

Inovasi Paving Block Ramah Lingkungan Dengan Memanfaatkan Limbah Geodipa Sebagai Pengganti Sebagian Semen

Environmentally Friendly Paving Block Innovation by Utilizing Geodipa Waste as a Partial Substitute for Cement

Fikroni¹, Agus Juara², Suharto³

Universitas Sains Al-Qur'an¹, Universitas Sains Al-Qur'an², Universitas Sains Al-Qur'an³

Koresponden¹, Email: fikroni@gmail.com , agus@gmail.com , Suharto@gmail.com

Info Artikel

Diajukan : 10 September 2023
Diperbaiki : 15 September 2023
Disetujui : 27 September 2023

Keywords: Innovation; Geodipa Waste; Paving Blocks;

Abstract

The increasing growth of the factory industry has created new attention to waste which needs to be managed more seriously so that it can provide benefits, especially in the construction sector. For this reason, it is necessary to conduct research on this problem. In this study, researchers conducted research using geodipa waste. The percentage of geodipa waste used in this research is 3%, 5%, 8%, 10% and 12% of the cement weight requirement using a mixture of 1PC:6Ps and 100 ml of water for 1 paving block with a mold thickness of 6 cm, width 10 cm, 20 cm long using manual tools. The test results using geodipa waste for a mixture of an average of 8% compressive strength test produced were 16.13 MPa for Rp. 1,066,-/seed according to SNI-03-0691-1996 including class C quality (can be used for pedestrians) while for the normal mixture the resulting compressive strength test was 11.33 MPa for Rp. 1,100,-/seed including class D quality from the results of the compressive strength test of the paving blocks, it can be concluded that the addition of geodipa waste produces better results.

Abstrak

Pertumbuhan pabrik industri yang semakin meningkat membuat perhatian baru terhadap limbah yang perlu dikelola lebih serius agar bisa memberikan kemanfaatan khususnya konstruksi. Untuk itu perlu dilakukan penelitian atas permasalahan tersebut. Pada penelitian ini peneliti melakukan penelitian dengan memanfaatkan limbah geodipa. Adapun besaran persentase penggunaan limbah geodipa pada penelitian ini sebesar 3%, 5%, 8%, 10% dan 12% dari kebutuhan berat semen menggunakan campuran 1PC:6Ps dan 100 ml air untuk 1 buah paving block dengan ukuran ketebalan cetakan 6 cm, lebar 10 cm, Panjang 20 cm menggunakan alat manual. Hasil pengujian menggunakan limbah geodipa untuk campuran rata-rata 8% uji kuat tekan yang dihasilkan sebesar 16,13 MPa seharga Rp. 1.066,-/biji termasuk mutu kelas C (bisa digunakan untuk pejalan kaki)[1] sedangkan untuk campuran normal uji kuat tekan yang dihasilkan sebesar 11,33 MPa seharga Rp.1.100,-/biji termasuk mutu kelas dari hasil uji kuat tekan paving block tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah geodipa mendapatkan hasil yang lebih baik.

Kata kunci: Inovasi; Limbah Geodipa; Paving Block;

1. Pendahuluan

Paving block adalah salah satu jenis material yang banyak digunakan untuk membuat permukaan jalan, trotoar, lahan parkir, dan area publik lainnya. Seiring dengan perkembangan pembangunan konstruksi yang semakin meningkat diperlukan alternatif pengganti atau pengurangan penggunaan bahan material semen mengingat hampir semua konstruksi menggunakan bahan material semen [1] disisi lain pertumbuhan pabrik industri yang semakin meningkat membuat perhatian baru terhadap limbah yang perlu dikelola lebih serius agar tidak menjadi sumber penyakit dan bisa memberikan kemanfaatan [2], [3]. Untuk itu peneliti akan melakukan penelitian terhadap limbah geodipa sebagai bahan pengganti sebagian semen menggunakan media paving block [4]. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui bagaimana pengaruh campuran limbah geodipa terhadap kuat tekan paving block pada umur 7 hari [5] campuran 3%, 5%, 8%, 10% 12% dan mengetahui biaya yang dibutuhkan untuk pembuatan paving block [6].

2. Metode

Metodologi penelitian dilaksanakan dengan cara membuat benda uji (sampel) di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sains Al-Qur'an (UNSIQ) Jawa Tengah Di Wonosobo. Pada penelitian ini Peneliti memilih untuk menggunakan metode eksperimen dalam penelitian untuk mengetahui kuat tekan optimum benda uji paving block setelah dilakukan penyampuran limbah Geodipa yang sudah dihaluskan dan lolos saringan 100. Komposisi pembuatan paving block dengan penambahan limbah geodipa sesuai variasi yang dilakukan yaitu dengan prosentase 3%, 5%, 8%, 10%, 12% dengan dimensi hasil cetak 20 cm x 10 cm x 6 cm [7], [8]. Untuk jenis semen yang digunakan adalah semen merek tiga roda kemasan 50kg yang didapatkan dari toko material dalam keadaan baik dan tertutup rapat [9]. Pasir yang digunakan adalah [10] pasir dari desa Petir, Banjarnegara serta air bersih PDAM Kabupaten Wonosobo [11]. Komposisi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode eksperimen dengan bahan campur limbah geodipa saat pembuatan paving block [2]. Setiap pengujian menggunakan 3 buah paving block untuk setiap prosentase. Adapun rincian sebagai berikut :

Tabel 1 Variasi campuran limbah geodipa

Limbah geodipa (%)	Jumlah Sampel
0%	3
3%	3
5%	3
8%	3
10%	3
12%	3
Jumlah	18

Sumber : Data penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi 4 tahap :

1. Tahapan Persiapan

Tahapan yang pertama yaitu tahapan persiapan pada tahap ini diperlukan mempersiapkan bahan-bahan yang akan digunakan untuk menyusun paving block diantaranya, mempersiapkan agregat halus pasir [12], semen portland yaitu jenis bahan yang memenuhi standar spesifikasi minimum dan dapat digunakan untuk bahan konstruksi umum salah satunya untuk pembuatan paving block [13] serta campuran yang akan digunakan sebagai bahan campur lain dalam pembuatan paving block.

Penelitian pada tahap ini meliputi :

- a. Pengujian Gradasi [14]
- b. Uji Berat Volume Padat agregat [15]–[17]
- c. Pengujian Kandungan Lumpur [12], [18]
- d. Semen [9]
- e. Air (penentuan volume air ideal) [19]
- f. Limbah geodipa (lolos saringan 100 dan penimbangan)

2. Tahap Pembuatan

- a. Membuat adukan paving block secara manual dengan cara mencampurkan semen, pasir kemudian ditambahkan dengan campuran limbah geodipa sampai tercampur dengan rata.
- b. Setelah adukan tercampur dengan rata. ditambahkan air sedikit demi sedikit secara merata sambil tetap diaduk.
- c. Masukkan adukan ke dalam cetakan paving block, isi cetakan dengan adukan sampai terisi 1/5 lapis dari cetakan kemudian di tusuk-tusuk menggunakan tongkat pemadat. Masukkan kembali adukan hingga cetakan terisi penuh kemudian di padatkan menggunakan alat pemadat dengan memukulnya berkali-kali sampai mendapatkan kepadatan optimum.

d. Jika pemadatan dirasa sudah cukup dan bahan adonan sudah merata, selanjutnya keluarkan adonan dan diletakan pada tempat yang kering, teduh dan pastikan permukaan tempat yang digunakan rata agar tidak mempengaruhi kualitas.

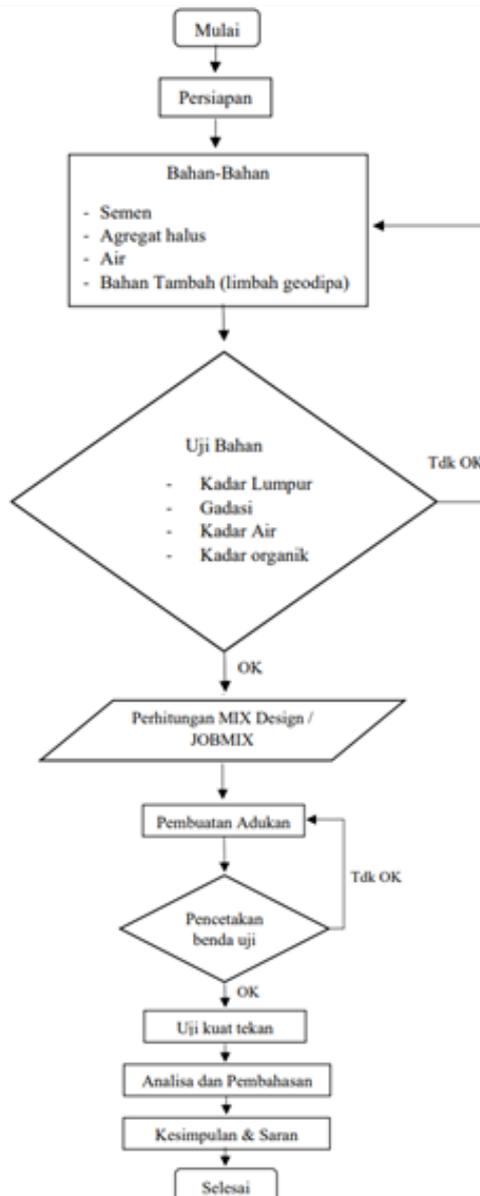
3. Tahapan Perawatan

Jika dirasa sudah cukup keras perawatan dengan cara penyiraman bisa dilakukan setiap pagi hari selama 7 hari sebelum dilakukanya uji kuat tekan dan pastikan paving block tidak menerima terlalu banyak air atau terkena sinar terik matahari langsung karena dapat mengakibatkan mutu kualitas paving block tidak optimum.

4. Tahapan Pengujian

Setelah paving block berumur 7 hari pengujian kuat tekan dapat dilakukan untuk mendapatkan hasil uji kuat tekan paving block maksimum. Langkah pengujian dilakukan sesuai dengan SNI yang dipersyaratkan :

- a. Benda uji yang telah diangin-anginkan selama satu hari dibersihkan permukaannya dari kotoran yang menempel.
- b. Penghitungan berat volume benda uji.
- c. Ukur dimensi benda uji.
- d. Benda uji diletakkan tepat ditengah alat uji.
- e. Alat uji dinyalakan dengan tekanan benda uji yang terus meningkat.
- f. Pembebanan terus dilakukan sampai benda uji pecah dan dicatat beban maksimum yang terjadi.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

1. Hasil dan Pembahasan

Uji Kadar Lumpur [12]

Dari hasil pengujian dan pengamatan kadar lumpur didapatkan data sebagai berikut:

- Tinggi pasir + lumpur = 570 mm
- Tinggi pasir = 550 mm
- Perhitungan

$$\left(\frac{A-B}{A}\right) \times 100\% = \left(\frac{570-550}{570}\right) \times 100\% = \left(\frac{20}{570}\right) \times 100\% = 0,35\% \quad (1)$$

Nilai kadar lumpur yang terdapat pada pasir yang digunakan dari Banjarnegara sebesar 0,35% dibawah standar maksimum 5%, sehingga sesuai dengan [12] bahwa pasir tersebut layak digunakan untuk pembuatan Paving Block.

Dari hasil pengamatan dan pengujian kadar organik pada pasir Banjarnegara, didapatkan pengamatan pada gambar 2.



Gambar 2. Uji Kadar Organik

Hasil dari penelitian kadar organic untuk pasir banjarnegara ditemukanya hasil warna air putih muda seperti pada gambar atau masuk kategori nomor 1 tentag Agregat Halus untuk beton, warna standar yang bisa digunakan adalah warna nomor 3 jadi pada pasir yang digunakan sebagai bahan uji tidak diperlukan pencucian ulang karena sudah lolos tahap uji kadar organik.

Uji Gradasi [20][14]

Tabel 2. Uji Gradasi

Ukuran ayakan (mm)	Berat Saringan	Berat Saringan + Pasir	Berat Pasir tertinggal (gran)	Berat tertinggal (%)	Berattertinggal kumulatif (%)	Persen tembus kumulatif (%)
10	-	-	-	-	-	100%
4,8	271,80	348,00	76,20	7,62	7,62	92,38
2,4	248,25	304,00	55,75	5,58	13,20	86,81
1,2	248,15	379,5	131,35	13,14	26,33	73,67
0,6	251,80	490,00	238,20	23,83	50,15	49,85
0,3	244,30	450,10	205,80	20,58	70,73	29,27
0,15	243,30	465,00	221,70	22,17	92,90	7,10
Sisa	252,00	323,00	71,00	7,10	100,00	-
Jumlah			1000,00		360,93	

Dari tabel diatas ditemukanya Gradasi halus dan masuk dari yang dipersyaratkan antara 1,5 - 3,8

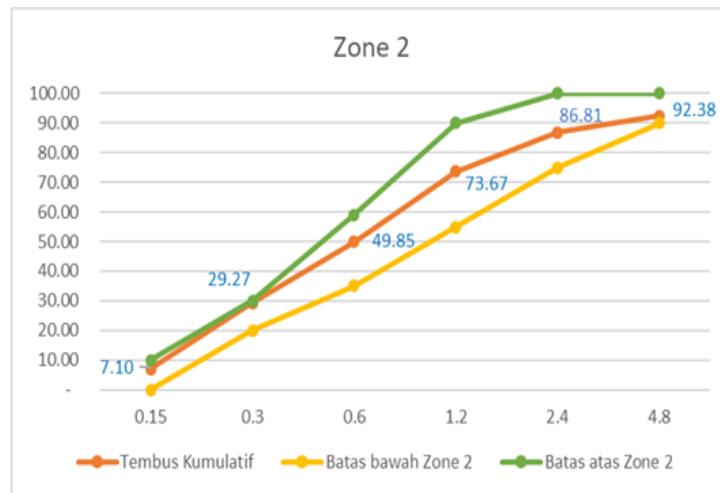
$$360,93/100 = 3,60 \text{ MHB}$$

(2)

Tabel 3. Uji Gradasi

Lubang ayakan (mm)	Persen berbutir yang lolos ayakan				Hasil saringan
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV	
10	100	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100	92,38
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100	86,81

Lubang ayakan (mm)	Persen berbutir yang lolos ayakan				Hasil saringan
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV	
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100	73,63
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100	49,85
0,3	5-20	20-30	12-40	15-50	29,27
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15	7,10



Gambar 3. Grafik Uji Gradasi

Perhitungan Kebutuhan Campuran

Pembuatan paving block untuk setiap campuran benda uji menggunakan perbandingan 1 pc : 6 ps menggunakan cetakan berdimensi 20 x 10 x 6 cm yang artinya dalam pemasangan tiap 1 m² membutuhkan 50 buah paving block. Dalam 1 zak semen 50kg biasanya dapat menghasilkan paving block sebanyak 150 buah, atau dapat untuk pemasangan seluas 3 m² maka ditemukan berat semen 0,33 kg dan pasir 1,98 kg adapun volume kebutuhan limbah geodipa diperhitungkan dari prosentase berat semen, Berikut kebutuhan bahan yang dibutuhkan:

$$1 \text{ benda uji paving block} = 20 \times 10 \times 6 \text{ cm} = 1200 \text{ cm}^3 \tag{3}$$

$$\text{Kebutuhan bahan untuk paving block 1PC:6Ps} \tag{4}$$

$$\text{Semen} = 50/150 = 0,33 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 0,33 \times 6 = 1,98 \text{ kg}$$

$$\text{Kebutuhan bahan untuk 3 benda uji} \tag{5}$$

$$\text{Semen} = 0,33 \times 3 = 0,99 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 1,98 \times 3 = 5,94 \text{ kg}$$

$$\text{Prosentase kebutuhan limbah geodipa} \tag{6}$$

$$3\% = 3\% \times 0,99 = 0,030 \text{ kg}$$

$$5\% = 5\% \times 0,99 = 0,050 \text{ kg}$$

$$8\% = 8\% \times 0,99 = 0,079 \text{ kg}$$

$$10\% = 10\% \times 0,99 = 0,099 \text{ kg}$$

$$12\% = 12\% \times 0,99 = 0,119 \text{ kg}$$

Kebutuhan Air

Untuk mengetahui kebutuhan air dilakukan uji coba pembuatan paving block normal dengan penggunaan air mulai dari 150 ml – 750 ml terhadap 3 sampel yang diperinci pada tabel berikut:

Tabel 4. Kebutuhan Air ideal

No	Pasir (kg)	PC (kg)	Air (ml)	Jumlah benda uji	Waktu cetak (menit)	Hasil
1	5,94	0,99	150	3	1	Gagal
2	5,94	0,99	300	3	2	Ok
3	5,94	0,99	450	3	3	Ok
4	5,94	0,99	600	3	4	Ok
5	5,94	0,99	750	3	5	Ok

Hasil eksperimen diatas menunjukkan bahwa campuran 1 : 6 mendapatkan hasil terbaik pada penambahan air 300 ml dengan 3 benda uji. maka untuk prosentase air yang digunakan dalam pembuatan paving block dengan bahan tambah limbah geodipa akan lebih baik menggunakan penambahan air sebanyak 300 ml. Jumlah kebutuhan bahan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kebutuhan bahan penelitian

Variasi	Limbah Geodipa (%)	Semen (%)	Pasir (kg)	Air (ml)	Jumal benda uji
Normal	-	0,99	5,94	300	3
3%	0,03	0,96	5,94	3	3
5%	0,05	0,94	5,94	3	3
8%	0,079	0,88	5,94	3	3
10%	0,099	0,89	5,94	3	3
12%	0,119	0,87	5,94	3	3

Pengujian Kuat Tekan

Uji kuat tekan dilakukan di Labolatorium Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas sains Al-Qur'an Setelah paving block berumur 7 hari [7]. Sebelumnya paving block dikeringkan dengan cara diangin-anginkan supaya pemadatan lebih baik dan kering Pengujian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan paving saat diberi tekanan. Area yang mendapat tekanan dengan volume 10cm x 20cm dari paving block yang dibuat berukuran 10cm x 20cm x 6cm. Pada pengujian ada beberapa faktor yang menyebabkan hasil dari paving block ini kurang maksimal yaitu pada saat pembuatan benda uji paving block kurang presisi atau tidak sama rata. Hasil Pengujian dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 6. Uji Kuat Tekan Paving Block Normal

No Benda Uji	Masa Benda Uji	Dimensi (mm)			Luas Bidang (mm ²)	Tekanan Maksimum (N)	Tekanan Maksimum (MPa)
		P	L	T			
N-01	2,377	200	100	60	20.000,00	140.300,00	10,79
N-02	2,408	200	100	60	20.000,00	159.100,00	12,24
N-03	2,422	200	100	60	20.000,00	142.500,00	10,96
Rata-Rata							11,33

Tabel 7. Uji Kuat Tekan Paving Block variasi 3%

No Benda Uji	Masa Benda Uji	Dimensi (mm)			Luas Bidang (mm ²)	Tekanan Maksimum (N)	Tekanan Maksimum (MPa)
		P	L	T			
C3-01		200	100	60	20000,00	85400,00	6,57
C3-02		200	100	60	20000,00	174600,00	13,43

C3-03	20	10	60	20000,00	155300,00	11,95
	0	0				
	Rata-Rata					11,33

Tabel 8. Uji Kuat Tekan Paving Block variasi 5%

No Benda Uji	Masa Benda Uji	Dimensi (mm)			Luas Bidang (mm ²)	Tekanan Maksimum (N)	Tekanan Maksimum (MPa)
		P	L	T			
C5-01		20	10	60	20000,00	197800,00	15,22
		0	0				
C5-02		20	10	60	20000,00	147600,00	11,35
		0	0				
C5-03		20	10	60	20000,00	123200,00	9,48
		0	0				
	Rata-Rata					12,02	

Tabel 9. Uji Kuat Tekan Paving Block variasi 8%

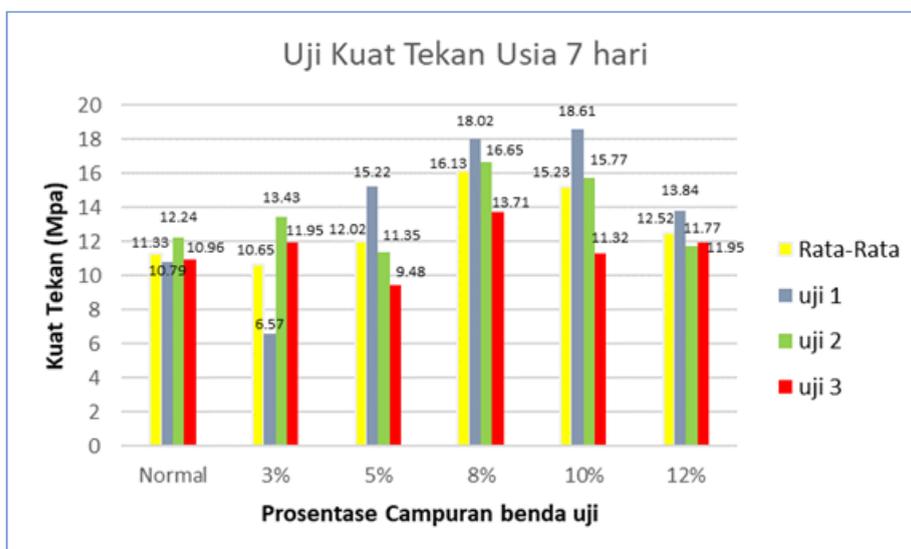
No Benda Uji	Masa Benda Uji	Dimensi (mm)			Luas Bidang (mm ²)	Tekanan Maksimum (N)	Tekanan Maksimum (MPa)
		P	L	T			
C8-01		20	10	60	20000,00	234300,00	18,02
		0	0				
C8-02		20	10	60	20000,00	216500,00	16,65
		0	0				
C8-03		20	10	60	20000,00	178200,00	13,71
		0	0				
	Rata-Rata					16,13	

Tabel 10. Uji Kuat Tekan Paving Block variasi 10%

No Benda Uji	Masa Benda Uji	Dimensi (mm)			Luas Bidang (mm ²)	Tekanan Maksimum (N)	Tekanan Maksimum (MPa)
		P	L	T			
C10-01		20	10	60	20000,00	241900,00	18,61
		0	0				
C10-02		20	10	60	20000,00	205000,00	15,77
		0	0				
C10-03		20	10	60	20000,00	147200,00	11,32
		0	0				
	Rata-Rata					15,23	

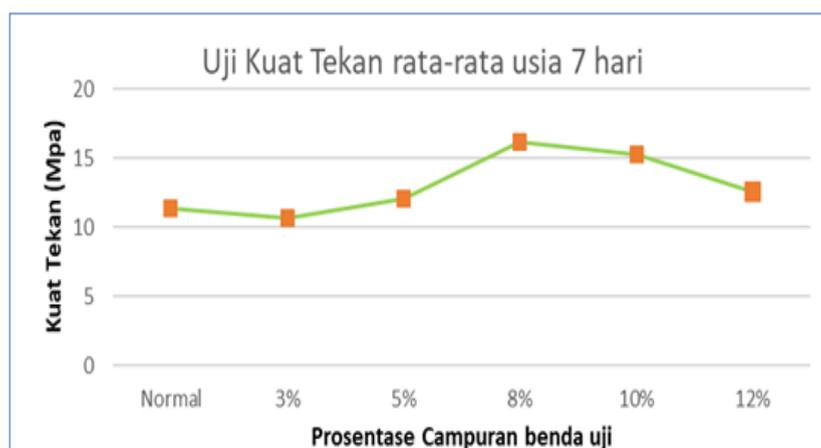
Tabel 11. Uji Kuat Tekan Paving Block variasi 12%

No Benda Uji	Masa Benda Uji	Dimensi (mm)			Luas Bidang (mm ²)	Tekanan Maksimum (N)	Tekanan Maksimum (MPa)
		P	L	T			
C12-01		20	10	60	20000,00	179900,00	13,84
		0	0				
C12-02		20	10	60	20000,00	153000,00	11,77
		0	0				
C12-03		20	10	60	20000,00	155400,00	11,95
		0	0				
	Rata-Rata					12,52	



Gambar 4. Grafik Uji Kuat Tekan

Dilihat dari Gambar di atas, hasil pengujian kuat tekan paving block berbentuk kubus berukuran 10 cm x 20 cm x 6 cm pada usia 7 hari, pengujian hasil kuat tekan rata-rata yang dihasilkan pada paving block normal sebesar 11,33 MPa, untuk campuran Limbah geodipa 3% menghasilkan 10,65 MPa, campuran 5% menghasilkan 12,02 MPa, campuran 8% menghasilkan 16,13 MPa, campuran 10% menghasilkan 15,23 MPa, dan terakhir campuran 12% menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 12,52 Ma. Dari hasil pengujian yang didapatkan nilai kuat tekan rata-rata maksimumnya terdapat pada campuran 8% sebesar 16,13 MPa, maka pada pengujian ini masuk kategori paving block kelas C yang bisa digunakan untuk pejalan kaki [8].



Gambar 5. Grafik Uji Kuat Tekan rata-rata

Gambar diatas merupakan hasil uji kuat tekan rata-rata paving block penelitian. Pengaruh penambahan limbah geodipa

Tabel 12. Pengaruh penambahan limbah geodipa

Prosentase limbah geodipa	Kuat Tekan (MPa)	Pengaruh (%)
Normal	11,33	-
3%	10,65	Turun 6%
5%	12,02	Naik 6,09 %
8%	16,13	Naik 42,37 %

10%	15,23	Naik 34,42 %
12%	12,52	Naik 10,50 %

Untuk paving block dengan campuran limbah geodipa 3% terjadi penurunan dibanding kuat tekan paving block [21] normal sebesar 6,00%. Sedangkan untuk campuran lainya cenderung meningkat dan pengaruh campuran limbah geodipa terbaik berada pada prosentase 8% dengan tingkat pengaruh 42,37%.

Tabel 13. Biaya pembuatan paving block normal per m²

No	Kebutuhan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Alat	hari	1,00	1.466,00	1.466,00
2	Tenaga Kerja (OH)	m2	1,00	15.000,00	15.000,00
3	Bahan				
	a. Air	lt	5,00	13,00	65,00
	b. Semen	kg	16,500	1.280,00	21.120,00
	c. Pasir	m3	0,099	175.000,00	17.325,00
				Harga 1 m ²	54.976,00
				Harga 1 biji	1.099,52

Tabel 14. Biaya pembuatan paving block campuran per m²

No	Kebutuhan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Alat	hari	1,00	1.466,00	1.466,00
2	Tenaga Kerja (OH)	m2	1,00	15.000,00	15.000,00
3	Bahan				
	a. Air	lt	5,00	13,00	65,00
	b. Semen	kg	15,180	1.280,00	21.120,00
	c. Pasir	m3	0,099	175.000,00	17.325,00
	d. limbah geodipa	kg	1,32	-	-
				Harga 1 m ²	53.286,400
				Harga 1 biji	1.065,73

Dari perbandingan anggaran biaya paving block normal dengan paving block campuran limbah geodipa pada tabel diatas, ditemukan harga paving block normal per m2 yaitu Rp. 55.000,- atau Rp.1.100,- per buah paving block. Sedangkan untuk harga paving block dengan tambahan limbah geodipa per m2 sebesar Rp.53.300,- atau Rp. 1.066,- per buah paving block.

2. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan analisa yang dilakukan kuat tekan paving block pada prosentase campuran 8% mengalami peningkatan yang cukup signifikan yaitu mengalami peningkatan sebesar 42,37% dibanding nilai kuat tekan paving block normal adapun nilai kuat tekan rata-rata campuran 8% yang dihasilkan sebesar 16.33 MPa atau masuk dalam kategori paving block kelas C (12,5 Mpa – 15 Mpa) yang bisa digunakan untuk pejalan kaki[1]. Sedangkan untuk biaya pembuatan paving blok normal lebih mahal dibanding paving block menggunakan campuran limbah geodipa dikarenakan limbah tersebut didapatkan secara gratis adapun selisih harganya pembuatan paving block per m2 adalah sebesar Rp. 1.689,- (seribu enam ratus delapan puluh sembilan rupiah).

Daftar Pustaka

- [1] Tjokrodimulyo, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, 2007.
- [2] S. Ragil Habib Sidik, Nasyiin Faqih, "Pengaruh Pemanfaatan Limbah Geodipa Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Serta Penambahan Serat Karet Ban Bekas Terhadap Kuat Tekan Beton," *J. Teras*, vol. 12, no. 2, pp. 69–74, 2022.
- [3] M. ' Riyono, W. Lestari, and A. Juara, "Pengaruh Kuat Tekan Beton Dengan Limbah Biji Salak Kering Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar," *J. Teras*, vol. 12, no. 1, p. 2022, 2022.
- [4] M. F. Salim, D. E. Diastyari, and L. U. W. Widodo, "Pemanfaatan Geothermal Sludge Untuk Pembuatan Bata Ringan," *J. Tek. Kim.*, vol. 13, no. 2, pp. 57–60, 2019, doi: 10.33005/tekkim.v13i2.1411.
- [5] R. E. Kurniawan, "PENGARUH PENYIRAMAN TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS PAVING STONE GEOPOLYMER BERBAHAN DASAR ABU TERBANG," *Rekayasa Tek. Sipil*, vol. 02, no. 02, pp. 24–35,

2017.

- [6] A. Juara and A. B. Setiawan, "Analisa Biaya Pembuatan Paving Block Mutu K-200 Dengan Potongan Kawat Bendrat Sebagai Bahan Tambah," *J. Tek. Sipil*, vol. 12, no. 1, pp. 1–10, 2021.
- [7] M. Qomaruddin and S. Sudarno, "Influence of Bottom-Ash Mixed with Gypsum as Concrete Bricks for Wall Construction Material," *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, vol. 8, no. 4, pp. 0–5, 2018.
- [8] ASTM-C.1319–01, *Standard Specification for Concrete Grid Paving Units I*, vol. 04. 2001, pp. 1–2.
- [9] SNI 15-2531-1991, "Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland," *Badan Standar Nas. Indones.*, p. 2531, 1991.
- [10] M. Qomaruddin, A. Ariyanto, K. Umam, and Y. A. Saputro, "Studi Komparasi Karakteristik Pasir Sungai Di Kabupaten Jepara," *J. Ilm. Teknosains Univ. PGRI Semarang*, vol. 4, no. 1, 2018.
- [11] M. Qomaruddin, A. I. A. Saputra, T. H. Munawaroh, Z. Isnaini, and S. I. Ariyani, "Pemanfaatan Air Bersih Masyarakat Pada Program Pamsimas di Desa Raguklampitan Kabupaten Jepara," *Pros. Semin. Nas. Publ. Hasil-Hasil Penelit. dan Pengabd. Masy.*, no. September, pp. 571–578, 2017.
- [12] SNI-03-2816-1992, "Metode pengujian kotoran organik dalam pasir untuk campuran mortar atau beton," in *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, vol. 4, 1992, pp. 2–3.
- [13] D. Larasati, Iswan, and Setyanto, "Uji Kuat Tekan Paving Block Menggunakan Campuran Tanah dan Kapur Dengan Alat Pematik Modifikasi," *JRSDD*, vol. 4, no. 1, pp. 11–22, 2016.
- [14] SNI 03-1968, "Metode Pengujian Tentang Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar," *Badan Standar Nas. Indones.*, pp. 1–5, 1990, [Online]. Available: <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pendidikan/dr-slamet-widodo-st-mt/sni-03-1968-1990.pdf>.
- [15] SNI 1969-2008, "Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar," *Standar Nas. Indones.*, p. 20, 2008.
- [16] SNI 03-4804-1998, "SNI 03-4804-1998 (Bobot Isi Agregat)," *Sni 03-4804-1998*, pp. 1–6, 1998.
- [17] SNI 03-1970-1990, "Metode Pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat halus," in *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, 1990, pp. 1–17.
- [18] A. Ariyanto, K. Umam, and Y. A. Saputro, "Komparasi Karakteristik Mortar Dengan Menggunakan Pasir Sungai Klepu Dan Pasir Sungai Batealit Kabupaten Jepara," *Rev. Civ. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 23–28, 2019, doi: 10.31002/rice.v3i1.1279.
- [19] BSN, "Metode Pengujian Konsistensi Normal Semen Portland Dengan Alat Vicat Untuk Pekerjaan Sipil. SNI 03-6826-2002," *Badan Standardisasi Nas. Jakarta*, p. 6826, 2002.
- [20] A. T. Aditama, *Analisis gradasi agregat sebagai upaya perbaikan karakteristik campuran aspal beton geopolimer*, no. Rc 142501. 2017.
- [21] M. Qomaruddin, H. A. Lie, A. Hidayat, S. Sudarno, and A. Kustirini, "Compressive Strength Analysis On Geopolymer Paving By Using Waste Substitution Of Carbide Waste And Fly Ash," 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1424/1/012052.