis, dan lingkungan secara seimbang.

Analisis ini terbatas pada estimasi massa plastik multilayer yang berpotensi dimanfaatkan berdasarkan skenario kapasitas produksi dan belum mencakup penilaian dampak lingkungan secara menyeluruh melalui analisis daur hidup, pengukuran emisi, maupun konsumsi energi.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian secara keseluruhan menunjukkan bahwa keberhasilan pemanfaatan plastik multilayer sebagai substitusi agregat halus sangat dipengaruhi oleh kemampuan material mempertahankan integritas matriks semen, serta kecocokan bentuk geometri produk dengan distribusi agregat yang berubah akibat penambahan plastik. Pada pengujian fisik, nilai kuat tekan, penyerapan air, dan abrasi menunjukkan pola yang konsisten: semakin tinggi kadar plastik, semakin besar peningkatan porositas dan penurunan densitas, sehingga kekuatan mekanik menurun tajam.

Pada batako, V2 masih memenuhi persyaratan kuat tekan dengan nilai rata-rata 26,42 kg/cm², tetapi tidak memenuhi persyaratan penyerapan air karena menghasilkan nilai 67,01%. Variasi V3–V5 juga belum memenuhi persyaratan teknis yang digunakan. Dengan demikian, tidak terdapat variasi batako dengan penambahan plastik yang memenuhi kuat tekan dan penyerapan air secara bersamaan. Paving blok menunjukkan perilaku yang lebih adaptif; nilai kuat tekan 8,62 MPa, penyerapan air 7,88%, dan ketahanan aus 0.46 mm/menit, namun hasil tersebut

tidak digunakan untuk menyatakan paving blok sebagai produk paling toleran dibandingkan batako dan roster karena setiap produk memiliki parameter pengujian dan klasifikasi SNI yang berbeda.

Produk roster memperlihatkan bahwa desain geometris memiliki pengaruh yang lebih besar dibanding besaran substitusi. Roster motif 4 menghasilkan kuat tekan tertinggi 47,48 kg/cm², sedangkan motif 2 mempertahankan stabilitas pada rentang 22,01–33,76 kg/cm². Performa ini menegaskan bahwa bentuk rongga dan luas penampang efektif menentukan kemampuan roster mendistribusikan beban meskipun terjadi perubahan karakter agregat. Sebaliknya, variasi tinggi (V4–V5) menunjukkan keterbatasan pemanfaatan plastik multilayer karena kuat tekan turun ke 5–12 kg/cm² dan penyerapan air meningkat hingga 25%, menandakan terbentuknya rongga internal yang tidak dapat diatasi oleh pasta semen.

Dari dimensi lingkungan, penerapan variasi yang lolos uji memberikan analisis skenario menunjukkan bahwa potensi teoritis pemanfaatan plastik pada paving blok dan roster mencapai akumulasi mencapai 544,90 kg/hari, dengan paving blok sebagai kontributor terbesar (468 kg/hari). Nilai tersebut menunjukkan potensi pemanfaatan material dan belum dapat digunakan untuk menyimpulkan manfaat ekologis secara menyeluruh karena penelitian tidak mencakup analisis daur hidup, pengukuran emisi, maupun konsumsi energi.

Secara teknis, pemanfaatan plastik multilayer perlu dinilai secara khusus pada setiap produk dan variasi berdasarkan parameter mutu yang dipersyaratkan. Kelayakan teknis hanya dapat dinyatakan pada variasi yang memenuhi seluruh parameter pengujian sesuai standar yang digunakan, sedangkan variasi yang hanya memenuhi sebagian parameter dinyatakan memiliki potensi yang masih memerlukan perbaikan komposisi dan proses produksi. Interpretasi hasil penelitian ini dibatasi oleh penggunaan ulangan teknis tanpa analisis statistik inferensial, perbedaan prosedur pencetakan antarproduk, serta belum dilakukannya pengujian durabilitas jangka panjang. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi dampak lingkungan melalui *life cycle assessment* (LCA), potensi pelindian material, ketahanan terhadap kebakaran, durabilitas dan umur layanan, serta kelayakan ekonomi sebelum penerapan pada skala produksi yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. H., Purnamayudhia, O., Indrawati, T., Hidayat, N. A., & Kurniawan, A. R. (2023). Pemanfaatan Limbah Hasil Pembakaran Sampah Menjadi Batako di TPS Desa Mojorarejo Driyorejo Gresik. *Prosiding PKM-CSR*, 1-6.
- Afgredy, J. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Serat Plastik Terhadap Kekuatan Tekan Dan Impak Dalam Pembuatan Batako. (hal. 1-73). Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan.
- Agni, R., Jamhari, M., & Tangge, L. (2022). Pemanfaatan Limbah Plastik sebagai Bahan Campuran Batako dalam Upaya Mengatasi Sampah Rumah Tangga di Desa Mpanau, Kecamatan Sigi Biromaru Kabupaten Sigi. *Volume 3 Nomor 4 Tahun 2022 Halaman 772 - 777*.
- 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>.
- Ahmad, S., Dawood, O., Lashin, M. M. A., Khattak, S. U., Javed, M. F., Aslam, F., Khan, M. I., Elkotb, M. A., & Alaboud, T. M. (2023). Effect of coconut fiber on low-density polyethylene plastic-sand paver blocks. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(8). <https://doi.org/10.1016/j.jase.2022.101982>.
- Akinyele, J. O., Igba, U. T., & Adigun, B. G. (2020). Effect of waste PET on the structural properties of burnt bricks. *Scientific African* 7: e00301.
- Arwini, N. P. D. (2022). Sampah Plastik dan Upaya Pengurangan Timbulan Sampah Plastik. *Vastuwidya*, 5(1), 72–82.
- Assaad, J. J., Khalil, M., & Khatib, J. (2022). Alternatives to Enhance the Structural Performance of PET-Modified Reinforced Concrete Beams. *Environments - MDPI*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/environments9030037>.
- Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-0349-1989 Bata Beton Untuk Pasangan Dinding.
- Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-0691-1996: Bata beton (paving block). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-1570-1989: Bata beton karawang. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Damanhuri, E., Padmi, T. (2016). *Pengelolaan Sampah Terpadu Edisi Pertama*. Bandung: Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Dambe, D. N., & Filan, J. O. (2022). Analisis Perhitungan Harga Pokok Produksi Sebagai Dasar Penentuan Harga Jual pada PT Papua Karya Jaya. *JURNAL ULET (Utility, Earning and Tax)*, 6(2), 110-124.
- Fahmi A., & Dzikron, M. (2022). Pengendalian Kualitas Produk Roster Beton dengan Menerapkan Metode New Seven Tools dan Prinsip 5S Studi Kasus di CV Jaya Abadi. *Bandung Conference Series: Industrial Engineering Science*, 2(2), 292–301.
- Farhana, Z. F., Kamarudin, H., Rahmat, A., & Al Bakri, A. M. M. (2015). The Relationship Between Water Absorption and Porosity for Geopolymer Paste. *Materials Science Forum*, 803(August), 166–172. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.803.166>.
- Hahladakis, J. N., & Iacovidou, E. (2018). Closing the Loop on Plastic Packaging Materials: What is Quality and How Does It Affect Their Circularity?. *Science of the Total Environment*, 630, 1394–1400. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.330>.
- Hermansyah & Rikayasa. (2023). Pembuatan Batako Menggunakan Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Sebagai Bahan Pengganti Pasir untuk Menentukan Nilai Kuat Tekan. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 448-454.
- Hepiyanto, R., & Arif, S. (2019). Pengaruh Variasi Penambahan Abu Serbuk Gergaji Kayu pada Pasta Semen Terhadap Uji Bahan Semen. *Rang Teknik Journal*, 2(1), 117–122.
- Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics Recycling: Challenges and Opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115–2126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>.
- Hossain, M., Bhowmik, P., & Shaad, K. (2016). Use of Waste Plastic Aggregation in Concrete As A Constituent Material. *Progressive Agriculture*, 27(3), 383–391. <https://doi.org/10.3329/pa.v27i3.30835>.

- Putra, H. P., Sulthon, M. Z., Mistoro, N. H., Mushthofa, M., Ramadhana, F., Ibrahim, R. S., Cahyadhy, D. S., dan Ashari, A. P. (2026). Pemanfaatan Sampah Plastik Multilayer sebagai Campuran pada Bahan Bangunan Ramah Lingkungan dengan Produk Batako, Paving Blok dan Roster. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(3), 672-687, doi:10.14710/jil.24.3.672-687
- 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 Bloks By Utilising Plastic Waste And Basalt Fibers. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17107>.
- Islam, M. J., & Shahjalal, M. (2021). Effect Of Polypropylene Plastic On Concrete Properties As A Partial Replacement Of Stone And Brick Aggregate. *Case Studies in Construction Materials*, 15(June), e00627. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00627>.
- Fatriady, M. R., Rachman, M. R., Jamal, M., Muliawan, I. W., Mustika, W., & Mabui, D. S. (2022). *Teknologi Bangunan dan Material*. Tohar Media
- Kanchanapiya, P., Methacanon, P., & Tantisattayakul, T. (2018). Techno-Economic Analysis Of Light Weight Concrete Blok Development From Polyisocyanurate Foam Waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 138, 313-325. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.027>.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2024). Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN): Komposisi sampah berdasarkan jenis sampah.
- Lahtela, V., Silwal, S., Karki, T. (2020). Re-Processing of Multilayer Plastic Materials as a Part of the Recycling Process: The Features of Processed Multilayer Materials. *Polymers*. <http://dx.doi.org/10.3390/polym12112517>.
- Laila, F., & Risdianto, Y. (2018). Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Sebagai Substitusi Sebagian Pasir Pada Paving Blok. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 118-122.
- Malak, M., Kadarningsih, R., & Utama, K. A. (2025). Karakteristik Beton yang Menggunakan Limbah Plastik PVC Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus. *Composite Journal*, 5 (1), 30-36. <https://doi.org/10.37905/cj.v5i1.142>.
- Mampearachchi, W. (2019). Handbook on Concrete Blok Paving. In *Handbook on Concrete Blok Paving*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8417-2>.
- Mane, R., Rayewar, S., Katageri, S., & Patil, N. K. (2019). Use Of Plastic Waste As Partial Replacement Of Aggregate In Paver Blok. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(3), 102-105.
- Nurkhaerani, F., Sari, G. L., Debora, F., Nugroho, E. O., & Hassalum, Z. D. (2024). Analisis Paving Blok berdasarkan Sifat Tampak dan Reduksi Limbah Plastik Multilayer, Limbah Keramik Sanitary, dan Limbah Karet Alas Sepatu Analysis of Paving Bloks based on Visible Properties and Reduction of Multilayer Plastic Waste, Sanitary Ceramic. 6(2), 91-97.
- Nursyamsi, I., Ramadhan, P. (2019). The influence of the usage of ldpe plastic waste as fine aggregate in light concrete bricks. *MATEC Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20192>.
- Nurzal, E. K. (2016). Pengaruh Variasi Tekanan pada Saat Pencetakan Paving Blok dengan Penambahan 5 % Berat Fly Ash terhadap Uji Kuat Tekan. *Teknik Mesin*, ISSN 2089-4880, 6(2), 103-110. <https://ejournal.itp.ac.id/>
- Rahmadyanti, E. (2003). Uji Kelayakan Pembuatan Paving Blok dari Timbunan Sampah TPA Keputih. *Jurnal Purifikasi*, 4(4), 163-168.
- Rahni, R., Busyairi, M., & Zulya, F. (2024). Pengolahan Sampah Plastik Multilayer (Multi-Layered Packing) Sebagai Bahan Campuran Paving Blok. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, 8 (1).
- Ross, S., Jordan, B. D., & Westerfield, R. W. (2010). Fundamentals of Corporate Finance. In *Fundamentals of Corporate Finance*. https://doi.org/10.12737/textbook_5b742ef92eda62_57813862.
- Saikia, N., & De Brito, J. (2014). Mechanical Properties And Abrasion Behaviour Of Concrete Containing Shredded PET Bottle Waste As A Partial Substitution Of Natural Aggregate. *Construction and Building Materials*, 52, 236-244. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.049>.
- Sumajouw, M. D. J., Dapas, S., Windah, R. (2014). Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4 (4), 215-218.
- Sandjaya, A., Sabrina, O., & Novita, T. (2023). Strength Of Paving Blok By Replacing Up To 40% Of Fine Aggregate By Weight With Plastic Waste. *E3S Web of Conferences*, 429,3-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342905027>
- Sari & Nusa. (2019). Pemanfaatan Limbah Plastik Hdpe (High Density Polythylene) Sebagai Bahan Pembuatan Paving Blok. *Buletin Utama Teknik*, 15(1), 29-33.
- Sari, R. A. I., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2015). Pengaruh Jumlah Semen Dan Fas Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Agregat Yang Berasal Dari Sungai. *Jurnal Sipil Statik*, 3(1), 68-76.
- Sarwar, S., Shaibur, M. R., Hossain, M. S., Hossain, M. R., Ahmmmed, I., Ahmed, F. F., Sarker, M. A. H., & Shamim, A. H. M. (2023). Preparation Of Environmental Friendly Plastic Brick From High-Density Polyethylene Waste. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100291>.
- Sudarno, Nicolaas, S., & Assa, V. (2021). Pemanfaatan Limbah Plastik Untuk Pembuatan Paving Blok. *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, 3(2), 101-110.
- Suwarto, F., Fauziyah, S., Setiabudi, B., & ... (2020). Peningkatan Kuat Tekan Paving Blok Dengan Alat Cetak Mekanis. *Jurnal Pengabdian ...*, 01(03), 172-176. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jpv/article/view/6705>
- 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 Bloks. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.jestech.2021.05.012>.
- United Nation Environment Programme. (2009). Converting waste plastics into a resources. In *Assessment Guidelines*.
- Zainuri. (2021). Penanganan Sampah Plastik pada Produksi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(2), 170-177.