

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Material

Pengujian yang dilakukan pada pasir dan semen dilakukan untuk mengetahui spesifikasi dari *paving block*. Pengujian dilakukan untuk mencegah munculnya potensi paving block dan bahan lainnya tercampur. Berikut ini merupakan hasil pengujian material pasir, semen serta limbah bubuk kopi yang telah dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro Semarang.

4.1.1 Hasil Pengujian Gradasi Pasir

Pengujian gradasi pasir dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran pasir yang akan digunakan. Pasir tersebut diayak menggunakan susunan saringan bertingkat, kemudian digetarkan selama 15 menit dengan bantuan mesin *sieve shaker*. Berikut ini merupakan data yang diperoleh dari hasil pengujian gradasi pasir tersebut.

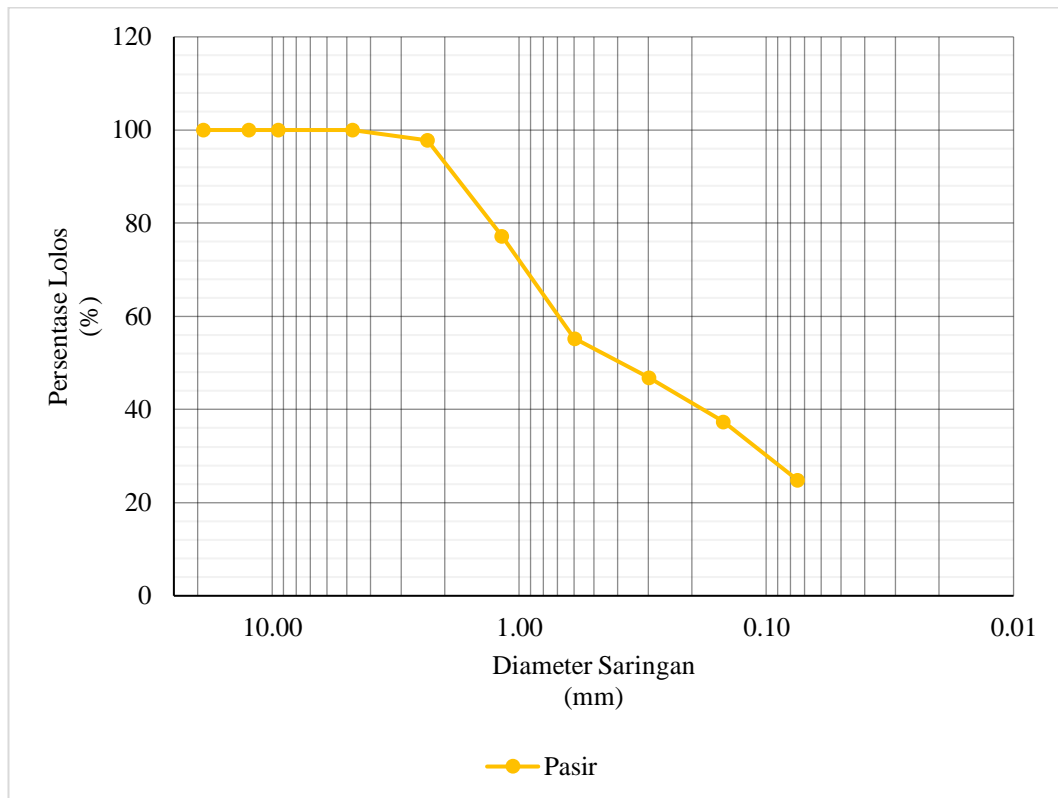
Tabel 4. 1 Hasil Uji Gradasi Pasir

ANALISIS SARINGAN					
Material		=	<i>Pasir Lolos No. 4</i>		
Berat Material		=	1000 gr		
Saringan		Tertahan			Lolos
No	Ukuran	B. Tertahan	B. Tertahan	Kumulatif	Lolos
	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)
	0	(1)	(2)=(1/W ₁)	(3)	(4)=(100-3)
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100
1/2"	12,500	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,500	0,00	0,00	0,00	100,00
#4	4,750	0,00	0,00	0,00	100,00

ANALISIS SARINGAN					
Material		=	<i>Pasir Lolos No. 4</i>		
Berat Material		=	1000 gr		
Saringan		Tertahan			Lolos
No	Ukuran	B. Tertahan	B. Tertahan	Kumulatif	
	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)
	0	(1)	(2)=(1/W ₁)	(3)	(4)=(100-3)
#8	2,360	21,80	2,18	2,18	97,82
#16	1,180	205,40	20,56	22,74	77,26
#30	0,600	219,50	21,97	44,71	55,29
#50	0,300	83,90	8,40	53,11	46,89
#100	0,150	94,70	9,48	62,59	37,41
#200	0,075	125,20	12,53	75,12	24,88
PAN	0	248,60	24,88	100	0,00
Total (W ₁)		999,1	100		

Modulus kehalusan (*Fineness Modulus*)

$$\begin{aligned}
 FM &= \frac{\sum \text{kumulatif tertahan ayakan}}{100} \\
 &= \frac{0+2,18+22,47+44,71+53,11+62,59+75,12}{100} \\
 &= \frac{260,18}{100} \\
 &= 2,6018
 \end{aligned}$$



Grafik 4.1 Hasil Uji Gradasi Pasir

Dari hasil analisis pengujian gradasi pasir (agregat halus) didapatkan nilai modulus kehalusan (*Fineness Modulus*) sebesar 2,6018. Berdasarkan dengan SNI 03-1968-1990 diketahui bahwa rentang nilai modulus kehalusan yang diizinkan adalah 2,3 - 3,1 dan disarankan untuk paving block sebesar 2,5 - 3,0. Dari pengujian yang telah dilakukan diketahui bahwa pasir yang digunakan memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran *paving block*.

4.1.2 Hasil Uji Berat Jenis Pasir

Dasil pengujian agregat halus (pasir) diketahui bahwa nilai berat jenis kondisi *SSD* termasuk dalam kategori agregat halus normal. Hal ini karena nilai yang diperoleh masih berada dalam batas yang dipersyaratkan oleh SNI 03-1970-1990, yaitu antara 2,2 sampai 2,7.

Tabel 4. 2 Hasil Uji Berat Jenis Pasir

Pengujian	a	b	Rata - rata
Berat Benda Uji Permukaan Jauh (SSD)	500	500	500
Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	488,2	489,4	488,8
Berat Picnometer diisi air 25°C (B)	688,4	687,9	688,15
Berat picnometer + benda uji SSD + air 25°C (Bt)	997,5	996,1	996,8
Berat Jenis (Bulk)	BK/(B+500-Bt)		2,554
Berat Jenis Permukaan Jenuh (SSD)	500/(B+500-Bt)		2,52
Berat Jenis Semu (Apparent)	BK/(B+BK-Bt)		2,714
Penyerapan (Absorbtion)	((500-BK)/BK) X 100%		2,292

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Pasir} &= 2,2 < x < 2,7 \\ x &= 2,52 \\ &= 2,2 < 2,52 < 2,7 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis agregat halus menggunakan metode piknometer, diperoleh bahwa nilai berat jenis SSD rata-rata sebesar **2,52**, berada dalam batas kategori agregat normal sesuai ketentuan SNI (2,2–2,7). Hal ini menunjukkan bahwa pasir yang digunakan memiliki sifat fisik yang sesuai untuk dimanfaatkan dalam campuran beton atau *paving block*.

4.1.3 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Pasir

Pengujian kadar lumpur pada pasir dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kandungan partikel lumpur yang terdapat di dalam agregat halus. Keberadaan lumpur dalam jumlah yang berlebihan dapat memengaruhi kualitas dan kekuatan campuran, sehingga perlu dikontrol sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Berdasarkan standar yang digunakan, kadar lumpur dalam agregat halus (pasir) ditetapkan tidak boleh melebihi batas maksimum 5%. Berikut ini adalah data hasil pengujian yang telah diperoleh dari proses pemeriksaan tersebut.

Tabel 4. 3 Hasil Uji Kadar Lumpur Pasir

Material	Hasil
Tinggi pasir + lumpur (B)	130 ml
Tinggi Pasir	124 ml
Tinggi Lumpur (A)	6 ml

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur \%} &= \frac{A}{B} \times 100\% \\
 &= \frac{6}{130} \times 100\% \\
 &= 4,615\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pemeriksaan kadar lumpur pada pasir yang dilakukan dengan metode pengocokan, diperoleh nilai sebesar 4,615%. Angka tersebut menunjukkan bahwa kandungan partikel lumpur yang terdapat dalam agregat halus masih berada dalam batas yang diizinkan. Jika mengacu pada ketentuan dalam SNI S-04-1998-F, kadar lumpur pada pasir tidak boleh melebihi 5%. Karena nilai yang diperoleh lebih kecil dari batas maksimum yang telah ditetapkan (< 5%), maka pasir tersebut dinyatakan memenuhi persyaratan teknis. Dengan demikian, material pasir ini layak dan dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan *paving block*, karena kandungan lumpurnya masih sesuai dengan standar mutu yang berlaku.

4.1.4 Pengujian Konsistensi Semen

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jumlah kebutuhan air yang diperlukan agar semen mencapai konsistensi normal. Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2049:2015, pelaksanaan uji konsistensi semen dilakukan dengan menggunakan sampel semen sebanyak 300 gram. Air yang ditambahkan sebesar 25% dari berat semen, dengan kondisi suhu ruang pengujian dijaga pada sekitar 28°C agar hasil yang diperoleh tetap akurat dan sesuai standar.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Konsistensi Semen

No	Berat semen (gram)	Persentase air (%)	Penurunan Jarum (mm)	Suhu (°C)
1	300	25%	9	28

Berdasarkan data pada tabel, hasil pengujian menunjukkan bahwa konsistensi normal pasta semen telah memenuhi ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 2049:2015. Sesuai standar tersebut, konsistensi normal tercapai apabila jarum Vicat menembus pasta semen hingga kedalaman 10 ± 1 mm dari dasar cetakan dalam waktu 30 detik setelah dilepaskan. Karena nilai penetrasi yang diperoleh berada dalam rentang yang dipersyaratkan, maka semen yang digunakan dinyatakan memenuhi standar konsistensi normal.

Dalam kaitannya dengan pembuatan *paving block*, pengujian konsistensi ini penting untuk memastikan mutu semen sebelum digunakan dalam campuran beton semi-kering. Kehalusan semen sangat memengaruhi kebutuhan air dan proses hidrasi. Semen yang lebih halus memiliki luas permukaan partikel yang lebih besar sehingga memerlukan air lebih banyak untuk mencapai konsistensi normal. Selain itu, semen yang lebih halus cenderung mengalami reaksi hidrasi lebih cepat, menghasilkan panas hidrasi yang lebih tinggi, serta dapat mempercepat waktu pengikatan. Faktor-faktor ini berpengaruh terhadap perkembangan kuat tekan, yang merupakan salah satu parameter utama dalam mutu *paving block* (Neville, 2011).

4.1.5 Pengujian Uji Daya Ikat Semen

Pengujian daya ikat semen dilakukan untuk menentukan lamanya waktu pengikatan awal yang menjadi salah satu parameter penting dalam penilaian mutu semen Portland. Melalui pengujian ini dapat diketahui seberapa cepat semen mulai mengalami proses pengerasan setelah dicampur dengan air. Data yang diperoleh dari pengujian tersebut digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi apakah semen memenuhi persyaratan standar yang berlaku. Berikut ini disajikan hasil dari pengujian daya ikat semen yang telah dilaksanakan.

Tabel 4. 5 Hasil Uji Daya Ikat Semen

No	Penurunan jarum (mm)	Waktu penurunan (menit)	Suhu (°C)
1	44	0	28
2	40	15	28
3	35	30	28
4	29	45	28
5	26	50	28
6	22	65	28

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa semen yang digunakan telah memenuhi ketentuan yang tercantum dalam SNI 15-2049-2004. Nilai waktu pengikatan awal yang diperoleh masih berada dalam rentang yang diperbolehkan oleh standar tersebut. Secara umum, waktu pengikatan awal semen Portland biasanya terjadi sekitar 1 hingga 2 jam setelah pencampuran dengan air, tergantung pada jenis dan kondisi pengujiannya.

Apabila proses pengikatan berlangsung terlalu cepat, maka semen dapat dinyatakan tidak memenuhi persyaratan waktu ikat yang telah ditetapkan. Kondisi ini berpotensi menimbulkan kendala dalam tahap pengerjaan, seperti kesulitan saat pencampuran, pemadatan, maupun proses pengecoran. Selain itu, waktu ikat yang terlalu singkat dapat mengurangi waktu kerja (*workability time*) sehingga berisiko menurunkan kualitas hasil akhir. Oleh karena itu, pengendalian waktu pengikatan

menjadi aspek penting untuk memastikan mutu dan kemudahan pelaksanaan pekerjaan konstruksi.

4.2 Pengujian *Paving Block*

4.2.1 Pengujian Kuat Tekan

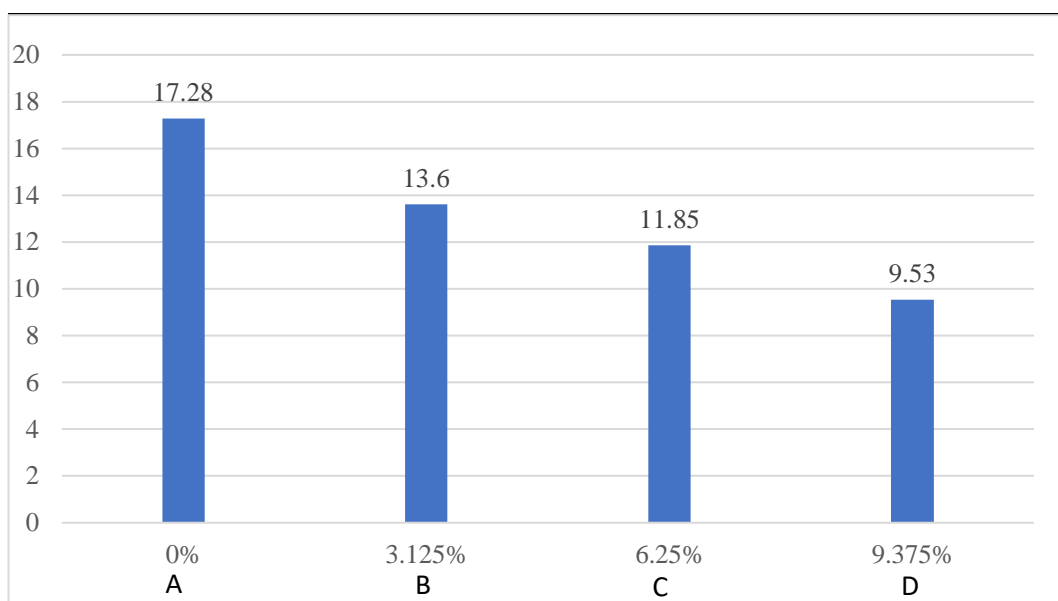
Berdasarkan ketentuan dalam SNI 03-0691-1996, kuat tekan rata-rata minimum untuk *paving block* mutu B adalah sebesar 15 MPa, dengan batas kuat tekan minimum individu sebesar 12,5 MPa. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan tekan dari beberapa variasi campuran *paving block*, yaitu *paving block* normal (tanpa bahan tambahan) serta *paving block* yang dimodifikasi dengan penambahan limbah serbuk kopi sebagai bahan campuran semen.

Pengujian kuat tekan dilaksanakan ketika benda uji telah mencapai umur 21 hari. Nilai kuat tekan yang diperoleh selanjutnya dikonversikan atau diproyeksikan menjadi kuat tekan ekuivalen umur 28 hari, mengingat umur 28 hari merupakan acuan standar dalam evaluasi mutu beton. Data hasil perhitungan tersebut kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik guna mempermudah analisis serta perbandingan kinerja antara *paving block* standar dan *paving block* dengan campuran limbah. Dengan demikian, dapat diketahui apakah variasi campuran yang digunakan masih memenuhi persyaratan mutu sesuai standar yang berlaku.

Tabel 4. 6 Hasil Uji Kuat Tekan

Limbah Bubuk Kopi	Berat (Kg)	Kuat Tekan (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Rata - Rata Kuat Tekan (Mpa)
0%	2205	331	16,55	17,28
	2250	364	18,2	
	2245	342	17,1	
3,125%	2080	263	13,15	13,6
	2170	272	13,6	
	2290	281	14,05	
6,25%	2195	234	11,7	11,85
	2215	251	12,55	

Limbah Bubuk Kopi	Berat (Kg)	Kuat Tekan (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Rata - Rata Kuat Tekan (Mpa)
	2180	226	11,3	
9,375%	2245	182	9,1	9,53
	2265	189	9,45	
	2285	201	10,05	



Grafik 4. 2 Kuat Tekan Rata – Rata Usia 21 Hari

Berdasarkan data pada tabel dan grafik, *paving block* tanpa campuran (0%) memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 17,28 MPa dan dijadikan sebagai acuan pembandingan untuk variasi lainnya. Pada campuran limbah serbuk kopi sebesar 3,125%, terjadi penurunan kuat tekan sebesar 3,68 MPa dibandingkan *paving block* konvensional, dengan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 13.6 MPa.

Selanjutnya, pada variasi campuran 6,25%, kuat tekan maksimum kembali menurun dibandingkan variasi 3,125%, dengan selisih penurunan sebesar 1,75 MPa. Nilai rata-rata kuat tekan pada variasi ini tercatat sebesar 11,85 MPa. Penurunan juga terjadi pada campuran 9,375%, yaitu sebesar 2,32 MPa dibandingkan variasi 6,25%, dengan rata-rata kuat tekan mencapai 9,53 MPa.

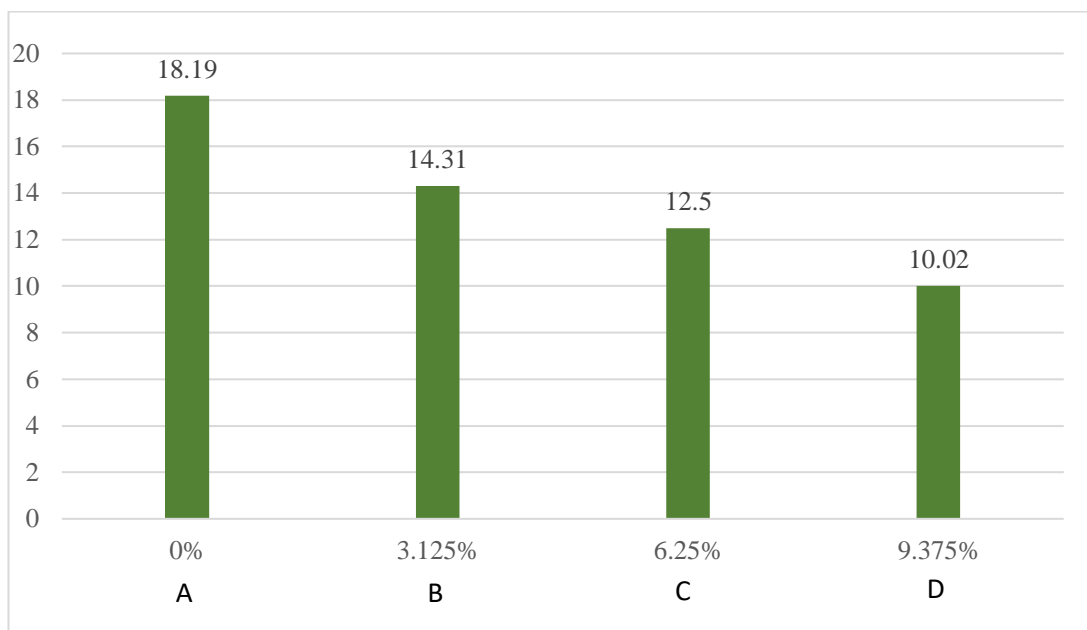
Penurunan kuat tekan akibat penambahan limbah serbuk kopi ini disebabkan karena serbuk kopi tidak memiliki sifat pengikat sehingga tidak mampu berperan sebagai bahan pengikat seperti halnya semen yang menghasilkan produk hidrasi berupa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berkontribusi terhadap kekuatan beton maupun paving block (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014). Selain itu, karakteristik serbuk kopi yang berpori dan memiliki daya serap air tinggi menyebabkan berkurangnya ketersediaan air untuk proses hidrasi semen, sehingga pembentukan struktur yang padat menjadi tidak optimal. Kondisi ini juga meningkatkan jumlah rongga dalam campuran yang berdampak pada menurunnya kerapatan dan kekuatan material. Hal-hal tersebut mengakibatkan kuat tekan aktual lebih rendah dibandingkan dengan mutu rencana.

Dari hasil analisis tabel dan grafik, dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah serbuk kopi sebesar 3,125% dari berat semen menghasilkan kuat tekan paling tinggi dibandingkan variasi lainnya, yaitu sebesar 13,6 MPa pada umur 21 hari. Dengan demikian, variasi 3,125% dapat dianggap sebagai komposisi yang paling optimal dalam penelitian ini.

Selanjutnya disajikan tabel dan grafik yang menunjukkan hasil konversi kuat tekan *paving block* pada umur 28 hari.

Tabel 4. 7 Hasil Konversi Uji Kuat Tekan Usia 28 Hari

Limbah Bubuk Kopi	Berat (Kg)	Kuat Tekan (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Rata - Rata Kuat Tekan (Mpa)
0%	2205	348,42	17,42	18,19
	2250	383,15	19,15	
	2245	360	18	
3,125%	2080	276,84	13,84	14,31
	2170	286,32	14,31	
	2290	295,79	14,78	
6,25%	2195	246,31	12,31	12,5
	2215	264,21	13,21	
	2180	237,89	11,99	
9,375%	2245	191,58	9,57	10,02
	2265	198,95	9,94	
	2285	211,57	10,57	



Grafik 4. 3 Kuat Tekan Rata Rata Usia 28 Hari

Tabel 4. 8 Kesimpulan Hasil Kuat Tekan

Persentase Limbah Serbuk Kopi	Kuat Tekan Paving Usia 21 Hari	Kuat Tekan Paving Usia 28 Hari	Memenuhi SNI Kuat Tekan mutu B ≥ 17 Mpa	Mutu yang didapat
0%	17,28	18,19	Memenuhi	B
3,125%	13,6	14,31	Tidak Memenuhi	C
6,25%	11,85	12,5	Tidak Memenuhi	C
9,375%	9,53	10,02	Tidak Memenuhi	D

Berdasarkan data pada tabel dan grafik, *paving block* tanpa campuran (0%) menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 18,19 MPa yang termasuk dalam kategori mutu B. Nilai ini dijadikan sebagai acuan dalam membandingkan variasi campuran lainnya. Pada variasi penambahan limbah serbuk kopi sebesar 3,125%, terjadi penurunan kuat tekan sebesar 3,88 MPa dibandingkan paving konvensional, dengan nilai rata-rata sebesar 14,31 MPa sehingga masuk dalam kategori mutu C. Selanjutnya, pada campuran 6,25%, kuat tekan kembali menurun dengan selisih sebesar 1,81 MPa dari variasi 3,125%, menghasilkan nilai rata-rata 12,5 MPa yang tergolong mutu C. Selain itu, pada variasi 9,375%, nilai kuat tekan masuk kedalam

kategori mutu D sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan dalam SNI 03-0691-1996.

Dari uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah serbuk kopi cenderung menurunkan kuat tekan *paving block*. Meskipun perencanaan awal ditujukan untuk mencapai mutu B, hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan hipotesis karena komposisi campuran limbah serbuk kopi memiliki kandungan perekat yang lebih kecil jika dibandingkan dengan semen. Secara umum, limbah serbuk kopi tidak memberikan kontribusi dalam meningkatkan kuat tekan beton. Hal ini sejalan dengan penelitian Arqowi Pribadi (2025) yang menunjukkan bahwa nilai kuat tekan optimum beton sebesar 20,94 MPa diperoleh pada campuran limbah ampas kopi sebesar 2,5%.

Adapun pada penelitian ini, nilai kuat tekan optimum *paving block* dengan campuran limbah serbuk kopi terdapat pada variasi 3,125%, yaitu sebesar 13,6 MPa pada umur 21 hari dan meningkat menjadi 14,31 MPa pada umur 28 hari.

4.2.2 Pengujian Daya Serap Air

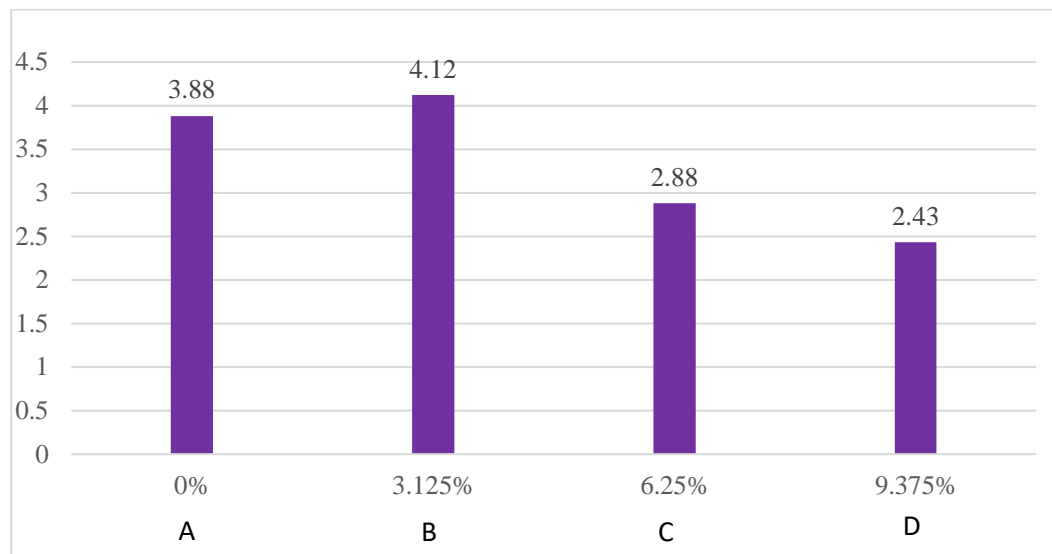
Mengacu pada SNI 03-0691-1996, persyaratan daya serap air *paving block* ditentukan berdasarkan klasifikasi mutunya. Untuk mutu A, batas rata-rata penyerapan air yang diperbolehkan adalah maksimum 3%. Sementara itu, untuk mutu B sebesar 6%, mutu C sebesar 8%, dan mutu D sebesar 10%. Apabila nilai rata-rata penyerapan air masih berada di bawah atau sama dengan batas yang telah ditetapkan tersebut, maka *paving block* dapat dinyatakan memenuhi standar yang berlaku. Pengujian daya serap air pada penelitian ini dilaksanakan ketika benda uji telah mencapai umur 21 hari. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui kemampuan *paving block* dalam menyerap air sebagai salah satu indikator kualitas dan kerapatan strukturnya.

Adapun hasil pengujian terhadap kemampuan penyerapan air paving block ditunjukkan sebagai berikut.

Tabel 4. 9 Hasil Uji Daya Serap Air

Persentase Limbah Serbuk Kopi	Berat Kering (gr)	Berat Basah (gr)	Penyerapan Air (%)	Rata - Rata (%)	Memenuhi SNI daya serap mutu B < 6%	Mutu yang didapat
0%	2205	2310	4,76%	3,88	Memenuhi	B
	2250	2320	3,11%			
	2245	2330	3,78%			
3,125%	2080	2160	3,84%	4,12	Memenuhi	B
	2170	2275	4,83%			
	2290	2375	3,71%			
6,25%	2195	2260	2,96%	2,88	Memenuhi	A
	2215	2270	2,48%			
	2180	2250	3,21%			
9,375%	2245	2310	2,90%	2,43	Memenuhi	A
	2265	2315	2,21%			
	2285	2335	2,19%			

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 03-0691-1996, *paving block* diklasifikasikan ke dalam beberapa mutu dengan batas maksimum penyerapan air yang berbeda-beda sesuai nilai rata-ratanya. Pada penelitian ini diketahui bahwa *paving block* dengan campuran limbah serbuk kopi memiliki daya serap yang lebih kecil jika dibandingkan dengan *paving block* konvensional.



Grafik 4. 4 Daya Serap Air

Berdasarkan data pada tabel, hasil uji daya serap menunjukkan adanya pola yang tidak konstan, yaitu mengalami kenaikan dan penurunan pada setiap variasi persentase campuran. Nilai penyerapan air yang paling optimal terdapat pada *paving block* dengan penambahan limbah serbuk kopi sebesar 9,375%, karena menghasilkan kualitas yang tergolong mutu A dengan rata-rata sebesar 2,43% atau masih berada di bawah batas 6%.

Pada variasi campuran limbah serbuk kopi sebesar 3,125%, terjadi peningkatan nilai penyerapan air sebesar 0,24% dibandingkan dengan variasi 0%. Meskipun demikian, nilai tersebut masih memenuhi kriteria mutu B. Selanjutnya, pada variasi limbah serbuk kopi 6,25%, nilai daya serap justru menurun sebesar 1,24% dibandingkan variasi 3,125%, sehingga pada variasi 6,25% terjadi peningkatan kualitas hingga mencapai kategori mutu A. Variasi campuran 9,375% menunjukkan nilai penyerapan air paling rendah dibandingkan variasi lainnya, yaitu sebesar 2,43%, sehingga termasuk dalam mutu A. Namun demikian, hasil pengujian kuat tekan pada variasi ini memperlihatkan penurunan paling signifikan jika dibandingkan dengan variasi campuran lainnya.

Penggunaan serbuk kopi sebagai substitusi parsial semen pada *paving block* dapat menurunkan nilai penyerapan air. Hal ini dipengaruhi oleh ukuran partikel serbuk kopi yang relatif halus sehingga mampu mengisi rongga-rongga mikro

dalam campuran dan menghasilkan struktur yang lebih padat. Selain itu, kandungan senyawa organik seperti lignin, selulosa, dan minyak alami pada serbuk kopi berpotensi menutup atau menghambat pori-pori terbuka pada matriks beton, sehingga membatasi penetrasi air ke dalam material. Akibatnya, jumlah pori efektif yang berkontribusi terhadap penyerapan air menjadi berkurang. Fenomena ini sejalan dengan konsep perbaikan mikrostruktur melalui efek pengisian (*filler effect*) yang dapat meningkatkan kerapatan material (Mehta & Monteiro, 2014). Namun demikian, pengaruh positif tersebut umumnya hanya terjadi pada kadar campuran yang rendah. Apabila penggunaan serbuk kopi terlalu tinggi, ikatan antar partikel menjadi kurang optimal dan dapat meningkatkan porositas, sehingga daya serap air justru meningkat (Siddique, 2008).

4.3 Analisis Harga *Paving Block* Dengan Campuran Limbah Bubuk Kopi

Pada penelitian ini akan diuraikan mengenai perhitungan perkiraan biaya produksi *paving block* yang dikembangkan melalui pemanfaatan limbah serbuk kopi sebagai bahan inovatif, kemudian dibandingkan dengan *paving block* konvensional pada umumnya. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan kebutuhan biaya antara produk standar dan produk hasil modifikasi, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai kelayakan ekonominya.

Rincian perbandingan biaya produksi disajikan untuk masing-masing variasi campuran yang diteliti dalam kajian ini. Seluruh perhitungan biaya tersebut mengacu dan disesuaikan dengan ketentuan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang berlaku di Kota Semarang tahun 2025, sehingga hasil estimasi yang diperoleh tetap relevan dengan kondisi dan standar perhitungan setempat.

Tabel 4. 10 Analisis Harga *Paving Block* dengan Campuran Limbah Serbuk Kopi

No.	Nama Bahan	Satuan	Harga
1	Pasir	Kg	Rp. 274,86
2	Semen	Kg	Rp. 1.410,00
3	Air	Liter	Rp. 0,00
4	Limbah Bubuk Kopi	Kg	Rp. 0,00
5	Pekerja	Per <i>paving block</i>	Rp. 1.000,00

4.3.1 Anggaran Biaya Paving Block Campuran 0%

Berikut ini disajikan perkiraan anggaran biaya yang dibutuhkan dalam proses pembuatan *paving block* konvensional serta campuran dengan variasi 0%.

Tabel 4. 11 Anggaran Biaya 0%

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A.	Tenaga Kerja				
	Pekerja	1	Per <i>paving block</i>	1.000,00	1.000,00
Jumlah Tenaga Kerja					1.000,00
B.	Bahan				
	Pasir	2,116	Kg	274,86	581,604
	Semen	0,45	Kg	1.410,00	634,5
	Air	0,2	L	-	-
	Limbah Bubuk Kopi	0	gram	-	-
Jumlah Harga Bahan					1.216,10
C.	Jumlah Harga Tenaga dan Bahan (A+B)				2.216,10
D.	Total Biaya/ 1 m ² (C x 45)				99.724,50

Berdasarkan data yang tercantum pada tabel sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa biaya produksi paving block konvensional atau variasi 0% adalah sebesar Rp 2.216,10 per buah. Apabila dihitung berdasarkan luas pemasangan, maka kebutuhan biaya untuk setiap 1 m² mencapai Rp 99.724,50.

4.3.2 Anggaran Biaya Paving Block Campuran 3,125%

Berikut ini disajikan perkiraan anggaran biaya yang dibutuhkan dalam proses pembuatan paving block dengan campuran limbah bubuk kopi sebagai substitusi semen sebesar 3,125%.

Tabel 4. 12 Anggaran Biaya 3,125%

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A.	Tenaga Kerja				
	Pekerja	1	Per <i>paving block</i>	1.000,00	1.000,00
Jumlah Tenaga Kerja					1.000,00
B.	Bahan				
	Pasir	2,116	Kg	274,86	581,604
	Semen	0.4404375	Kg	1.410,00	621,02
	Air	0,2	L	-	-
	Limbah Bubuk Kopi	9,5626	gram	-	-
Jumlah Harga Bahan					1.202,62
C.	Jumlah Harga Tenaga dan Bahan (A+B)				2.202,62
D.	Total Biaya/ 1 m ² (C x 45)				99.117,90

Berdasarkan data yang tercantum pada tabel sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa biaya produksi paving block konvensional atau variasi 3,125% adalah sebesar Rp 2.202,62 per buah. Apabila dihitung berdasarkan luas pemasangan, maka kebutuhan biaya untuk setiap 1 m² mencapai Rp 99.117,90.

4.3.3 Anggaran Biaya *Paving Block* Campuran 6,25%

Berikut ini disajikan perkiraan anggaran biaya yang dibutuhkan dalam proses pembuatan *paving block* dengan campuran limbah bubuk kopi sebagai substitusi semen sebesar 6,25%.

Tabel 4. 13 Anggaran Biaya 6,25%

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A.	Tenaga Kerja				
	Pekerja	1	Per <i>paving block</i>	1.000,00	1.000,00
Jumlah Tenaga Kerja					1.000,00
B.	Bahan				
	Pasir	2,116	Kg	274,86	581,604
	Semen	0,4300875	Kg	1.410,00	606,424
	Air	0,2	L	-	-

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
	Limbah Bubuk Kopi	19,125	gram	-	-
Jumlah Harga Bahan					1.188,03
C.	Jumlah Harga Tenaga dan Bahan (A+B)				2.188,03
D.	Total Biaya/ 1 m ² (C x 45)				98.461,35

Berdasarkan data yang tercantum pada tabel sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa biaya produksi paving block konvensional atau variasi 6,25% adalah sebesar Rp 2.188,03 per buah. Apabila dihitung berdasarkan luas pemasangan, maka kebutuhan biaya untuk setiap 1 m² mencapai Rp 98.461,35.

4.3.4 Anggaran Biaya *Paving Block* Campuran 9,375%

Berikut ini disajikan perkiraan anggaran biaya yang dibutuhkan dalam proses pembuatan *paving block* dengan campuran limbah bubuk kopi sebagai substitusi semen sebesar 9,375%.

Tabel 4. 14 Anggaran Biaya 9,375%

No	Uraian	Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A.	Tenaga Kerja				
	Pekerja	1	Per <i>paving block</i>	1.000,00	1.000,00
Jumlah Tenaga Kerja					1.000,00
B.	Bahan				
	Pasir	2,116	Kg	274,86	581,604
	Semen	0,4210313	Kg	1.410,00	593,654
	Air	0,2	L	-	-
	Limbah Bubuk Kopi	28,6875	gram	-	-
Jumlah Harga Bahan					1.175,26
C.	Jumlah Harga Tenaga dan Bahan (A+B)				2.175,26
D.	Total Biaya/ 1 m ² (C x 45)				97.886,70

Berdasarkan data yang tercantum pada tabel sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa biaya produksi *paving block* konvensional atau variasi 9,375% adalah

sebesar Rp 2.175,26 per buah. Apabila dihitung berdasarkan luas pemasangan, maka kebutuhan biaya untuk setiap 1 m² mencapai Rp 97.886,70.

4.3.5 Rekapitulasi Harga *Paving Block*

Tabel 4. 15 Rekapitulasi Harga *Paving Block*

No	Variasi	Harga Satuan (Rp)	Harga 1 m2 (Rp)
1.	0%	2.216,10	99.724,50
2.	3,125%	2.202,62	99.117,90
3.	6,25%	2.188,03	98.461,35
4.	9,375%	2.175,26	97.886,70

Berdasarkan hasil perhitungan rencana anggaran biaya yang disajikan pada tabel sebelumnya, produksi *paving block* konvensional membutuhkan biaya sebesar Rp 2.216,10 untuk setiap satu buah. Jika dikalkulasikan berdasarkan kebutuhan pemasangan per 1 m², dengan asumsi sebanyak 45 unit *paving block*, maka total biaya yang diperlukan mencapai Rp 99.724,50. Sementara itu, pada *paving block* inovatif dengan kadar variasi tertinggi yaitu 9,375%, biaya produksi per unit tercatat sebesar Rp2.175,26.

Apabila dihitung untuk kebutuhan 1 m² yang terdiri dari 45 buah *paving block*, total biayanya menjadi Rp 97.886,70. Dari perbandingan tersebut dapat disimpulkan bahwa *paving block* inovasi menunjukkan tingkat efisiensi biaya yang lebih baik dibandingkan *paving block* standar (variasi 0%), karena menghasilkan total pengeluaran yang lebih rendah dalam proses produksinya.

4.4 Analisis Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penggunaan limbah serbuk kopi sebagai substitusi semen pada *paving block* dengan variasi persentase 0%, 3,125%, 6,25%, dan 9,375% menunjukkan bahwa nilai kuat tekan dan daya serap yang dihasilkan masih memenuhi ketentuan SNI 03-0691-1996, namun pada uji kuat tekan diketahui bahwa paving dengan campuran limbah serbuk kopi belum memenuhi mutu B. Akan tetapi pada pengujian daya serap air diketahui bahwa campuran kopi dapat menurunkan daya serap air pada paving.

Tabel 4. 16 Analisis Secara Keseluruhan

No.	Variasi	Hasil Pengujian		Kelas Mutu		Anggaran Biaya	
		Kuat Tekan (Mpa)	Daya Serap (%)	Memenuhi SNI Kuat Tekan mutu B>	Memenuhi SNI Daya Serap mutu B<	Harga Satuan (Rp)	Harga 1m ² (Rp)
1.	0%	18,19	3,88	Memenuhi	Memenuhi	2.216,10	99.724,50
2.	3,125%	14,31	4,12	Tidak Memenuhi	Memenuhi	2.202,62	99.117,90
3.	6,25%	12,5	2,88	Tidak Memenuhi	Memenuhi	2.188,03	98.451,35
4.	9,375%	10,02	2,43	Tidak Memenuhi	Memenuhi	2.175,26	97.886,70

Berdasarkan data yang tersaji pada tabel, dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan dan daya serap air pada paving block menunjukkan kecenderungan hubungan yang tidak teratur atau fluktuatif. Diketahui, pada tabel diatas terlihat bahwa saat kuat tekan beton menurun nilai daya serap air meningkat, akan tetapi berikutnya, apabila daya serap air menurun, maka kuat tekan yang dihasilkan juga ikut menurun. Hubungan ini mengindikasikan adanya keterkaitan antara kepadatan struktur material dengan kemampuan menyerap air, di mana perubahan komposisi campuran akan memengaruhi kedua parameter tersebut. Di samping itu, pemanfaatan limbah serbuk kopi dalam campuran paving block memberikan nilai tambah dari segi ekonomi, karena dapat menekan biaya produksi dengan mengurangi penggunaan bahan utama seperti semen atau agregat halus.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu oleh Pribadi (2025), penggunaan limbah serbuk kopi sebagai substitusi sebagian semen pada beton menunjukkan hasil yang cukup baik, dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 16,98 MPa dan nilai maksimum mencapai 20,94 MPa. Dalam penelitian tersebut, persentase campuran yang dianggap paling optimal adalah sebesar 2,5%. Hasil ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan saat ini, di mana nilai kuat tekan tertinggi pada *paving block* juga diperoleh pada variasi campuran terendah yaitu sebesar 3,125%, yaitu sebesar 14,31 MPa. Meskipun demikian, nilai tersebut belum mampu memenuhi kriteria mutu B yang disyaratkan dalam standar. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya perbedaan jenis benda uji yang digunakan, di mana penelitian sebelumnya berfokus pada beton, sedangkan

penelitian ini menggunakan paving block. Selain itu, perbedaan metode pencampuran serta proporsi material juga turut memengaruhi hasil yang diperoleh.

Lebih lanjut, penelitian Pribadi (2025) juga menunjukkan adanya kecenderungan bahwa peningkatan kadar limbah serbuk kopi dalam campuran beton berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan yang dihasilkan. Dengan kata lain, semakin besar persentase limbah yang digunakan, maka kekuatan tekan beton akan semakin menurun. Fenomena ini juga sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan saat ini, di mana peningkatan variasi limbah serbuk kopi pada *paving block* menyebabkan penurunan nilai kuat tekan secara bertahap hingga tidak lagi memenuhi standar mutu yang ditentukan. Kondisi tersebut dapat dijelaskan oleh sifat limbah serbuk kopi yang cenderung mengganggu proses hidrasi semen serta melemahkan ikatan antar partikel dalam matriks material, sehingga berdampak pada penurunan kualitas mekanik.

Di sisi lain, penelitian yang dilakukan oleh Hartini (2021) menunjukkan hasil yang berbeda, di mana penggunaan abu ampas kopi sebagai bahan substitusi pada beton dengan kadar 2,5% mampu menghasilkan kuat tekan optimum sebesar 20,98 MPa. Nilai ini bahkan termasuk dalam kategori mutu struktural, yang menunjukkan bahwa jenis limbah dan proses pengolahannya memiliki peranan penting dalam menentukan kualitas akhir material. Apabila dibandingkan dengan penelitian ini, nilai kuat tekan maksimum yang diperoleh juga terjadi pada variasi terendah yaitu sebesar 3,125%, namun hanya mencapai 14,31 MPa dan belum memenuhi mutu B. Perbedaan ini diduga disebabkan oleh jenis limbah yang digunakan, yaitu serbuk kopi yang hanya melalui proses pengeringan dengan oven tanpa proses pembakaran menjadi abu, sehingga karakteristiknya berbeda. Selain itu, perbedaan jenis benda uji antara beton dan *paving block* juga menjadi faktor yang memengaruhi hasil pengujian.

Dari keseluruhan hasil analisis tersebut, dapat dipahami bahwa semakin kecil persentase limbah serbuk kopi yang digunakan dalam campuran, maka semakin besar peluang untuk mempertahankan nilai kuat tekan yang mendekati atau memenuhi standar mutu yang ditetapkan. Sebaliknya, peningkatan kadar limbah dalam jumlah yang terlalu besar justru akan menurunkan kualitas mekanik material

secara signifikan. Oleh karena itu, diperlukan pemilihan komposisi campuran yang tepat agar diperoleh keseimbangan antara pemanfaatan limbah dan kualitas produk yang dihasilkan.

Secara umum, hasil pembahasan dari pengujian ini menunjukkan bahwa limbah serbuk kopi memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan substitusi dalam pengembangan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Penggunaan limbah tersebut pada variasi tertentu, seperti 3,125%, 6,25%, dan 9,375%, masih memungkinkan untuk menghasilkan paving block dengan karakteristik yang cukup baik. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang mengaplikasikan limbah serbuk kopi sebagai substitusi sebagian semen pada beton. Perbedaannya terletak pada objek penelitian, di mana penelitian sebelumnya berfokus pada beton, sedangkan penelitian ini mengkaji penggunaannya pada paving block. Meskipun demikian, kedua penelitian tersebut memberikan kesimpulan yang serupa, yaitu bahwa limbah serbuk kopi dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif, namun penggunaannya perlu dibatasi agar tidak menurunkan kualitas material secara signifikan.