

Analisis Kadar Efektif Limbah Serbuk UPVC terhadap Sifat Mekanis *Paving Block*

Lalu Lunk Ryanata*, Nurul Hidayati, Aulia Muttaqin, Anwar Efendy

Universitas Muhammadiyah Mataram, Mataram-83115, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

limbah serbuk UPVC; *paving block*; kuat tekan; daya serap air; akselerator.

***Correspondence email:**

lalulungrianata@gmail.com

Submitted: 14 Juli 2026

Revised: 20 Juli 2026

Accepted: 05 Agustus 2026

Published: 09 Agustus 2026

ABSTRAK

Peningkatan limbah *Unplasticized Polyvinyl Chloride* (UPVC) dari sektor konstruksi menimbulkan permasalahan lingkungan sehingga diperlukan upaya pemanfaatan kembali sebagai material konstruksi yang bernilai guna. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi kadar limbah serbuk UPVC terhadap sifat mekanis *paving block* serta menentukan kadar efektif yang menghasilkan kinerja optimum. Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram dengan menggunakan limbah serbuk UPVC sebagai substitusi agregat halus pada variasi 0%; 0,25%; 0,50%; 0,75%; dan 1,00%, baik tanpa maupun dengan penambahan akselerator 2%. Benda uji berupa *paving block* berukuran 20 cm × 10 cm × 8 cm yang diuji setelah sampel berusia pada 14 hari untuk mengetahui kuat tekan dan daya serap air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar UPVC cenderung menurunkan kuat tekan dan meningkatkan daya serap air. Pada campuran tanpa akselerator, kuat tekan rata-rata menurun dari 19,58 MPa menjadi 14,85 MPa, sedangkan daya serap air meningkat dari 3,13% menjadi 3,34%. Penambahan akselerator 2% meningkatkan kinerja *paving block*, ditunjukkan oleh kuat tekan sebesar 24,53 MPa dan daya serap air sebesar 2,18% pada variasi 0,25% UPVC. Berdasarkan evaluasi terhadap persyaratan SNI 03-0691-1996, kadar efektif limbah serbuk UPVC yang direkomendasikan adalah 0,25% dari berat agregat halus dengan penambahan akselerator 2%, karena memberikan keseimbangan terbaik antara pemanfaatan limbah dan kinerja mekanis *paving block*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah UPVC berpotensi dimanfaatkan sebagai material alternatif yang mendukung konstruksi berkelanjutan dan ekonomi sirkular.

ABSTRACT

Keywords:

UPVC powder waste; *paving block*; compressive strength; water absorption; accelerator.

The increasing amount of *Unplasticized Polyvinyl Chloride* (UPVC) waste generated from the construction sector has become an environmental concern, highlighting the need for its reutilization as a value-added construction material. This study aimed to analyze the effect of UPVC powder waste content on the mechanical properties of paving blocks and to determine the effective dosage that provides optimum performance. The research was conducted experimentally at the Civil Engineering Laboratory of Universitas Muhammadiyah Mataram using UPVC powder waste as a partial replacement for fine aggregate at proportions of 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, and 1.00%, both without and with the addition of 2% accelerator. The specimens consisted of paving blocks measuring 20 cm × 10 cm × 8 cm and were tested at the age of 14 days to evaluate compressive strength and water absorption. The results indicated that increasing the UPVC content tended to reduce compressive strength and increase water absorption. In mixtures without accelerator, the average compressive strength decreased from 19.58 MPa to 14.85 MPa, while water absorption increased from 3.13% to 3.34%. The addition of 2% accelerator improved the performance of the paving blocks, as indicated by a compressive strength of 24.53 MPa and water absorption of 2.18% at the 0.25% UPVC variation. Based on the evaluation of the requirements specified in SNI 03-0691-1996, the recommended effective content of UPVC powder waste was 0.25% of the fine aggregate weight with the addition of 2% accelerator, as it provided the best balance between waste utilization and the mechanical performance of paving blocks. The findings demonstrate that UPVC waste has the potential to be utilized as an alternative material that supports sustainable construction and the circular economy.

PENDAHULUAN

Paving block merupakan salah satu material konstruksi yang banyak digunakan sebagai lapisan perkerasan pada trotoar, area parkir, jalan lingkungan, taman, dan kawasan permukiman karena memiliki kemudahan pemasangan, biaya yang relatif ekonomis, serta kemudahan dalam perawatan dan perbaikan (Fauzi *et al.*, 2025). Menurut SNI 03-0691-1996, *paving block* merupakan produk beton yang dibuat dari campuran semen, agregat halus, air, dan bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu produk (Arafah *et al.*, 2023). Kualitas *paving block* sangat dipengaruhi oleh

komposisi material penyusun dan karakteristik bahan yang digunakan sehingga berbagai inovasi material terus dikembangkan untuk meningkatkan mutu produk perkerasan (Mashaan & Ouano, 2025).

Kekuatan *paving block* dapat ditingkatkan melalui penambahan serbuk atau serat yang berasal dari limbah, sehingga menghasilkan material yang lebih ekonomis sekaligus ramah lingkungan. Paramita dan Putri (2025) melakukan pengujian dengan variasi kadar PET sebesar 0%; 0,5%; 1,5%; dan 2,5%, baik dengan maupun tanpa penambahan akselerator 2%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 0,5% PET memberikan peningkatan kuat tekan yang signifikan, yaitu mencapai 24,29 MPa, dibandingkan *paving block* tanpa PET. Selain itu, kombinasi penambahan 0,5% PET dan akselerator 2% menghasilkan kinerja terbaik dengan kuat tekan rata-rata sebesar 24,71 MPa. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah PET yang dikombinasikan dengan akselerator dapat meningkatkan sifat mekanis *paving block* secara optimal.

Peningkatan aktivitas pembangunan dan industri konstruksi menyebabkan jumlah limbah padat yang dihasilkan semakin besar, termasuk limbah serbuk *Unplasticized Polyvinyl Chloride* (UPVC) yang banyak berasal dari sisa produksi maupun pembongkaran material bangunan seperti pipa, kusen, dan jendela (Mouzoun *et al.*, 2023; Nurkhaerani *et al.*, 2025). Material UPVC memiliki sifat kuat, tahan korosi, tahan terhadap bahan kimia, dan memiliki umur layanan yang panjang sehingga banyak digunakan pada sektor konstruksi (Ceran *et al.*, 2019). Namun demikian, limbah UPVC sulit terdegradasi secara alami sehingga berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik (MN *et al.*, 2023). Oleh karena itu, pemanfaatan kembali limbah UPVC sebagai bahan konstruksi merupakan salah satu alternatif yang dapat mendukung konsep pembangunan berkelanjutan dan ekonomi sirkular (Mouzoun *et al.*, 2023).

Penelitian lain menunjukkan bahwa penambahan akselerator dapat meningkatkan mutu material. Zainudin dan Nurkholis (2020) melakukan pengujian dengan variasi kadar akselerator sebesar 0%, 1%, 2%, dan 2,5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi penambahan akselerator 2%, dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 16,84 MPa pada umur 7 hari dan 26,09 MPa pada umur 28 hari. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan akselerator pada kadar yang tepat dapat meningkatkan perkembangan kuat tekan beton secara optimal.

Penggunaan limbah plastik dalam campuran beton dan *paving block* diketahui dapat mempengaruhi sifat fisik maupun mekanis material yang dihasilkan (Mildawati *et al.*, 2022). Pada komposisi tertentu, partikel plastik dapat berperan sebagai bahan pengisi yang membantu meningkatkan kepadatan campuran (Agyeman *et al.*, 2019). Sebaliknya, penggunaan plastik dalam jumlah yang terlalu besar dapat mengurangi ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga berpotensi menurunkan kuat tekan dan meningkatkan porositas material (Alaydrus *et al.*, 2026).

Meskipun penelitian mengenai pemanfaatan limbah plastik pada *paving block* telah banyak dilakukan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada penggunaan PET, PP, dan HDPE (Abadi *et al.*, 2026). Penelitian yang secara khusus mengkaji pemanfaatan limbah serbuk UPVC sebagai bahan campuran *paving block* masih relatif terbatas (Saputra *et al.*, 2026). Selain itu, informasi mengenai kadar efektif limbah UPVC yang mampu menghasilkan sifat mekanis optimum berupa kuat tekan dan daya serap air masih belum banyak dilaporkan. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang perlu dikaji lebih lanjut.

Berdasarkan kondisi tersebut, kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada analisis kadar efektif limbah UPVC sebagai bahan substitusi dalam campuran *paving block* untuk memperoleh karakteristik mekanis optimum berdasarkan parameter kuat tekan dan daya serap air sesuai persyaratan SNI 03-0691-1996. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kadar limbah serbuk UPVC terhadap sifat mekanis *paving block* serta menentukan kadar efektif limbah UPVC yang menghasilkan mutu *paving block* terbaik sebagai alternatif material konstruksi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

METODE

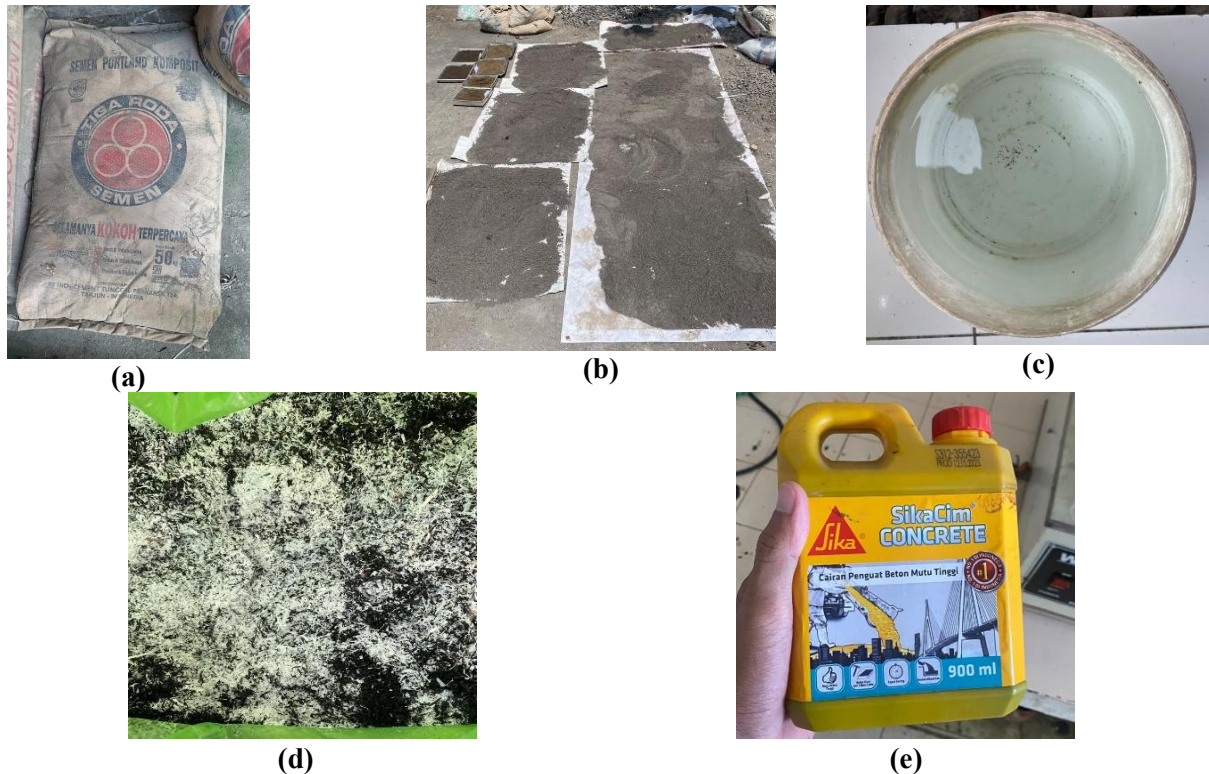
Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram untuk mengetahui pengaruh variasi kadar limbah serbuk *Unplasticized Polyvinyl Chloride* (UPVC) terhadap sifat mekanis *paving block*. Benda uji yang digunakan berupa *paving block* dengan variasi persentase limbah serbuk UPVC sebagai substitusi agregat halus. Setiap variasi campuran dibuat sebanyak 5 benda uji sehingga jumlah total benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah 50 sampel *paving block* yang kemudian diperoleh nilai rata-rata yang representatif. Benda uji dicetak menggunakan cetakan *paving block* berbentuk persegi panjang dengan ukuran 20 cm × 10 cm × 8 cm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 14 hari. Nilai yang disajikan merupakan hasil kuat tekan aktual pada umur pengujian dikonversi menjadi kuat tekan umur 28 hari.

Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian tahapan yang meliputi persiapan alat dan bahan penelitian, pengambilan limbah serbuk UPVC, pemeriksaan karakteristik agregat halus, perencanaan komposisi campuran *paving block*, penimbangan material sesuai variasi campuran, pencampuran material hingga homogen, pencetakan dan pemadatan benda uji, pelepasan benda uji dari cetakan, perawatan (*curing*) selama 14 hari, pengujian kuat tekan dan daya serap air, analisis data hasil pengujian, dan penarikan kesimpulan dari hasil penelitian.

Bahan Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas semen Portland Tipe I sebagai bahan pengikat utama, agregat halus berupa pasir lokal yang berfungsi sebagai material pengisi, air bersih yang digunakan untuk proses hidrasi semen, limbah serbuk *Unplasticized Polyvinyl Chloride* (UPVC) sebagai bahan substitusi sebagian agregat halus, serta cairan akselerator produk Sikacim yang digunakan untuk mempercepat proses pengikatan dan pengerasan campuran yang dapat dilihat pada gambar 1:



Gambar 1. (a) Semen, (b) Agregat Halus, (c) Air, (d) Limbah Serbuk UPVC, (e) Akselerator.

Pemeriksaan Karakteristik Material

Pemeriksaan karakteristik material dilakukan terhadap agregat halus yang digunakan dalam campuran *paving block*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas agregat dan memastikan bahwa material memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran.

1. Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butiran agregat halus. Sampel pasir yang telah dikeringkan ditimbang kemudian diayak menggunakan susunan ayakan standar. Berat agregat yang tertahan pada setiap ayakan dicatat untuk menentukan persentase lolos dan gradasi agregat.

2. Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan dengan mengambil sampel agregat halus kemudian ditimbang dalam kondisi alami. Sampel selanjutnya dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105–110°C hingga mencapai berat konstan. Selisih berat sebelum dan sesudah pengeringan digunakan untuk menghitung kadar air agregat. Persentase kadar air dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$KA = \frac{(W1 - W2)}{W2} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

KA = kadar air (%)

W1 = berat agregat sebelum oven (gram)

W2 = berat agregat setelah oven (gram)

3. Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur dilakukan dengan metode pencucian. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kandungan kadar lumpur yang ada di dalam agregat halus (pasir). Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F batas maksimum kadar lumpur dalam agregat halus (pasir) sebesar 5%.

Persentase kadar lumpur dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$KL = \frac{(A-B)}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

KL = kadar lumpur (%)

A = berat agregat sebelum dicuci (gram)

B = berat agregat setelah dioven (gram)

Variasi Campuran

Paving block pada penelitian ini dibuat menggunakan campuran semen dan agregat halus dengan perbandingan 1:4. Air yang digunakan pada seluruh variasi campuran dibuat tetap sebesar 2 liter untuk satu variasi setiap satu kali adukan, dengan faktor air-semen sebesar 0,35 dari berat semen. Penggunaan jumlah air yang sama bertujuan agar perubahan kuat tekan dan daya serap air terutama dipengaruhi oleh variasi kadar UPVC dan penambahan akselerator. Akselerator digunakan sebesar 2% terhadap berat semen. Dengan berat semen sebesar 0,696 kg pada setiap *paving block*, kebutuhan akselerator dihitung berdasarkan petunjuk penggunaan produk dan dikonversi ke dalam satuan mililiter sesuai densitas bahan.

Limbah serbuk UPVC digunakan sebagai bahan substitusi sebagian agregat halus dalam bentuk serbuk hasil grinding. Pemilihan limbah serbuk UPVC dilakukan untuk memperoleh distribusi campuran yang lebih merata dan meningkatkan interaksi antara partikel UPVC dengan pasta semen. Variasi persentase limbah serbuk UPVC yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0%; 0,25%; 0,50%; 0,75%; dan 1,00% dari berat agregat halus. Variasi tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh peningkatan kadar limbah serbuk UPVC terhadap sifat mekanis *paving block* serta menentukan kadar efektif yang menghasilkan karakteristik terbaik. Variasi campuran yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Variasi Campuran *Paving Block* Tanpa Akselerator

Variasi UPVC	Semen (kg/ <i>paving block</i>)	Pasir (kg/ <i>paving block</i>)	UPVC (kg/ <i>paving block</i>)	UPVC (g/ <i>paving block</i>)	TOTAL (kg/ <i>paving block</i>)
0%	0,696	2,783	0,000	0,000	3,478
0,25%	0,696	2,774	0,009	8,696	3,478
0,50%	0,696	2,765	0,017	17,392	3,478
0,75%	0,696	2,757	0,026	26,088	3,478
1,00%	0,696	2,748	0,035	34,784	3,478

Tabel 2. Variasi Campuran *Paving block* dengan Penambahan 2% Akselerator

Variasi UPVC	Semen (kg/ <i>paving block</i>)	Pasir (kg)	UPVC (kg)	UPVC (g)	2% Akselerator(ml)	TOTAL (kg/ <i>paving block</i>)
0%	0,696	2,783	0,000	0,00	11,892	3,478
0,25%	0,696	2,774	0,009	8,696	11,892	3,478
0,50%	0,696	2,765	0,017	17,392	11,892	3,478
0,75%	0,696	2,757	0,026	26,088	11,892	3,478
1,00%	0,696	2,748	0,035	34,784	11,892	3,478

Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji diawali dengan persiapan seluruh material yang akan digunakan. Pasir terlebih dahulu dikeringkan dan diayak untuk memperoleh ukuran butiran yang seragam. Limbah serbuk UPVC hasil grinding dibersihkan dari kotoran yang masih menempel dan dikeringkan sebelum digunakan. Setelah seluruh material siap, dilakukan penimbangan sesuai komposisi campuran yang telah ditentukan. Semen, pasir, dan serbuk UPVC dicampur dalam keadaan kering hingga homogen. Selanjutnya air ditambahkan secara bertahap sambil dilakukan pengadukan hingga diperoleh campuran yang merata dan mudah dicetak.

Campuran yang telah homogen dimasukkan ke dalam cetakan *paving block* berukuran 20 cm × 10 cm × 8 cm. Pemadatan dilakukan secara bertahap untuk meminimalkan rongga udara dalam campuran. Setelah cetakan terisi penuh, permukaan benda uji diratakan dan dilepaskan dari cetakan dan dilakukan pemeriksaan visual untuk memastikan tidak terdapat kerusakan, retakan, maupun cacat permukaan yang dapat mempengaruhi hasil pengujian.



Gambar 2. Paving Block + UPVC



Gambar 3. Paving Block + UPVC + 2% Akselerator

Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Benda uji yang telah dilepaskan dari cetakan direndam dalam bak *curing* yang berisi air bersih pada suhu ruang. Perawatan dilakukan selama 14 hari untuk menjaga kelembapan benda uji dan memastikan proses hidrasi semen berlangsung secara optimal. Air perendaman dijaga agar seluruh permukaan benda uji tetap terendam selama masa *curing*. Setelah mencapai umur 14 hari, benda uji dikeluarkan dari bak perendaman dan dikeringkan pada suhu ruang sebelum dilakukan pengujian.

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan berdasarkan SNI 03-0691-1996. Setelah mencapai umur 14 hari, benda uji dikeluarkan dari bak perendaman dan dikeringkan dari air yang menempel pada permukaan. Benda uji *paving block* ditempatkan pada mesin uji tekan dan diberikan beban secara bertahap hingga mencapai beban maksimum yang menyebabkan keruntuhan. Nilai kuat tekan dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$f'c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

$f'c$ = kuat tekan (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas bidang tekan (mm^2)

Dalam rangka memperoleh estimasi kuat tekan pada umur 28 hari, hasil pengujian kuat tekan pada umur 14 hari dikonversi berdasarkan faktor perkembangan kuat tekan beton yang mengacu pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971 (NI-2). Berdasarkan ketentuan tersebut, kuat tekan beton pada umur 14 hari diasumsikan telah mencapai sekitar 88% dari kuat tekan beton pada umur 28 hari. Oleh karena itu, nilai kuat tekan ekuivalen umur 28 hari dihitung menggunakan faktor konversi sebagaimana disajikan pada Persamaan (4).

$$f'c_{28} = \frac{f'c_{14}}{0,88} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

$f'c_{28}$ = kuat tekan ekuivalen umur 28 hari (MPa)

$f'c_{14}$ = kuat tekan hasil pengujian umur 14 hari (MPa)

0,88 = faktor perkembangan kuat tekan beton pada umur 14 hari terhadap kuat tekan umur 28 hari menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971 (NI-2).

Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air bertujuan untuk mengetahui kemampuan *paving block* dalam menyerap air. Pengujian dilakukan pada benda uji yang telah berumur 14 hari. Benda uji terlebih dahulu direndam dalam air bersih selama 24 jam agar mencapai kondisi jenuh. Setelah perendaman selesai, benda uji diangkat dan permukaannya dilap menggunakan kain lembap untuk menghilangkan air yang menempel, kemudian segera ditimbang untuk memperoleh berat basah (M_b). Selanjutnya, benda uji dikeringkan pada suhu ruang hingga mencapai berat konstan, kemudian ditimbang kembali untuk memperoleh berat kering (M_k). Nilai daya serap air dihitung berdasarkan persentase selisih antara berat basah (M_b) dan berat kering (M_k) terhadap berat kering (M_k).

Persentase daya serap air dihitung menggunakan Persamaan (5),

$$WA = \frac{(M_b - M_k)}{M_k} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

WA = daya serap air (%)

Mb = berat benda uji setelah perendaman (gram)

Mk = berat benda uji kering (gram)

Nilai daya serap air setiap variasi campuran diperoleh dari rata-rata lima benda uji.

Analisis Data

Data hasil pengujian kuat tekan dan daya serap air dari setiap variasi campuran dihitung nilai rata-ratanya. Hasil pengujian kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan analisis hubungan antara persentase limbah serbuk UPVC dengan sifat mekanis *paving block*. Nilai kuat tekan dan daya serap air yang diperoleh dibandingkan dengan persyaratan mutu *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996. Variasi campuran yang menghasilkan kombinasi nilai kuat tekan tertinggi dan daya serap air terendah ditetapkan sebagai kadar efektif limbah serbuk UPVC pada penelitian ini.

HASIL

Uji Material

Pengujian material dilakukan untuk mengetahui karakteristik agregat halus yang digunakan sebagai bahan penyusun *paving block*. Karakteristik agregat merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi kualitas campuran, terutama terhadap kuat tekan dan daya serap air *paving block* yang dihasilkan. Pada penelitian ini, pengujian material meliputi pengujian kadar air, kadar lumpur, dan analisis saringan agregat halus. Hasil pengujian tersebut digunakan untuk memastikan bahwa agregat yang digunakan memenuhi persyaratan teknis dan layak digunakan dalam campuran *paving block*. Hasil pengujian material disajikan pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 3. Kadar Air Agregat Halus

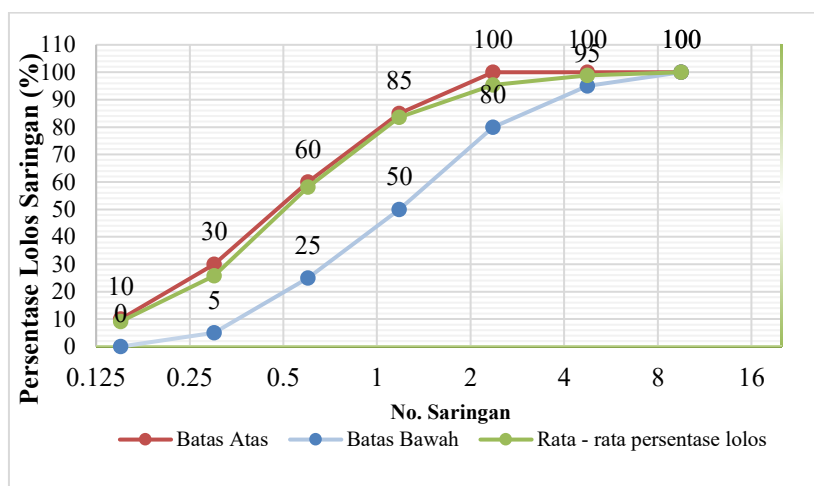
Benda Uji	Berat cawan (g)	Berat Cawan + Agregat (g)		Agregat (g)		Kadar Air (%)	Kadar Air Rata-rata (%)
		sebelum dioven	setelah di oven	sebelum dioven	setelah di oven		
1	58,3	558,3	541,2	500	482,9	3,54	3,71
2	41,1	541,1	522,4	500	481,3	3,89	

Berdasarkan hasil pengujian kadar air agregat halus pada Tabel 3, diperoleh nilai kadar air sebesar 3,54% pada pengujian pertama dan 3,89% pada pengujian kedua. Nilai kadar air rata-rata agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 3,71%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kadar air agregat masih berada pada rentang yang diperbolehkan untuk campuran beton, yaitu kurang dari 5%, sehingga agregat halus yang digunakan tergolong baik dan memenuhi syarat sebagai bahan penyusun *paving block*.

Tabel 4. Kadar Lumpur Agregat Halus

Benda Uji	Berat cawan (g)	Berat Cawan + Agregat (g)		Agregat (g)		Kadar Lumpur (%)	Kadar Lumpur Rata-rata (%)
		sebelum dioven	setelah di oven	sebelum dioven	setelah di oven		
1	58,2	558,2	539,2	500	481	3,95	3,93
2	69,6	569,6	550,8	500	481,2	3,91	

Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus yang disajikan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa kadar lumpur pada pengujian pertama sebesar 3,95%, sedangkan pada pengujian kedua sebesar 3,91%. Nilai kadar lumpur rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 3,93%. Nilai tersebut masih berada di bawah batas maksimum kadar lumpur agregat halus yang dipersyaratkan, sehingga agregat yang digunakan dapat dikategorikan layak untuk campuran *paving block*. Kandungan lumpur yang rendah diharapkan dapat meningkatkan ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga menghasilkan *paving block* dengan kualitas yang lebih baik.



Gambar 4. Grafik Analisis Saringan Agregat Halus (Pasir)

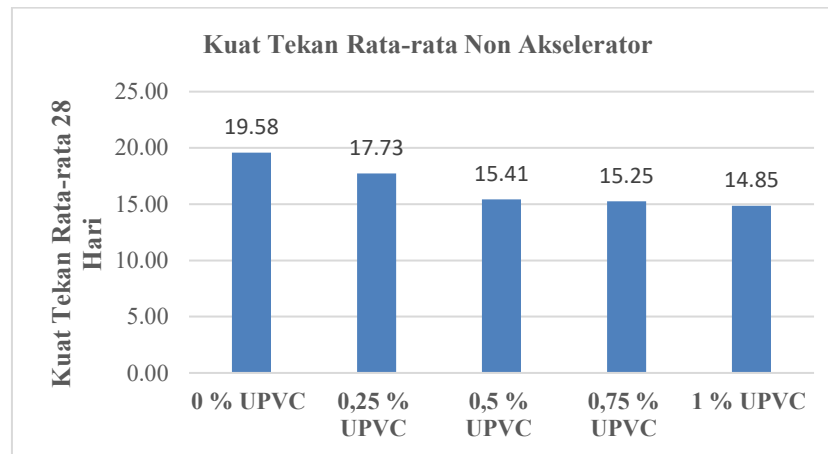
Hasil analisis saringan agregat halus pada gambar 4 menunjukkan distribusi ukuran butiran agregat yang digunakan dalam penelitian. Berdasarkan hasil pengujian, agregat halus memiliki nilai modulus kehalusan (*fineness modulus*) sebesar 2,29. Nilai tersebut menunjukkan bahwa agregat yang digunakan termasuk dalam kategori pasir sedang (gradasi 2) dan masih memenuhi persyaratan sebagai agregat halus untuk campuran *paving block*. Distribusi gradasi yang baik akan menghasilkan susunan butiran yang lebih rapat sehingga dapat meningkatkan kepadatan campuran dan mendukung peningkatan sifat mekanis *paving block* yang dihasilkan.

Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Tanpa Penambahan Akselerator

Pengujian kuat tekan *paving block* tanpa penambahan akselerator dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar limbah UPVC terhadap kemampuan *paving block* dalam menahan beban tekan. Pengujian dilakukan pada umur 14 hari terhadap lima benda uji untuk setiap variasi campuran, kemudian hasilnya dikonversi menjadi kuat tekan ekuivalen umur 28 hari. Variasi campuran yang digunakan terdiri atas 0%; 0,25%; 0,50%; 0,75%; dan 1,00% UPVC sebagai substitusi agregat halus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan limbah serbuk UPVC dalam jumlah tertentu mampu meningkatkan kuat tekan *paving block*, namun pada persentase yang lebih tinggi justru menyebabkan penurunan kekuatan. Hasil lengkap pengujian kuat tekan *paving block* tanpa akselerator disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* Tanpa Penambahan Akselerator

Variasi	Sampel	Umur (Hari)	Luas Bidang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan 28 hari (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
0 % UPVC	1	14	20000	17,25	19,60	19,58
	2	14	20000	16,8	19,09	
	3	14	20000	16,85	19,15	
	4	14	20000	16,35	18,58	
	5	14	20000	18,9	21,48	
0,25 % UPVC	1	14	20000	14,95	16,99	17,73
	2	14	20000	15,3	17,39	
	3	14	20000	16,9	19,20	
	4	14	20000	14,55	16,53	
	5	14	20000	16,3	18,52	
0,5 % UPVC	1	14	20000	13,9	15,80	15,41
	2	14	20000	12,8	14,55	
	3	14	20000	12,45	14,15	
	4	14	20000	14,25	16,19	
	5	14	20000	14,4	16,36	
0,75 % UPVC	1	14	20000	12,45	14,15	15,25
	2	14	20000	13	14,77	
	3	14	20000	13,2	15,00	
	4	14	20000	13,55	15,40	
	5	14	20000	14,9	16,93	
1 % UPVC	1	14	20000	12,9	14,66	14,85
	2	14	20000	12,7	14,43	
	3	14	20000	14,15	16,08	
	4	14	20000	13,2	15,00	
	5	14	20000	12,4	14,09	



Gambar 5. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata Tanpa Akselerator

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 5 dan gambar 5, nilai kuat tekan rata-rata *paving block* cenderung mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya persentase penambahan serbuk UPVC. Campuran kontrol (0% UPVC) menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 19,58 MPa. Pada penambahan 0,25% UPVC, nilai kuat tekan menurun menjadi 17,73 MPa. Penurunan yang lebih lanjut terjadi pada variasi 0,50% UPVC dan 0,75% UPVC dengan nilai kuat tekan rata-rata masing-masing sebesar 15,41 MPa dan 15,25 MPa. Nilai kuat tekan terendah diperoleh pada variasi 1,00% UPVC yaitu sebesar 14,85 MPa.

Tren penurunan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kadar UPVC dalam campuran *paving block* memberikan pengaruh negatif terhadap kemampuan material dalam menahan beban tekan. Meskipun pada kadar rendah UPVC masih dapat berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*), jumlah yang semakin besar menyebabkan berkurangnya proporsi agregat halus yang berperan penting dalam pembentukan struktur yang padat dan kuat. Selain itu, sifat UPVC yang tidak bereaksi secara kimia dengan pasta semen dapat mengurangi kualitas ikatan antar material dalam matriks *paving block*.

Penurunan kuat tekan juga diduga berkaitan dengan meningkatnya jumlah rongga (*void*) yang terbentuk akibat distribusi partikel UPVC yang kurang homogen di dalam campuran. Kondisi tersebut menyebabkan kepadatan *paving block* berkurang sehingga kemampuan material dalam menerima dan mendistribusikan beban tekan menjadi lebih rendah. Berdasarkan hasil pengujian, campuran kontrol tanpa penambahan UPVC menghasilkan kuat tekan tertinggi, sedangkan penambahan UPVC hingga 1,00% menyebabkan penurunan kuat tekan sebesar sekitar 24,16% dibandingkan campuran kontrol.

Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* dengan Penambahan Akselerator

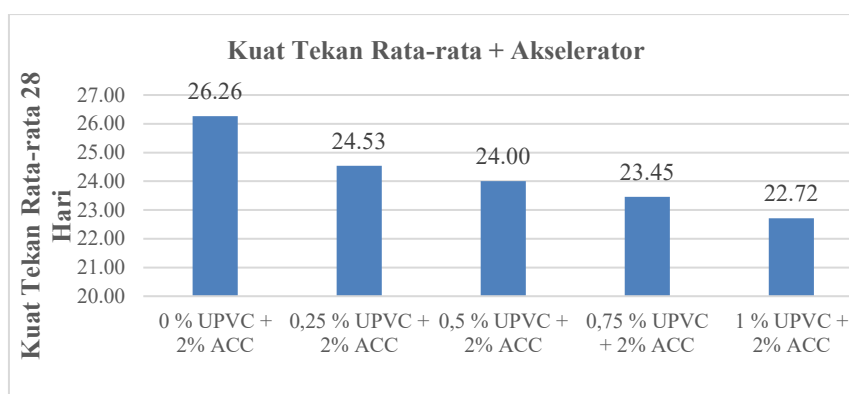
Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kemampuan *paving block* dalam menahan beban tekan setelah diberikan variasi penambahan limbah UPVC dan akselerator sebesar 2. Pengujian dilakukan pada umur 14 hari terhadap lima sampel untuk setiap variasi campuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi kadar limbah serbuk UPVC memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai kuat tekan *paving block*. Secara umum, penambahan limbah serbuk UPVC dalam jumlah tertentu masih mampu menghasilkan kuat tekan yang memenuhi persyaratan mutu *paving block*, namun peningkatan kadar UPVC yang terlalu tinggi cenderung menyebabkan penurunan kuat tekan. Hasil lengkap pengujian kuat tekan *paving block* dengan penambahan akselerator disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* dengan Penambahan 2% Akselerator

Variasi	Sampel	Umur (Hari)	Luas Bidang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan 28 hari (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
0 % UPVC + 2% Akselerator	1	14	20000	24,15	27,44	26,26
	2	14	20000	23,85	27,10	
	3	14	20000	22,85	25,97	
	4	14	20000	22,45	25,51	
	5	14	20000	22,25	25,28	
0,25 % UPVC + 2% Akselerator	1	14	20000	23,7	26,93	24,53
	2	14	20000	20,3	23,07	
	3	14	20000	22,45	25,51	
	4	14	20000	22,45	23,24	
	5	14	20000	21,05	23,92	

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block* dengan Penambahan 2% Akselerator (Lanjutan)

Variasi	Sampel	Umur (Hari)	Luas Bidang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan 28 hari (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
0,5 % UPVC + 2% Akselerator	1	14	20000	23,5	26,70	24,00
	2	14	20000	18,75	21,31	
	3	14	20000	23	26,14	
	4	14	20000	18,95	21,53	
	5	14	20000	21,4	24,32	
0,75 % UPVC + 2% Akselerator	1	14	20000	21,1	23,98	23,45
	2	14	20000	18,75	21,31	
	3	14	20000	23	26,14	
	4	14	20000	18,95	21,53	
	5	14	20000	21,4	24,32	
1 % UPVC + 2% Akselerator	1	14	20000	21,1	23,98	22,72
	2	14	20000	16,65	18,92	
	3	14	20000	22,15	25,17	
	4	14	20000	19,4	22,05	
	5	14	20000	20,65	23,47	



Gambar 6. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata Dengan Penambahan Akselerator

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 6, nilai kuat tekan rata-rata *paving block* dengan penambahan 2% akselerator menunjukkan kecenderungan menurun seiring bertambahnya kadar UPVC. Campuran kontrol (0% UPVC + 2% akselerator) menghasilkan kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 26,26 MPa. Pada penambahan 0,25% UPVC + 2% akselerator, nilai kuat tekan menurun menjadi 24,53 MPa. Selanjutnya, variasi 0,50% UPVC + 2% akselerator menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 24,00 MPa, sedangkan pada variasi 0,75% dan 1,00% UPVC masing-masing sebesar 23,45 MPa dan 22,72 MPa.

Meskipun terjadi penurunan kuat tekan pada setiap peningkatan kadar UPVC, seluruh variasi dengan penambahan akselerator menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan campuran tanpa akselerator. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan akselerator mampu mempercepat proses hidrasi semen sehingga pembentukan produk hidrasi berlangsung lebih optimal dan menghasilkan struktur *paving block* yang lebih padat pada umur pengujian 14 hari.

Penurunan kuat tekan yang tetap terjadi pada kadar UPVC yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa efek negatif UPVC terhadap ikatan antara pasta semen dan agregat masih lebih dominan dibandingkan kontribusinya sebagai bahan pengisi. Semakin besar persentase UPVC yang ditambahkan, semakin besar pula potensi terbentuknya rongga dan zona transisi yang lemah di dalam matriks *paving block*. Kondisi ini menyebabkan kemampuan material dalam menahan beban tekan berkurang meskipun telah ditambahkan akselerator.

Secara keseluruhan, campuran 0% UPVC + 2% akselerator memberikan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 26,26 MPa. Namun demikian, penambahan UPVC hingga 1,00% masih menghasilkan kuat tekan di atas 22 MPa, yang menunjukkan bahwa penggunaan akselerator mampu mempertahankan kinerja mekanik *paving block* meskipun sebagian agregat halus digantikan oleh serbuk UPVC.

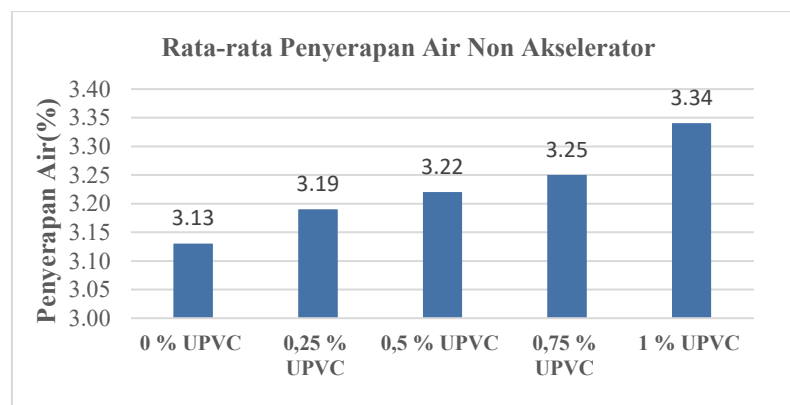
Hasil Uji Daya Serap Air *Paving Block* Tanpa Penambahan Akselerator

Pengujian daya serap air dilakukan untuk mengetahui kemampuan *paving block* dalam menyerap air melalui pori-pori yang terbentuk selama proses pengerasan. Nilai daya serap air merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas *paving block* karena berkaitan dengan tingkat kepadatan dan durabilitas material. Semakin rendah nilai daya serap air, semakin rapat struktur internal *paving block* yang terbentuk. Pada penelitian ini, pengujian daya

serap air dilakukan terhadap lima benda uji untuk setiap variasi kadar UPVC, yaitu 0%; 0,25%; 0,50%; 0,75%; dan 1,00%. Hasil pengujian daya serap air *paving block* tanpa penambahan akselerator disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Uji Daya Serap Air *Paving Block* Tanpa Akselerator

Variasi	Sampel	Berat Basah (g)	Berat Kering (g)	Penyerapan Air (%)	Rata - Rata Penyerapan Air (%)
0 % UPVC	1	3312	3214	3,049	3,13
	2	3336	3237	3,058	
	3	3284	3185	3,108	
	4	3298	3194	3,256	
	5	3328	3226	3,162	
0,25 % UPVC	1	3264	3166	3,095	3,19
	2	3276	3173	3,246	
	3	3266	3174	2,899	
	4	3267	3165	3,223	
	5	3262	3152	3,490	
0,5 % UPVC	1	3254	3152	3,236	3,22
	2	3252	3151	3,205	
	3	3249	3147	3,241	
	4	3228	3128	3,197	
	5	3212	3112	3,213	
0,75 % UPVC	1	3176	3074	3,318	3,25
	2	3189	3092	3,137	
	3	3172	3071	3,289	
	4	3193	3101	2,967	
	5	3135	3028	3,534	
1 % UPVC	1	3367	3268	3,029	3,34
	2	3389	3278	3,386	
	3	3369	3258	3,407	
	4	3334	3234	3,092	
	5	3327	3205	3,807	



Gambar 7. Grafik Daya Serap Air Tanpa Akselerator

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 7 dan Gambar 7, nilai daya serap air rata-rata *paving block* menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya persentase serbuk UPVC dalam campuran. Campuran kontrol (0% UPVC) memiliki daya serap air rata-rata sebesar 3,13%, kemudian meningkat menjadi 3,19% pada variasi 0,25% UPVC, 3,22% pada variasi 0,50% UPVC, dan 3,25% pada variasi 0,75% UPVC. Nilai daya serap air tertinggi diperoleh pada variasi 1,00% UPVC, yaitu sebesar 3,34%.

Peningkatan nilai daya serap air tersebut menunjukkan bahwa penambahan UPVC memberikan pengaruh terhadap karakteristik porositas *paving block*. Semakin tinggi kadar UPVC yang digunakan, semakin besar kecenderungan meningkatnya kemampuan material dalam menyerap air. Namun demikian, peningkatan yang terjadi relatif kecil, yaitu hanya sebesar 0,21% antara campuran kontrol dan variasi 1,00% UPVC.

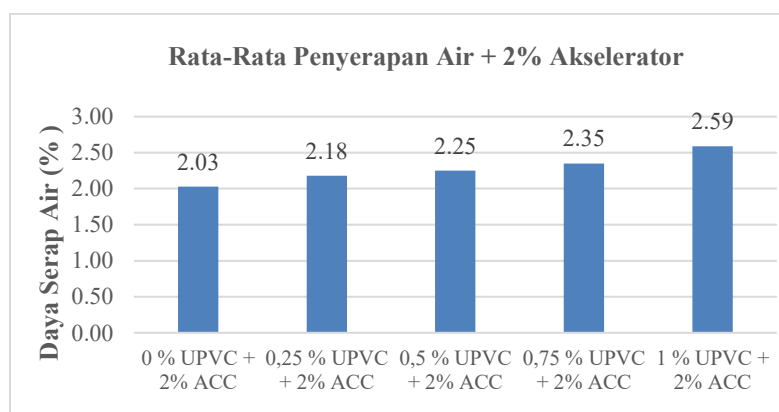
Secara keseluruhan, seluruh variasi campuran menghasilkan nilai daya serap air pada rentang 3,13%–3,34%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa *paving block* yang dihasilkan masih memiliki tingkat kepadatan yang baik dan memenuhi persyaratan mutu berdasarkan SNI 03-0691-1996. Dengan demikian, penggunaan serbuk UPVC hingga kadar 1,00% masih dapat diterapkan tanpa menyebabkan peningkatan daya serap air yang signifikan.

Hasil Uji Daya Serap Air Paving Block dengan Penambahan 2% Akselerator

Pengujian daya serap air pada *paving block* dengan penambahan 2% akselerator dilakukan untuk mengetahui pengaruh kombinasi limbah serbuk UPVC dan akselerator terhadap kemampuan material dalam menyerap air. Nilai daya serap air digunakan sebagai salah satu indikator kepadatan dan kualitas *paving block* yang dihasilkan, di mana semakin rendah nilai penyerapan air menunjukkan struktur internal yang semakin rapat. Pengujian dilakukan terhadap lima benda uji pada setiap variasi campuran UPVC, yaitu 0%; 0,25%; 0,50%; 0,75%; dan 1,00%. Hasil pengujian daya serap air *paving block* dengan penambahan 2% akselerator disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Uji Daya Serap Air Paving Block dengan Penambahan 2% Akselerator

Variasi	Sampel	Berat Basah (g)	Berat Kering (g)	Penyerapan Air (%)	Rata - Rata Penyerapan Air (%)
0 % UPVC + 2% Akselerator	1	3441	3373	2,016	2,03
	2	3424	3357	1,996	
	3	3426	3358	2,025	
	4	3434	3364	2,081	
	5	3452	3384	2,009	
0,25 % UPVC + 2% Akselerator	1	3396	3321	2,258	2,18
	2	3417	3347	2,091	
	3	3387	3320	2,018	
	4	3413	3337	2,277	
	5	3382	3308	2,237	
0,5 % UPVC + 2% Akselerator	1	3381	3313	2,053	2,25
	2	3401	3321	2,409	
	3	3369	3302	2,029	
	4	3395	3320	2,259	
	5	3388	3306	2,480	
0,75 % UPVC + 2% Akselerator	1	3329	3251	2,399	2,35
	2	3319	3247	2,217	
	3	3366	3288	2,372	
	4	3368	3290	2,371	
	5	3350	3272	2,384	
1 % UPVC + 2% Akselerator	1	3287	3206	2,527	2,59
	2	3290	3208	2,556	
	3	3292	3211	2,523	
	4	3310	3227	2,572	
	5	3293	3204	2,778	



Gambar 8. Grafik Daya Serap Air Dengan Penambahan Akselerator

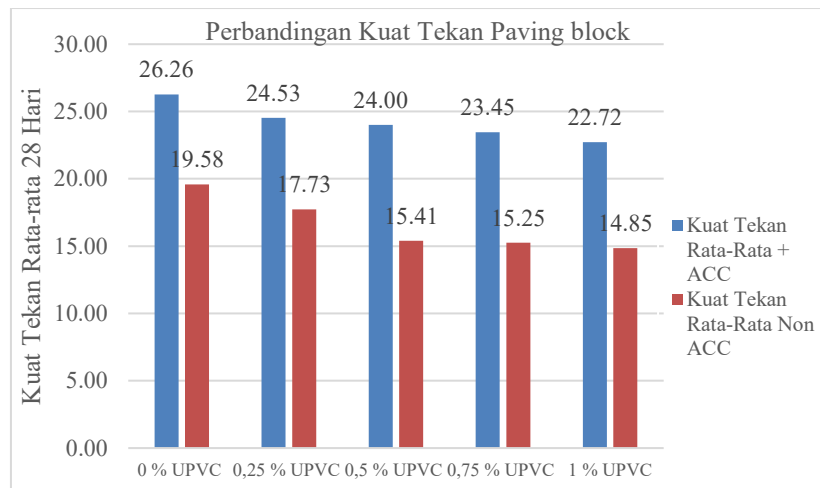
Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 8 dan Gambar 8, nilai daya serap air rata-rata *paving block* dengan penambahan 2% akselerator menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya persentase serbuk UPVC dalam campuran. Campuran kontrol (0% UPVC + 2% akselerator) menghasilkan nilai daya serap air rata-rata terendah sebesar 2,03%, kemudian meningkat menjadi 2,18% pada variasi 0,25% UPVC, 2,25% pada variasi 0,50% UPVC, dan 2,35% pada variasi 0,75% UPVC. Nilai daya serap air tertinggi diperoleh pada variasi 1,00% UPVC + 2% akselerator, yaitu sebesar 2,59%.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar UPVC yang digunakan, semakin besar kecenderungan peningkatan daya serap air *paving block*. Meskipun demikian, peningkatan yang terjadi relatif kecil, yaitu sebesar 0,56% antara campuran kontrol dan variasi 1,00% UPVC + 2% akselerator. Selain itu, seluruh variasi dengan penambahan

akselerator menghasilkan nilai daya serap air yang lebih rendah dibandingkan variasi tanpa akselerator pada kadar limbah serbuk UPVC yang sama.

Secara keseluruhan, nilai daya serap air *paving block* dengan penambahan 2% akselerator berada pada rentang 2,03%–2,59%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa *paving block* yang dihasilkan memiliki tingkat kepadatan yang baik dan memenuhi persyaratan mutu berdasarkan SNI 03-0691-1996. Dengan demikian, penggunaan serbuk UPVC hingga kadar 1,00% dengan penambahan 2% akselerator masih dapat diterapkan tanpa menyebabkan peningkatan daya serap air yang signifikan.

Hasil Perbandingan Uji Kuat Tekan Tanpa Akselerator dengan Penambahan Akselerator

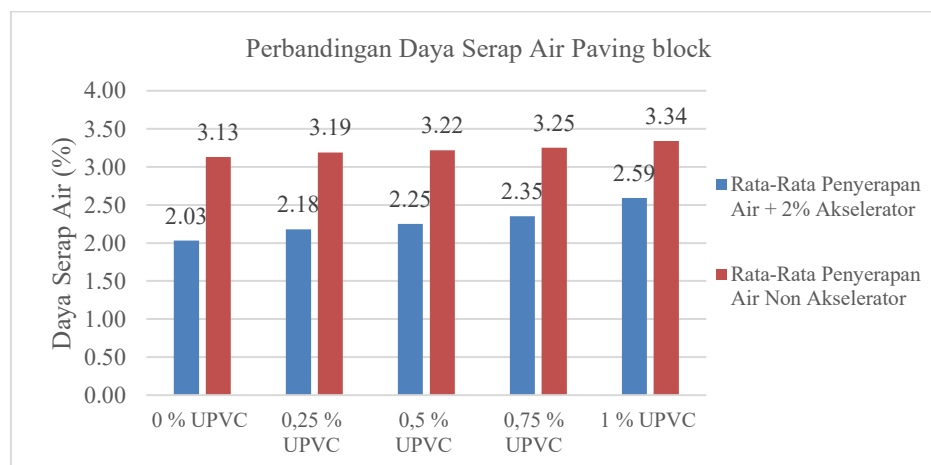


Gambar 9. Perbandingan Uji Kuat Tekan Tanpa Akselerator dengan Penambahan Akselerator

Berdasarkan Gambar 9, terlihat bahwa pada setiap variasi kadar UPVC, nilai kuat tekan *paving block* yang menggunakan akselerator selalu lebih tinggi dibandingkan dengan campuran tanpa akselerator. Pada campuran tanpa UPVC (0%), kuat tekan meningkat dari 19,58 MPa menjadi 26,26 MPa setelah penambahan akselerator. Peningkatan serupa juga terjadi pada variasi kadar UPVC lainnya, yaitu dari 17,73 MPa menjadi 24,53 MPa pada kadar 0,25%, dari 15,41 MPa menjadi 24,00 MPa pada kadar 0,50%, dari 15,25 MPa menjadi 23,45 MPa pada kadar 0,75%, serta dari 14,85 MPa menjadi 22,72 MPa pada kadar 1,00%.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan akselerator mampu mempercepat proses hidrasi semen sehingga pembentukan senyawa pengikat dalam matriks beton berlangsung lebih optimal. Kondisi ini menyebabkan struktur *paving block* menjadi lebih padat dan memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan beban tekan dibandingkan dengan campuran tanpa akselerator.

Hasil Perbandingan Uji Daya Serap Air *Paving Block* Tanpa Akselerator dengan Penambahan Akselerator



Gambar 10. Perbandingan Uji Daya Serap Air Tanpa Akselerator dengan Penambahan Akselerator

Berdasarkan Gambar 10, dapat diketahui bahwa penambahan akselerator berpengaruh terhadap penurunan tingkat penyerapan air pada *paving block* untuk seluruh variasi kadar UPVC yang digunakan. Pada campuran tanpa UPVC

(0%), nilai daya serap air berkurang dari 3,13% menjadi 2,03% setelah penambahan akselerator. Kondisi serupa juga terjadi pada variasi UPVC 0,25%; 0,50%; 0,75%; dan 1,00%, di mana nilai daya serap air pada campuran dengan akselerator selalu lebih rendah dibandingkan dengan campuran tanpa akselerator. Hasil tersebut menunjukkan bahwa akselerator mampu mempercepat proses hidrasi semen sehingga menghasilkan struktur *paving block* yang lebih padat serta mengurangi jumlah pori-pori yang berpotensi menyerap air.

Pembahasan

Pengaruh Variasi Limbah Serbuk UPVC terhadap Sifat Mekanis *Paving Block*

Penggunaan limbah UPVC sebagai bahan substitusi agregat halus dapat memengaruhi karakteristik *paving block* karena material tersebut tidak berkontribusi dalam proses hidrasi semen dan memiliki ikatan yang relatif lemah dengan pasta semen. Kondisi tersebut menyebabkan struktur campuran menjadi kurang padat, sehingga dapat mengakibatkan penurunan kuat tekan dan peningkatan daya serap air. Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penambahan material berbasis plastik pada campuran semen cenderung menurunkan kekuatan mekanis dan meningkatkan porositas (Nurkhaerani et al., 2025).

Berdasarkan hasil pengujian, peningkatan kadar UPVC dari 0% hingga 1,00% menyebabkan kuat tekan *paving block* mengalami penurunan dari 19,58 MPa menjadi 14,85 MPa. Sebaliknya, nilai daya serap air menunjukkan kecenderungan meningkat dari 3,13% menjadi 3,34%. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa semakin besar persentase UPVC yang ditambahkan, semakin berkurang kepadatan struktur *paving block*, sehingga kemampuan dalam menahan beban mengalami penurunan dan penyerapan air meningkat. Meskipun demikian, seluruh variasi campuran yang diteliti masih memenuhi persyaratan mutu berdasarkan SNI 03-0691-1996, sehingga limbah UPVC masih berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan substitusi agregat halus dalam proporsi yang terbatas.

Pengaruh Penambahan Akselerator dan Penentuan Kadar Efektif UPVC

Akselerator merupakan bahan tambah kimia yang berfungsi mempercepat proses hidrasi semen sehingga pembentukan produk hidrasi berlangsung lebih cepat (Fuad, 2021). Kondisi ini dapat meningkatkan kepadatan struktur *paving block*, memperbesar kuat tekan, dan mengurangi daya serap air akibat berkurangnya jumlah pori dalam material. Namun, pengaruh penambahan limbah serbuk UPVC tetap perlu diperhatikan karena material ini memiliki ikatan yang kurang baik dengan pasta semen, sehingga pada kadar yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kualitas mekanis *paving block*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan akselerator sebesar 2% mampu meningkatkan kuat tekan dan menurunkan daya serap air pada seluruh variasi campuran UPV. Meskipun demikian, peningkatan kadar UPVC tetap menyebabkan kuat tekan menurun dan daya serap air meningkat. Variasi dengan penambahan 0,25% UPVC dan 2% akselerator menghasilkan performa paling optimal karena masih memiliki kuat tekan yang tinggi, daya serap air yang rendah, serta memenuhi mutu B berdasarkan SNI 03-0691-1996. Sementara itu, pada kadar UPVC di atas 0,25%, penurunan kuat tekan dan peningkatan daya serap air menjadi lebih terlihat. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan UPVC dalam jumlah terbatas yang dikombinasikan dengan akselerator dapat menjadi alternatif yang efektif untuk menghasilkan *paving block* yang lebih ramah lingkungan tanpa menurunkan kualitas secara signifikan.

Kesesuaian Terhadap SNI 03-0691-1996

Berdasarkan klasifikasi mutu menurut SNI 03-0691-1996, sebagian besar *paving block* yang dihasilkan dalam penelitian ini memenuhi kriteria Mutu B, yang diperuntukkan bagi area pelataran parkir dan perkerasan dengan beban sedang. Pada campuran tanpa akselerator, variasi 0%; 0,25%; dan 0,50% UPVC termasuk dalam kategori Mutu B, sedangkan variasi 0,75% dan 1,00% UPVC tergolong Mutu C yang umumnya digunakan untuk jalur pejalan kaki.

Penambahan akselerator sebesar 2% mampu meningkatkan klasifikasi mutu *paving block* pada beberapa variasi campuran. Variasi 0,75% UPVC yang sebelumnya termasuk Mutu C meningkat menjadi Mutu B setelah penambahan akselerator. Hal ini menunjukkan bahwa akselerator berperan dalam meningkatkan kekuatan *paving block* sehingga lebih memenuhi persyaratan teknis untuk penggunaan pada area dengan beban yang lebih tinggi.

Dari aspek daya serap air, seluruh variasi campuran memenuhi persyaratan SNI karena memiliki nilai penyerapan air di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan. Bahkan, seluruh sampel menunjukkan nilai daya serap air di bawah 4%, yang mengindikasikan bahwa *paving block* memiliki tingkat kepadatan yang baik dan ketahanan yang cukup terhadap penetrasi air.

Hasil ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah serbuk UPVC sebagai substitusi agregat halus hingga kadar tertentu masih dapat menghasilkan *paving block* yang memenuhi standar mutu nasional. Variasi 0,25% UPVC dengan penambahan 2% akselerator ditetapkan sebagai kadar efektif yang direkomendasikan karena merupakan variasi dengan kandungan UPVC yang masih mampu mempertahankan kuat tekan dan daya serap air pada tingkat yang baik dibandingkan variasi UPVC yang lebih tinggi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan kadar limbah serbuk UPVC cenderung menurunkan kuat tekan dan meningkatkan daya serap air *paving block*. Penambahan akselerator meningkatkan kuat tekan dan menurunkan daya serap air pada seluruh variasi. Campuran 0,25% UPVC dengan penambahan 2% akselerator direkomendasikan sebagai kadar efektif dalam rentang penelitian karena masih memberikan keseimbangan antara pemanfaatan limbah dan kinerja mekanis *paving block*. Campuran tersebut menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 24,53 MPa dan daya serap air rata-rata sebesar 2,18%, berdasarkan nilai ekuivalen yang disajikan dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, I., Samadikun, B., & Huboyo, H, (2026), Utilization of plastic waste (HDPE, PET, and PP) for *paving block* mixture materials, *Journal Research of Social Science, Economics, and Management*, 5(8), <https://doi.org/10.59141/jrssem.v5i8.1376>
- Agyeman, S., Obeng-Ahenkora, N., Assiamah, S., & Twumasi, G, (2019), Exploiting recycled plastic waste as an alternative binder for *Paving blocks* production, *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00246, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00246>
- Alaydrus, S., Wicaksono, K., Rabihati, E., & Hafiiyyan, Q, (2026), Utilization of HDPE (high density polyethylene) plastic waste as a substitute for some cement in the compressive strength of *Paving blocks*, *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, 5(4), <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v5i4.300>
- Arafah, S., Bahri, S., Zulnazri, Z., Muarif, A., & Islami, N, (2023), Kajian *Paving block* campuran limbah plastik PET terhadap kuat tekan dengan standar SNI 03-0691-1996, *Jurnal Malikussaleh Sains dan Teknologi Mekanik*, 7(2), 115–119, <https://doi.org/10.29103/mjmst.v7i2.13657>
- Badan Standardisasi Nasional. (1989). *SK SNI S-04-1989-F: Spesifikasi bahan bangunan Bagian A (bahan bangunan bukan logam)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). *SNI 03-0691-1996: Bata beton (Paving block)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Ceran, Ö., Şimşek, B., Uygunoğlu, T., & Şara, O, (2019), PVC concrete composites: Comparative study with other polymer concrete in terms of mechanical, thermal and electrical properties, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21(5), 1–11.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971 NI-2)*. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Fauzi, M., Mustakim, M., & Didi, A, (2025), Compressive strength analysis and water absorption of *paving blocks* made from polypropylene plastic seeds, *Journal of Civil Engineering and Planning*, 6(1), <https://doi.org/10.37253/jcep.v6i1.10200>
- Fuad, I, S, (2021), Pengaruh penambahan superplasticizer dan silica fume terhadap kuat tekan mortar dengan FAS 0, 3, *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 9(2), <https://doi.org/10.52333/destek.v9i2.785>
- Mashaan, N., & Ouano, C, (2025), An investigation of the mechanical properties of concrete with different types of waste plastics for rigid pavements, *Applied Mechanics*, 6(1), 9. <https://doi.org/10.3390/applmech6010009>
- Mildawati, Roza, Sri Hartati Dewi, and Fajri Syefringga, "Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Sebagai Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air Pada *Paving Block*," *Jurnal Teknik Sipil Unaya* 8,1 (2022): 86-97.
- MN, N, A., AA, F, N, A., & M., E, (2023), A brief review on polyvinyl chloride plastic as aggregate for construction materials, *Journal of Engineering and Applied Science*, 70, Article 319.
- Mouzoun, K., Bouyahyaoui, A., Cherradi, T., Zemed, N., & Simou, S, (2023), From waste to strength: Experimental design and optimization of mechanical properties of concrete using reused PVC-U drainage pipes, *Construction and Building Materials*, 402, 132938, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132938>
- Nurkhaerani, F., Debora, F., Sari, G., Nugroho, E., Pradoto, R., & Syakira, H, (2025), The effect of material composition of *paving blocks* from plastic waste on compressive strength and water absorption, *Jurnal Kajian Ruang*, 5(2), <https://doi.org/10.30659/jkr.v5i2.48479>
- Paramita, A, H., & Putri, C, A, (2025), *Analisis Sifat Mekanis Paving Block Dengan Penambahan Limbah Plastik Jenis Polyethylene Terephthalene* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Saputra, A., Efendy, A., Hidayati, N., Fitrayudha, A., & Fariyadin, A, (2026), Pemanfaatan limbah UPVC sebagai bahan aditif pada CPHMA (cold paving hot mix asbuton), *Jurnal Talenta Sipil*, 9(1), <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v9i1.1190>
- Zainudin, & Nurkholis, M, (2020), Pengaruh Variasi Penambahan Accelerator Admixture Terhadap Kuat Tekan Beton, *Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), 37–48.