

Analisis Pengaruh Substitusi Limbah Paving Block Sebagai Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton

Analysis of the Effect of Substituting Paving Block Waste as Coarse Aggregate on the Compressive Strength of Concrete

Arifah Ainushsholihah*¹, Tira Roesdiana¹

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Swadaya Gunung Jati, Cirebon, Indonesia

Info Artikel

Diserahkan:

28 April 2026

Direvisi:

10 Agustus 2026

Diterima:

19 Agustus 2026

ABSTRAK

Permintaan akan beton sebagai bahan bangunan utama telah meningkat di Indonesia seiring dengan meningkatnya pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan, bahan penyusun beton berasal dari sumber daya alam yaitu agregat alam yang berpotensi mengalami kelangkaan jika tidak dikelola dengan baik. Sama halnya dengan limbah konstruksi yang terus bertambah, yang di mana menurut Undang-Undang Nomor 18 tahun 2008 tentang pengelolaan Limbah dengan prinsip 3R (Reduce, Reuse, Recycle). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak substitusi limbah paving block sebagai substitusi agregat kasar terhadap kuat tekan beton dengan target $f'c = 25$ MPa. Pengujian material, perencanaan campuran (variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%), pencetakan benda uji berbentuk silinder berukuran 150 x 300 mm, perawatan beton, serta pengujian kuat tekan pada umur 14 dan 28 hari, yang penelitian dilaksanakan di Laboratorium sesuai dengan SNI. Hasil menunjukkan penurunan kuat tekan pada umur 14 hari (dengan nilai terendah 15,7 MPa pada variasi 5% dan hasil tertinggi 24,5 MPa pada 0%. Dengan peningkatan nilai yang signifikan pada umur 28 hari pada 20% mencapai 25 MPa, setara dengan mutu rencana. Substitusi 20% limbah paving block menghasilkan nilai optimal untuk beton berkelanjutan, dapat mengurangi limbah konstruksi berbahaya seperti logam berat dan membuka peluang aplikasi ramah lingkungan.

Kata Kunci : Limbah Paving Block, Kuat Tekan Beton, Agregat Kasar, Substitusi.

ABSTRACT

Demand for concrete as a primary building material has increased in Indonesia alongside the ongoing expansion of infrastructure development, the components of concrete come from natural resources, namely natural aggregates, which are a finite resource. Similarly, construction waste continues to increase, according to Law No. 18 of 2008 on waste Management, 3R principles (Reduce, Reuse, Recycle). This study aims to evaluate the impact of substituting paving block waste for coarse aggregate substitute on the compressive strength of concrete with a target of $f'c=25$ MPa. The study involved material testing, mix design (variations of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%), casting of cylindrical test specimens measuring 150x300 mm, concrete curing, and compressive strength testing at 14 and 28 days; all were conducted in a laboratory in accordance with SNI standards. The results showed a decrease in compressive strength at 14 days (with the lowest value of 15.7 MPa at the 5% substitution and the highest result of 24.5 MPa in 0% variation). There was a significant increase at 28 days, with the 20% substitution reaching 25 MPa. Equivalent to the target strength substituting 20% paving block waste yields optimal results for sustainable concrete, reduces hazardous construction waste such as heavy metals, and opens up opportunities for environmentally friendly application.

Keywords : Paving Block Waste, Concrete Compressive Strength, Coarse Aggregate, Substitution

Corresponding author email: arifah.122130033@ugj.ac.id



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur yang terus berkembang di berbagai daerah mendorong meningkatnya permintaan terhadap material konstruksi, khususnya beton [1]. Beton merupakan material konstruksi yang paling dominan digunakan, baik pada proyek skala kecil maupun besar, karena memiliki kekuatan tinggi, kemudahan pengerjaan, dan ketersediaan bahan baku yang relatif luas [2]. Komposisi utama beton terdiri atas semen, air,

agregat halus (pasir), dan agregat kasar (kerikil), dimana ketiga komponen terakhir merupakan sumber daya alam yang ketersediaan terbatas [3]. Penningkatan penggunaan beton secara massif berpostensi mempercepat degradasi sumber daya alam tersebut apabila tidak diimbangi dengan upaya substitusi material yang berkelanjutan [4].

Di sisi lain, aktivitas konstruksi turut menghasilkan limbah padat dalam jumlah signifikan salah satunya adalah limbah paving block [5]. Pengelolaan limbah konstruksi yang tidak memadai dapat menimbulkan dampak lingkungan yang serius, antara lain pencemaran tanah akibat kandungan logam berat seperti timbal (Pb) dengan kadar sekitar 50 mg/kg dan cadmium (Cd) yang melebihi ambang batas aman yang ditetapkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan sebesar 10 mg/kg [6]. Hal ini sejalan dengan amanat Undang-Undang Dasar Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang pengelolaan Sampah, yang mendorong penerapan prinsip *reduce, reuse, dan recycle* (3R) guna meminimalisasi dampak limbah sekaligus mengoptimalkan nilai guna material sisa [7].

Paving block merupakan produk yang tersusun dari bahan dasar beton yaitu campuran agregat, semen, dan air, yang diperuntukan sebagai infrastruktur non-struktural untuk menutupi lapisan tanah serta estetika [8]. Limbah paving block memiliki karakteristik fisik yang menyerupai agregat kasar alami, yakni bersifat keras, non-organik, dan bertekstur kasar. Namun demikian, terdapat perbedaan mendasar pada sifat fisik keduanya, meliputi tingkat penyerapan air, densitas, serta kekuatan butir, yang berpotensi memengaruhi sifat mekanik beton, terutama kuat tekan [9]. Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji penggunaan material daur ulang sebagai substitusi agregat dalam campuran beton, namun kajian yang secara agregat mengoptimalkan proporsi limbah paving block sebagai pengganti agregat kasar dengan analisis kompresif terhadap sifat mekanik beton masih terbatas [10]. Kesenjangan tersebut terutama berkaitan dengan perbedaan variasi persentase substitusi limbah paving block yang digunakan serta belum banyak penelitian yang membandingkan perubahan kuat tekan pada setiap variasi dengan beton normal pada umur beton yang berbeda. Kesenjangan ini menjadi dasar perlunya penelitian lebih lanjut guna memastikan kelayakan teknis pemanfaatan limbah tersebut dalam konstruksi [11].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi agregat kasar dengan limbah paving block terhadap kuat tekan beton dengan variasi persentase substitusi 5% , 10% , 15% , 20% dengan umur beton yang yaitu 14 hari dan 28 hari. Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada pemberian data empiris mengenai batas optimal substitusi limbah paving block yang menghasilkan kuat tekan beton memenuhi standar teknis, sehingga dapat menjadi acuan dalam pengembangan beton ramah lingkungan yang lebih ekonomis dan berkelanjutan [12].

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode eksperimental di laboratorium untuk mengukur pemanfaatan limbah paving block sebagai substitusi dari bagian agregat kasar dalam campuran beton [13]. Limbah paving block yang akan digunakan dihancurkan hingga berukuran sama dengan agregat kasar. Pendekatan yang digunakan yaitu pendekatan kuantitatif, dengan data utama berupa hasil uji kuat tekan beton.

Secara keseluruhan, serangkaian langkah dari proses penelitian ini mencakup, persiapan material, diikuti oleh pengujian karakteristik fisik material, proses mix design, pembuatan dan pencetakan benda uji, perawatan, hingga pengujian kuat tekan pada umur yang sudah ditentukan. Setiap tahapan dilakukan sesuai dengan standar acuan SNI yang berlaku.

Seluruh kegiatan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik Universitas Swadaya Gunung Jati Cirebon. Waktu dari pelaksanaan penelitian berlangsung selama 2 bulan, terhitung dari proses persiapan hingga pengujian akhir.

2.1 Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum memulai proses penelitian, semua peralatan yang diperlukan harus terlebih dahulu diidentifikasi dan disiapkan. Pemeriksaan dilakukan dapat mencegah masalah teknis yang dapat menghambat keberlangsungan penelitian.

Adapun bahan-bahan yang harus dipersiapkan untuk penelitian ini, diantaranya:

- 1) Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen portlan (Tipe 1) dengan merk dynamix.
- 2) Agregat halus yang digunakan berasal dari batching plant Ciperna, Cirebon.
- 3) Agregat kasar yang digunakan memiliki ukuran terbatas diantar 20 mm – 40 mm.
- 4) Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Teknologi Bahan Universitas Swadaya Gunung Jati.
- 5) Limbah paving block yang digunakan berasal dari sisa hasil kuat tekan pada Laboratorium Teknologi Bahan, Universitas Swadaya Gunung Jati. Limbah tersebut berasal dari beberapa PT/CV yang berbeda berdasarkan data pengujian yang tersedia, kuat tekan paving block berkisar antara 8,6 MPa hingga 30,1 MPa dengan klasifikasi mutu D sampai mutu B. Adapun rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan paving block, sebagai berikut :

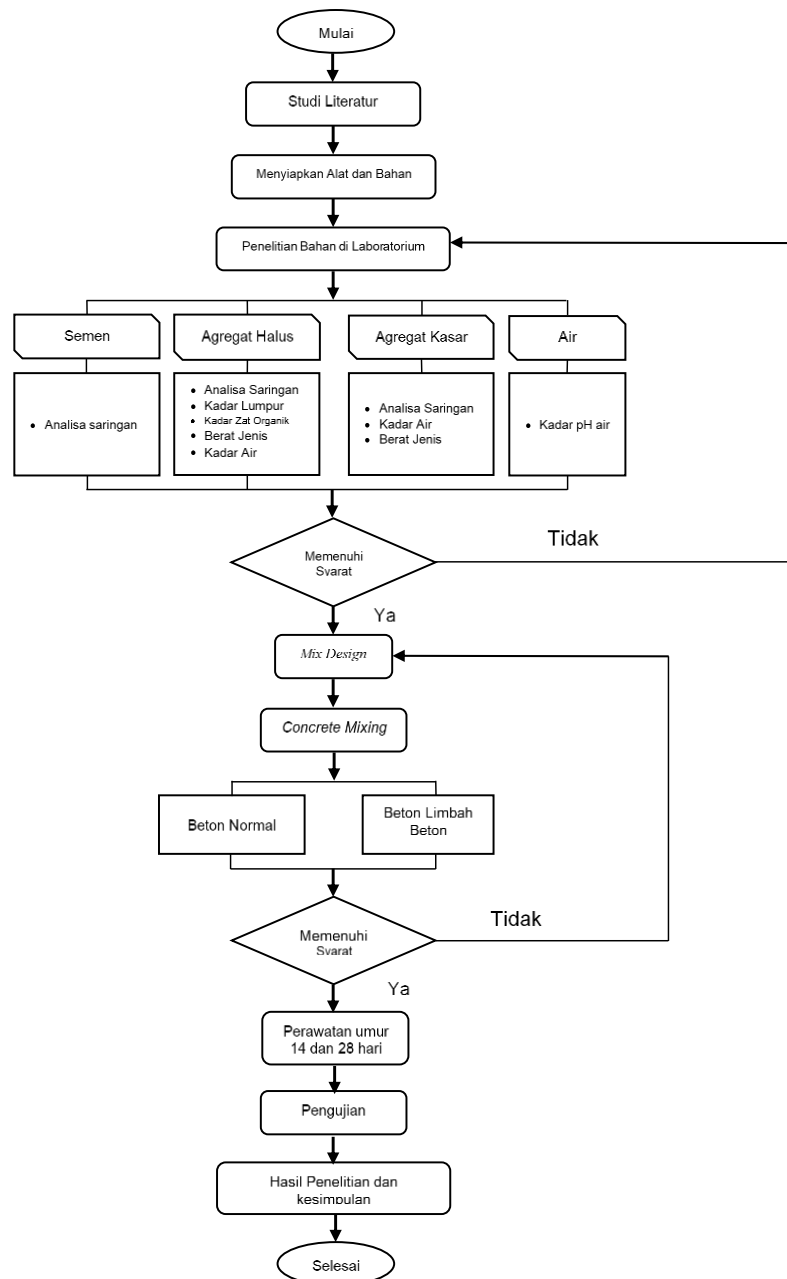
Tabel 1. Data Kuat Tekan Limbah Paving Block yang Digunakan dalam Penelitian

No	Asal Paving Block	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Mutu
1	A	23,4	B
2	B	28,5	B
3	C	24,2	B
4	D	8,6	D

2.2 Parameter Penelitian

Parameter dalam penelitian ini berupa variable bebas yang meliputi variasi persentase substitusi limbah paving block terhadap total berat agregat kasar sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, yang kemudian pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 14 dan 28 hari. Target kuat tekan rencanan yang ditetapkan pada penelitian ini yaitu $f'_c = 25$ MPa. Dimensi benda uji yang digunakan berukuran 150 x 300 mm berbentuk silinder, masing-masing variasi dibuat sebanyak 3 buah per variasi benda uji.

Adapun variable terikat yang diamati meliputi *Slump Test*, serta hasil uji kuat tekan beton dari setiap variasi. Kemudian kedua nilai tersebut dibandingkan terhadap beton kontrol, yaitu Beton normal dengan 0% substitusi untuk melihat seberapa besar pengaruh dari penggunaan limbah paving block terhadap karakteristik beton secara keseluruhan.

**Gbr. 1.** Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Material

Pengujian material agregat dilakukan melalui serangkaian tahapan pengujian dan analisis bahan yang menghasilkan data representative, guna mengetahui karakteristik material [14]. Tahapan tersebut mencakup pengujian kehalusan seme, pemeriksaan pH air, kadar air, analisis saringan, berat jenis, dan kadar lumpur, data yang diperoleh antara lain

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pengujian Material

No	Material	Standar Acuan	Jenis Pengujian	Nilai	Hasil
1	Semen	SNI 03-2530-1991	Kehalusan Semen	F1 : 9,66% F2 : 21,08%	Memenuhi
2	Air	SNI 03-6817-2002	pH Air	7	-
3	Agregat Halus	SNI 03-1971-1990	Kadar Air	8,01%	-
		SNI 03-1968-1990	Grading Zone	No.1	-
		SNI 1970:2008	Saturated Surface Dry (SSD)	2,51	Memenuhi
		SNI 03-4142-1996	Kadar Lumpur	4%	Memenuhi
		SNI 03-2819-1992	Kadar Zat Organik	10-20%	-
4	Agregat Kasar	SNI 03-1971-1990	Kadar Air	0,69%	-
		SNI 03-1968-1990	Grading Zone	40 mm	-
		SNI 1970:2008	Saturated Surface Dry (SSD)	2,59	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 2, hasil pengujian menunjukkan bahwa karakteristik material yang digunakan telah memenuhi standar pada parameter yang dipersyaratkan. Nilai hasil pengujian tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan karakteristik material dan perhitungan campuran beton. dengan demikian, material yang digunakan dapat dijadikan sebagai bahan penyusun campuran beton, termasuk campuran dengan substitusi limbah paving block sebagai agregat kasar.

3.2 Campuran Beton (Mix Design)

Setelah pengujian material dilakukan, data hasil pengujian dianalisis yang kemudian digunakan sebagai acuan utama pada tahap perencanaan campuran beton, agar proporsi bahan dapat disesuaikan dengan karakteristik material yang telah teridentifikasi. Perencanaan mix design mengacu pada metode SNI 03-2834-2000 [15], dengan mutu beton rencana 25 Mpa. Hasil perhitungan campuran didasari pada hasil perhitungan tersebut. Setiap variasi hanya mengubah komposisi agregat kasar saja dengan tujuan mengindikasikan langsung pengaruh limbah paving block tanpa mempertimbangkan faktor lain.

Tabel 3. Proporsi Campuran Beton (Mix Design)

Variasi (%)	Semen (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Limbah Paving Block (Kg)	Air (Liter)
0 (Normal)	14,2	47,2	39,2	0	9,3
5	14,2	44,8	39,2	2,4	9,3
10	14,2	42,5	39,2	4,7	9,3
15	14,2	40,1	39,2	7,1	9,3
20	14,2	37,8	39,2	9,4	9,3
Total	56,8	165,2	156,8	23,6	23,6

3.3 Uji Slump



Gbr. 2. Pengujian Slump

Sebelum pengecoran adonan beton kedalam cetakan, harus dilakukan uji slump terlebih dahulu guna mengetahui tingkat kekentalan dan *workability* dari adona tersebut [16]. Ketinggian slump yang disyaratkan harus memiliki ketinggian 60-180 mm. dari kegiatan Slump Test yang sudah dilaksanakan selama penelitian, nilai slump

yang diperoleh masih memenuhi syarat dan acuan yang sudah ditentukan, adapun hasil dari uji slump untuk masing-masing benda uji, sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Uji Slump

Kode Benda Uji	Variasi	Nilai Slump
PB -14-0	0%	10
PB -14-5	5%	14
PB-14-10	10%	12,3
PB-14-15	15%	12,5
PB-14-20	20%	12
PB -28-0	0%	10
PB -28-5	5%	15
PB-28-10	10%	14
PB-28-15	15%	13,5
PB-28-20	20%	13,5

3.4 Pengujian Kuat Tekan Beton



Gbr. 3. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian Kuat tekan dilakukan setelah beton melalui proses perendaman selama umur yang sudah ditentukan yaitu 14 dan 28 hari. Proses kuat tekan berupa memberi beban kepada benda uji hingga beban mencapai titik tertinggi benda uji yang kemudin menyebabkan keretakan hingga kerusakan. Hasil uji dibandingkan dengan mutu beton rencana yaitu 25 Mpa

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Berumur 14 hari

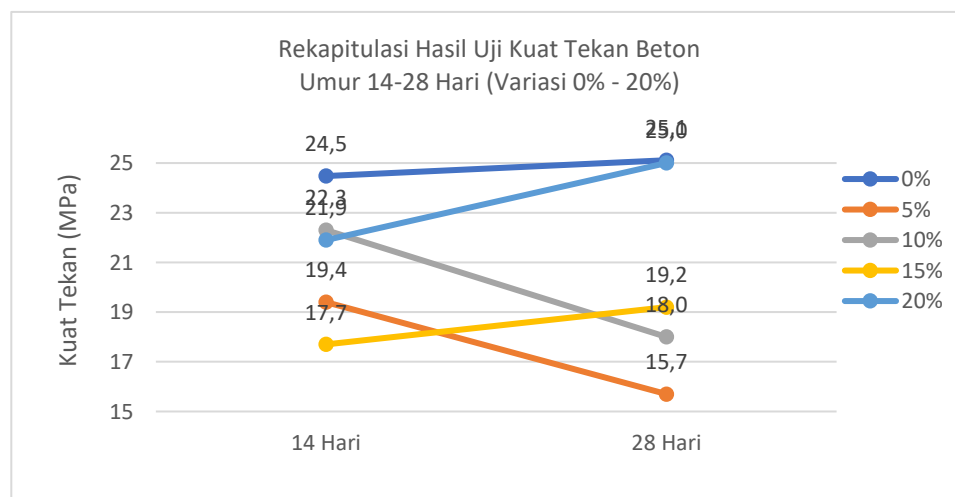
Kode Benda Uji	Variasi	W	L. Bidang Tekan	Beban		Kuat Tekan		Mpa	Kuat Tekan Beton Rata-rata (Mpa)
		(gr)	(cm ²)	(kN)	(Kg)	N Hari (kg/cm ²)	28 Hari (kg/cm ²)		
PB-14-0	0%	12,327	176,625	330	33650	190,5	260,8	26,1	24,5
		12,352	176,625	350	35690	202,1	276,6	27,7	
		12,304	176,625	300	30591	173,2	196,8	19,7	
PB-14-5	5%	11,830	176,625	255	26002	147,2	201,6	20,2	19,4
		12,505	176,625	240	24473	138,6	189,7	19,0	
		12,250	176,625	290	29571	167,4	190,3	19,0	
PB-14-10	10%	11,889	176,625	290	29571	167,4	229,2	22,9	22,3
		11,750	176,625	300	30591	173,2	237,1	23,7	
		11,800	176,625	310	31611	179,0	203,4	20,3	
PB-14-15	15%	12,080	176,625	220	22433	127,0	173,9	17,4	17,7
		11,995	176,625	250	25493	144,3	197,6	19,8	
		12,350	176,625	245	24983	141,4	160,7	16,1	
PB-14-20	20%	11,950	176,625	240	24473	138,6	189,7	19,0	21,9
		12,150	176,625	265	27022	153,0	209,5	20,9	
		12,275	176,625	395	40278	228,0	259,1	25,9	

Dari hasil kuat tekan pada variasi umur 14 hari, kuat tekan beton normal mencapai 24,5 Mpa. Dari beberapa variasi pengganti limbah paving block, nilai tertinggi didapatkan pada variasi 20% dengan nilai 21,9 Mpa. Sedangkan hasil terendah terdapat pada variasi 15% dengan hasil kuat tekan sebesar 17,7 Mpa. Berdasarkan hasil keseluruhan benda uji di umur 14 hari belum mencapai mutu beton yang direncanakan.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Berumur 28 Hari

Kode Benda Uji	Variasi	W	L. Bidang Tekan	Beban		Kuat Tekan		Mpa	Kuat Tekan Beton Rata-rata (Mpa)
		(gr)	(cm ²)	(kN)	(Kg)	N Hari (kg/cm ²)	28 Hari (kg/cm ²)		
PB-28-0	0%	12,434	176,625	430	43847	248,2	248,2	24,8	25,1
		12,455	176,625	425	43337	245,4	245,4	24,5	
		12,050	176,625	450	45887	259,8	259,8	26,0	
PB-28-5	5%	12,380	176,625	240	24473	138,6	138,6	13,9	15,7
		12,330	176,625	275	28042	158,8	158,8	15,9	
		12,440	176,625	300	30591	173,2	173,2	17,3	
PB-28-10	10%	11,815	176,625	300	30591	173,2	173,2	17,3	18,0
		12,150	176,625	315	32121	181,9	181,9	18,2	
		12,315	176,625	320	32630	184,7	184,7	18,5	
PB-28-15	15%	11,975	176,625	330	33650	190,5	190,5	19,1	19,2
		12,045	176,625	350	35690	202,1	202,1	20,2	
		12,210	176,625	320	32630	184,7	184,7	18,5	
PB-28-20	20%	12,120	176,625	450	45887	259,8	259,8	26,0	25,0
		11,950	176,625	410	41808	236,7	236,7	23,7	
		12,205	176,625	440	44867	254,0	254,0	25,4	

Pada umur 28 hari, kuat tekan beton mengalami peningkatan, dengan hasil kuat tekan beton normal yang didapatkan yaitu 25,1 Mpa. Diperoleh hasil kuat tekan tertinggi dari beton variasi limbah paving block yaitu pada persentase 20% dengan hasil kuat tekan 25 Mpa dan didapatkan pula hasil terendah dari beton variasi yaitu pada persentase 5% dengan hasil 15,7 Mpa. Beton dengan umur 28 hari memenuhi mutu beton rencana dengan hasil kuat tekan mencapai mutu beton yang direncanakan.



Gbr. 4. Grafik Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 14-28 Hari

Tabel 7. Persentase Terhadap Beton Kontrol

Variasi	Kuat Tekan 14 Hari (MPa)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Persentase Terhadap Kontrol 0%
0%	24,5	25,1	100
5%	19,4	15,7	62,55
10%	22,3	18	71,71
15%	17,7	19,2	76,5
20%	21,9	25	99,6

Berdasarkan grafik rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan, persentase terhadap beton kontrol menunjukkan bahwa variasi 5%, 10%, dan 15% masih memiliki kekuatan lebih rendah dibandingkan beton normal. Namun terlihat pada table ersentase terhadap beton kontrol, pada variasi 20%, persentase kuat tekan mencapai nilai yang setara dengan beton kontrol yaitu 99,6% dari beton normal. Hal inimenunjukkan bahwa penggunaan limbah paving block sebesar 20% mampu menghasilkan kuat tekan beton optimum dan telah memenuhi mutu beton recana pada umur 28 hari.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai pengaruh penggunaan limbah paving block sebagai subtitusi agregat kasar terhadap kuat tekan beton, bahwa penambahan limbah paving blok secara signifikan mempengaruhi nilai kuat tekan, dengan variasi yang ditentukan oleh perbandingan campuran dan usia beton, semua variasi subtitusi pada umur ke-14 menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan beton normal, sedangkan umur 28 Hari terjadi peningkatan hingga mencapai nilai optimal. Variasi nilai kuat tekan beton yang diperoleh mengindikasi adanya pengaruh dari karakteristik limbah paving block yang digunakan. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah paving block memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan subtitusi sebagian agregat kasar pada campuran beton.

Variasi 20% mampu menghasilkan kuat tekan yang setara dengan beton normal, maka variasi tersebut dinyatakan sebagai persentase optimum dalam penggunaan limbah paving block sebagai subtitus agregat kasar. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan limbah paving block pada variasi 20% dapat menjadi salah satu alternatif dalam pemanfaatan limbah konstruksi pada campuran beton. Pemanfaatan tersebut juga dapat mendukung pengembangan beton yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Meskipun demikian, masih tetap diperlukannya penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi ketahanan jangka panjang dan penerapan di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan Terima Kasih kepada pihak kampus yang telah menyediakan fasilitas selama pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan Terima Kasih kepada Dosen pembimbing sekaligus Dosen kolaborator atas bimbingan serta masukan yang sangat berarti pada proses penelitian. Selain itu, penulis turut mengucapkan Terima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa yang teah memeberikan bantuan, dukungan, dan kerja sama selama penelitian berlangsung. Bantuan tersebut sangat berperan penting dalam kelancaran penelitian sehingga dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. W. Megasari, "Pengaruh Pemanfaatan Recycled Concrete Aggregate Sebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer," *J. Saintis*, vol. 24, no. 02, pp. 93–102, 2024, doi: 10.25299/saintis.2024.vol24(02).19095.
- [2] A. E. Lianasari, "STUDI PUSTAKA POTENSI HIGH VOLUME FLY ASH CONCRETE SEBAGAI MATERIAL BETON YANG SUSTAINABLE UNTUK DITERAPKAN DI Indonesia," no. November, pp. 16–17, 2023.
- [3] A. Safari and A. Agus Setiawan, "Pemanfaatan Limbah Batu Marmer Sebagai Substitusi Parsial," *Din. Rekayasa*, vol. 19, no. 2, pp. 141–146, 2023, [Online]. Available: <http://dinarek.unsoed.ac.id>
- [4] H. D. Setio, I. S. Darma, and P. Kusumaningrum, "KUAT TEKAN BETON daya alam , terutama dalam hal penggunaan agregat alam seperti pasir dan kerikil . Seiring dengan sebagai agregat kasar daur ulang atau Recycled Concrete Aggregate (RCA) [5]. Penggunaan RCA dalam pembuatan beton baru diyakini dapat mengurangi eksploitasi agregat alam serta mengurangi dampak pencemaran lingkungan dari limbah beton . Namun , RCA memiliki Agregat Beton Daur Ulang (Recycled Concrete Aggregate - RCA) RCA adalah agregat kasar yang diperoleh dari penghancuran beton lama yang sudah tidak terpakai . Proses penghancuran ini menghasilkan material yang terdiri dari batu pecah dan sisa," vol. 10, no. 1, pp. 336–343, 2025.
- [5] J. Kim and N. Kim, "Recycling Waste Paver Blocks in the Manufacture of New Concrete Paver Blocks and Building Bricks," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 21, 2022, doi: 10.3390/app122110970.
- [6] F. Susilowati, J. A. Prakoso, and A. Y. Adipradana, "Journal of Engineering and Technological Sciences Financing Model for Construction and Demolition Waste in Indonesia Research Paper," vol. 57, no. 39, pp. 505–516, 2025, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2025.57.4.6.
- [7] A. B. D. Saputro, A. Aziz, A. Abdullah, and T. A. Wijaya, "Pemanfaatan Agregat Kasar Daur Ulang Dalam Campuran Beton Normal Dengan Variasi Substitusi Pada Takaran 1:2:3," *J. Tek. Indones.*, vol. 6, no. 2, p. 52, 2025, doi: 10.61689/jti.v6i2.804.
- [8] A. N. Majid, R. Roestaman, and S. Permana, "Penggunaan Agregat Halus Ex Paving Block untuk Campuran Beton," *J. Konstr.*, vol. 19, no. 2, pp. 340–350, 2022, doi: 10.33364/konstruksi/v.19-2.924.
- [9] A. H. Ilmuddin, "Tolis Ilmiah : Jurnal Penelitian Tolis Ilmiah : Jurnal Penelitian," *Tolis Ilm. J. Penelit.*, vol. 7, no. 1, pp. 8–16, 2025.
- [10] A. Hafiz and T. Farizal, "Studi Penelitian Kuat Tekan Beton Menggunakan Serabut Kelapa Sawit Dan Kawat Ikat," *Mustek Anim Ha*, vol. 12, no. 02, pp. 128–136, 2023, doi: 10.35724/mustek.v12i02.5396.
- [11] M. A. R. Amin and I. Y. Salena, "Analisis Efisiensi Beton Daur Ulang sebagai Alternatif Agregat pada Konstruksi Berkelanjutan," *J. Penelit. Inov.*, vol. 5, no. 1, pp. 207–216, 2025, doi: 10.54082/jupin.1078.
- [12] H. R. Pramesti, Qomariah, and A. Naibaho, "Efisiensi Penggunaan Limbah Batu Marmer (Brokol) Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Pada Mix Design Beton," *J. Online Skripsi*, vol. 3, no. 4, pp. 1–6, 2022, [Online]. Available: <http://jos-mrk.polinema.ac.id/>
- [13] A. Aziz Ibrahim and A. Tua Munthe, "Studi Pengaruh Substitusi Limbah Granit sebagai Agregat Kasar dan Limbah Abu Bonggol Jagung sebagai Substitusi Semen terhadap Kuat Tekan, Slump, dan Daya Serap Air Beton," *Jcebt*, vol. 9, no. 1, 2025, [Online]. Available: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- [14] Muh. Hajir Ahmad, Adnan Adnan, and Hamka Hamka, "Pengaruh Penambahan Iron Slag Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Pada Beton," *J. Penelit. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 3, no. 1, pp. 303–320, 2024, doi: 10.55606/juprit.v3i1.3517.

-
- [15] SNI-03-2834, "Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal," 2002.
- [16] A. Fauzi and E. Walujodjati, "Kuat Tekan Beton Substitusi Agregat Kasar Daur Ulang dan Bahan Tambah Tipe F Super Plasticizer," *J. Konstr.*, vol. 19, no. 2, pp. 401–410, 2022, doi: 10.33364/konstruksi/v.19-2.908.