

Karakteristik Beton Berpori dengan Pemanfaatan Limbah Serat Bambu sebagai Material Ramah Lingkungan

Characteristics of Pervious Concrete Utilizing Bamboo Fiber Waste as an Environmentally Sustainable Material

Reza Wahyu Rivando¹, Shanti Wahyuni Megasari^{2*}, Virgo Trisep Haris³,

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lancang Kuning Jl. Yos Sudarso Km 8, Pekanbaru dan 28266, Indonesia

* Penulis korespondensi : shanti@unilak.ac.id

Tel.: +62 812-7525-4771

Diterima: Jun 3, 2026; Direvisi: Okt 5, 2026; Disetujui: Okt 8, 2026.

DOI: 10.25299/saintis.2026.vol26(02).28462

Abstrak

Perkembangan material maju dengan pemanfaatan limbah serat alami berupa serat bambu memiliki potensi besar karena sifat mekaniknya yang baik, seperti peningkatan kekuatan tarik, ketersediaannya yang melimpah, sifat kembang-susut yang rendah, tidak berpotensi korosi, serta merupakan sumber daya alam yang mudah dibudidayakan dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik beton berpori dengan pemanfaatan limbah serat bambu. Metode penelitian berupa studi eksperimental di laboratorium dengan variasi penambahan serat sebesar 0%, 0,5%, 0,6%, 0,7%, 0,8%, dan 0,9% terhadap berat semen, dengan panjang serat 25 mm. Pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 03-6825-2002, sedangkan pengujian laju infiltrasi mengacu pada ASTM C1701. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kuat tekan signifikan hingga variasi 0,8%, dengan nilai optimum sebesar 26,10 MPa, dibandingkan beton tanpa serat bambu. Namun, pada variasi 0,9% terjadi penurunan kuat tekan menjadi 23,98 MPa. Laju infiltrasi beton berpori menurun bertahap seiring bertambahnya kandungan serat, dari 65.833,69 mm/jam (0%) menjadi 47.201,56 mm/jam (0,9%), tetapi seluruh variasi tetap memenuhi standar kategori tinggi (>15.000 mm/jam). Uji statistik ANOVA satu arah menunjukkan bahwa variasi serat bambu berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan dan laju infiltrasi. Dengan demikian, pemanfaatan limbah serat bambu mampu meningkatkan kekuatan tekan beton berpori tanpa menghilangkan fungsi infiltrasinya secara drastis. Penelitian ini mendukung potensi serat bambu sebagai material alternatif berkelanjutan dalam pengembangan beton berpori untuk aplikasi perkerasan maupun saluran resapan.

Kata Kunci : Beton Berpori, Kuat Tekan, Laju Infiltrasi, Serat Bambu

Abstract

The development of advanced materials through the utilization of natural fiber waste, such as bamboo fiber, holds great potential due to its favorable mechanical properties, including improved tensile strength, abundant availability, low shrinkage-swelling behavior, non-corrosive nature, and ease of cultivation as a sustainable resource. This study aims to analyze the characteristics of pervious concrete incorporating bamboo fiber waste. The research method was an experimental laboratory study with fiber addition variations of 0%, 0.5%, 0.6%, 0.7%, 0.8%, and 0.9% by cement weight, with a fiber length of 25 mm. Compressive strength testing referred to SNI 03-6825-2002, while infiltration rate testing followed ASTM C1701. The results showed a significant increase in compressive strength up to the 0.8% variation, with an optimum value of 26.10 MPa, compared to concrete without bamboo fiber. However, at 0.9% variation, compressive strength decreased to 23.98 MPa. The infiltration rate of porous concrete gradually decreased with increasing fiber content, from 65,833.69 mm/h (0%) to 47,201.56 mm/h (0.9%), yet all variations still met the high-category standard (>15,000 mm/h). One-way ANOVA statistical analysis indicated that bamboo fiber variation had a significant effect on both compressive strength and infiltration rate. Thus, the utilization of bamboo fiber waste can enhance the compressive strength of porous concrete without drastically reducing its infiltration function. This study supports the potential of bamboo fiber as a sustainable alternative material in the development of porous concrete for pavement and infiltration channel applications.

Keywords : Porous Concrete, Compressive Strength, Infiltration Rate, Bamboo Fiber

PENDAHULUAN

Beton merupakan material utama dalam pembangunan infrastruktur yang semakin dibutuhkan seiring perkembangan zaman. Pemilihan beton sebagai bahan baku konstruksi sangat penting karena harganya relatif murah, mudah diperoleh, memiliki kuat tekan tinggi, serta

tahan terhadap kondisi lingkungan [1], [2]. Kinerja beton sangat dipengaruhi oleh karakteristik material penyusunnya maupun material substitusi yang digunakan. Semakin baik interaksi kimiawinya maka karakteristik beton akan semakin baik.

Beton berpori dapat menjadi alternatif material untuk sumur resapan dengan biaya lebih terjangkau dan penggunaan material lebih efisien

[3]. Beton berpori memiliki porositas tinggi yang memungkinkan air melewatinya sehingga mengurangi limpasan air hujan dan membantu pengisian ulang air tanah [4]. Namun, kelemahan utama beton berpori adalah nilai kuat tekan yang relatif rendah sehingga membatasi aplikasinya pada konstruksi jalan [5], [6], [7].

Bambu dipilih sebagai bahan tambahan karena harganya rendah, mudah diperoleh, memiliki kuat tarik tinggi, serta ketersediaannya melimpah di Indonesia. Penggunaan bambu sebagai serat beton didasarkan pada pertimbangan bahwa pembuatan serat cukup mudah dan populasinya melimpah [8]. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan serat bambu pada beton konvensional dapat meningkatkan sifat mekanik beton [9]. Sementara itu, penelitian tentang beton berpori lebih banyak berfokus pada variasi agregat [4], [5], [7], sehingga belum memberikan solusi terhadap kelemahan kuat tekan beton berpori.

Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis karakteristik beton berpori dengan pemanfaatan limbah serat bambu. Urgensi dari penelitian adalah dibutuhkan pengembangan material maju yang ramah lingkungan dengan dapat memanfaatkan material limbah yang tidak termanfaatkan sebagai material konstruksi sehingga memiliki nilai guna dan mampu memperbaiki karakteristik beton berpori dengan spesifikasi yang dimiliki serat bambu. Kebaharuan penelitian merupakan penerapan beton berpori dengan pemanfaatan limbah serat bambu yang berkelanjutan dan lebih efisien, serta dapat diaplikasi pada saluran resapan atau perkerasan jalan.

METODOLOGI

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian berupa data primer dan data sekunder yang telah dikumpulkan oleh peneliti untuk menyelesaikan permasalahan, adapun data yang diteliti:

1. Data Primer

Data primer adalah data yang didapat melalui pengamatan langsung di laboratorium, yaitu :

- Data pengujian properties material
- Data pengujian kuat tekan beton berpori
- Data pengujian laju infiltrasi beton berpori

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data pendukung yang diperoleh dari sumber yang relevan berupa peraturan dan artikel jurnal.

Material Penelitian

Material yang digunakan adalah:

- Agregat kasar**
Agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran 0,95 – 1,90 cm.
- Semen**
Semen yang digunakan adalah semen portland type I.
- Air**
- Serat bambu**
Serat bambu berasal dari pengrajin bambu di Kota Pekanbaru. Pengolahan dilakukan dengan cara batang bambu dibelah, dijemur selama 7 hari, dipisahkan seratnya, lalu dijemur kembali hingga siap digunakan. Panjang serat yang digunakan adalah 25 mm. Serat bambu yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Serat Bambu

Pengujian Properties Material

Pengujian properties material agregat kasar terdiri dari :

- Berat jenis dan penyerapan agregat kasar [10]
- Kadar lumpur agregat kasar [11]
- Analisa saringan agregat kasar [12]
- Keausan agregat kasar [13]

Rancangan Benda Uji

Variasi serat bambu sebesar 0%, 0,5%, 0,6%, 0,7%, 0,8% dan 0,9% terhadap berat semen dengan panjang 25 mm. Benda uji kuat tekan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm [14]. Untuk pengujian laju infiltrasi menggunakan pelat beton berpori dengan dimensi panjang 600 mm, lebar 400 mm dan tebal 50 mm serta cincin infiltrasi dengan diameter 300 mm dan tinggi 50 mm [3]. Jumlah benda uji sebanyak 3 buah pada setiap variasinya, total 36 buah benda uji. Adapun rancangan benda uji yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Mix Design Beton Berpori

Perencanaan komposisi beton pori dilakukan dengan perbandingan berat semen terhadap agregat kasar sebesar 1:4 dan faktor air semen sebesar 0,3 [2]. Variasi persentase penambahan serat bambu sebesar 0%, 0,5%, 0,6%, 0,7%, 0,8% dan 0,9%

terhadap berat semen. Untuk komposisi campuran dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Rancangan Benda Uji		
Pengujian	Serat Bambu (%)	Jumlah Benda Uji
Kuat Tekan	0	3
	0,5	3
	0,6	3
	0,7	3
	0,8	3
	0,9	3
Laju Infiltrasi	0	3
	0,5	3
	0,6	3
	0,7	3
	0,8	3
	0,9	3
Total Benda Uji		36

Tabel 2. Komposisi Campuran Untuk 1m ³				
Perbandingan Semen	Agregat Kasar	Semen (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Air (Lt)
1	4	375	1500	112,5

Perawatan Benda Uji

Untuk perawatan benda uji pada penelitian ini, benda uji akan direndam selama 28 hari untuk menjaga kelembaban beton berpori. Kemudian setelah berumur 28 hari beton dikeluarkan dari tempat perendaman dan dilakukan pengujian [14].

Pengujian Kuat Tekan Beton Berpori

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas [14]. Pengujian kuat tekan dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Benda uji kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 2. Kuat tekan beton berpori dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

Keterangan :

- σ = Kuat tekan beton berpori (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- A = Luas penampang benda uji (mm²)



Gambar 2. Benda Uji Kuat Tekan

Pengujian Laju Infiltrasi Pada Beton Berpori

Nilai laju infiltrasi beton berpori diperoleh dari pengujian manual [15]. Pengujian bertujuan untuk mengetahui nilai laju infiltrasi setelah diberikan penambahan serat. Benda uji laju infiltrasi dapat dilihat pada Gambar 3. Nilai laju infiltrasi beton berpori dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$I = \frac{K \cdot M}{D^2 \cdot t} \quad (2)$$

Keterangan :

- I = Laju infiltrasi (mm/jam)
- M = Massa infiltrasi air (kg)
- D = Diameter dalam cincin infiltrasi (mm)
- t = Waktu infiltrasi (detik)
- k = Konstanta (mm/ jam)



Gambar 3. Benda Uji Laju Infiltrasi

Analysis of Variance (ANOVA)

ANOVA satu arah (*one way*) digunakan untuk melakukan uji rata-rata perlakuan dari sebuah percobaan yang menggunakan satu faktor yang memiliki tiga atau lebih kelompok.

Langkah uji hipotesis ANOVA satu arah :

- Menyusun uji hipotesis :
 $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$
 $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_k$
- Rancangan perlakuan ANOVA satu arah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rancang Perlakuan ANOVA Satu Arah					
No	% Serat Bambu	Kuat Tekan Benda Uji (MPa)			
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Total
1	0	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	$\sum_{j=1}^p Y_{ij}$
2	0,5	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	$\sum_{j=1}^p Y_{ij}$
3	0,6	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	$\sum_{j=1}^p Y_{ij}$
4	0,7	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	$\sum_{j=1}^p Y_{ij}$
5	0,8	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	$\sum_{j=1}^p Y_{ij}$

No	% Serat Bambu	Kuat Tekan Benda Uji (MPa)			
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Total
6	0,9	Y6 ₁	Y6 ₂	Y6 ₃	$\sum_{j=1}^p Y_{ij}$

- Penyusunan tabel ANOVA satu arah dapat dilihat pada Tabel 4.
- Kesimpulan uji hipotesis ANOVA satu arah untuk menerima atau menolak H₀ dilakukan dengan membandingkan nilai statistik uji (F_{hitung}) dengan nilai F_{tabel} . Untuk membuat keputusan menggunakan dasar :
 - Jika nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka hipotesis H₀ diterima yang berarti bahwa tidak terdapat perbedaan nilai rata-rata antar kategori atau level faktor.
 - Jika nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka hipotesis H₀ ditolak yang berarti bahwa terdapat perbedaan dua nilai rata-rata antar kategori atau level faktor.

Tabel 4. ANOVA Satu Arah

SK	JK	KT	F _{hitung}
Perlakuan	JK _p	KT _p	$\frac{KT_p}{KT_g}$
Galat	JK _g	KT _g	
Total	JK _t		

Keterangan :

JK_p = Jumlah kuadrat perlakuan

JK_g = Jumlah kuadrat galat

JK_t = Jumlah kuadrat total

KT_p = Kuadrat tengah perlakuan

KT_g = Kuadrat tengah galat

HASIL DAN DISKUSI

Hasil Pengujian Properties Material

Pengujian pendahuluan atau properties material yang dilaksanakan pada agregat kasar. Adapun hasil pengujian material adalah :

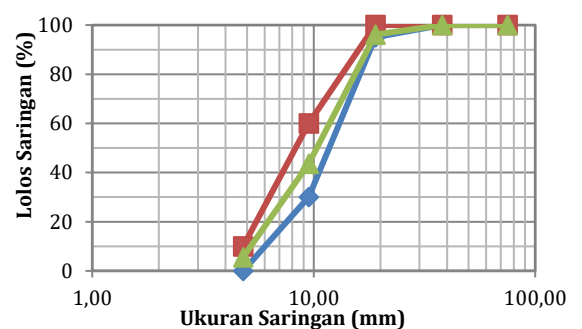
- Analisa saringan agregat kasar

Pengujian analisa saringan bertujuan untuk mengelompokkan atau memisahkan agregat sesuai dengan kebutuhan dengan menggunakan saringan atau ayakan. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 4.

Tabel 5. Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan	Tertahan		Persentase Kumulatif	
	Berat (gr)	Jumlah (gr)	Tertinggal (%)	Lolos (%)
75	0	0,00	0,0	100,0
38	0	0,00	0,0	100,0
19	115	115,00	3,9	96,1
9,5	1563	1678,0	56,3	43,7
4,8	1134	2812,0	94,4	5,6

Lubang Ayakan	Tertahan		Persentase Kumulatif	
	Berat (gr)	Jumlah (gr)	Tertinggal (%)	Lolos (%)
PAN	166	2978,0	100,0	0,0
Total	2978,0			



Gambar 4. Grafik Analisa Saringan

Hasil pengujian analisa saringan pada Tabel 5 dan Gambar 4 diperoleh gradasi agregat kasar berada pada max 20 mm dan memenuhi spesifikasi [12].

- Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan dilakukan berdasarkan ketentuan [10] yang bertujuan untuk menentukan berat jenis dan penyerapan pada agregat kasar. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan pada agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pemeriksaan	Hasil
Berat Jenis Kering	2,63
Berat Jenis SSD	2,65
Berat Jenis Semu	2,70
Penyerapan	0,97%

Hasil pengujian pada Tabel 6 diperoleh berat jenis SSD berada diantara nilai 2,58-2,83 dan penyerapan agregat kasar $\leq 2\%$ serta memenuhi spesifikasi [10].

- Kadar lumpur agregat kasar

Pengujian kadar lumpur bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur dari agregat kasar. Hasil pengujian kadar lumpur pada agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pemeriksaan	Hasil
Berat awal benda uji	500,0 gr
Berat kering benda uji	496,4 gr
Berat kering benda uji setelah pencucian	496,0 gr
Kadar lumpur	0,08 %

Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar pada Tabel 7 diperoleh $\leq 1\%$ dan memenuhi spesifikasi [13].

4. Keausan agregat kasar

Pengujian keausan agregat kasar bertujuan mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los angeles* di laboratorium. Hasil pengujian keausan pada agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar

Pemeriksaan	Hasil
Berat awal benda uji	5000 gr
Berat akhir benda uji	4025 gr
Keausan	19,5 %

Hasil pengujian keausan agregat kasar pada Tabel 8 dengan menggunakan mesin *Los angeles* diperoleh $\leq 40\%$ sesuai dengan spesifikasi [13].

Rekapitulasi hasil pengujian properties agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 9. Berdasarkan Tabel 9 hasil pengujian properties agregat kasar yang telah dilakukan diperoleh bahwa agregat kasar memenuhi standar spesifikasi sehingga material dapat digunakan sebagai bahan campuran beton.

Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Standar	Syarat
1.	Analisa Saringan	Max 20 mm	Max 10, Max 20, dan Max 40	Memenuhi
2.	Berat jenis SSD	2,65	2,58-2,83	Memenuhi
3.	Penyerapan	0,97 %	$\leq 2\%$	Memenuhi
4.	Kadar lumpur	0,08%	1%	Memenuhi
5.	Keausan agregat	19,5%	$\leq 40\%$	Memenuhi

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton berpori dilakukan pada umur 28 hari. Rumus yang digunakan untuk perhitungan nilai kuat tekan beton pori sesuai dengan Persamaan (1). Hasil kuat tekan beton berpori dapat dilihat pada Tabel 10 dan Gambar 5.

Pada Tabel 10 terdapat hasil kuat tekan rata-rata yang mengalami peningkatan seiring dengan penambahan persentase limbah serat bambu pada beton berpori. Adapun nilai kuat tekan optimum diperoleh pada variasi penambahan serat bambu 0,8% sebesar 26,10 MPa dengan peningkatan kuat tekan sebesar 59,54% dibandingkan dengan beton berpori tanpa penambahan limbah serat bambu. Kemudian terjadi penurunan kuat tekan pada persentase 0,9% dengan nilai kuat tekan sebesar 23,98 MPa, namun nilai kuat tekan masih lebih tinggi 46,64% dibandingkan dengan beton berpori tanpa penambahan limbah serat bambu. Kuat tekan rata-rata terendah pada variasi tanpa penambahan limbah serat bambu (0%) yaitu 16,36 MPa. Seluruh nilai kuat tekan memenuhi persyaratan yang berkisar antara 2,8 – 28 MPa [5].

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu:

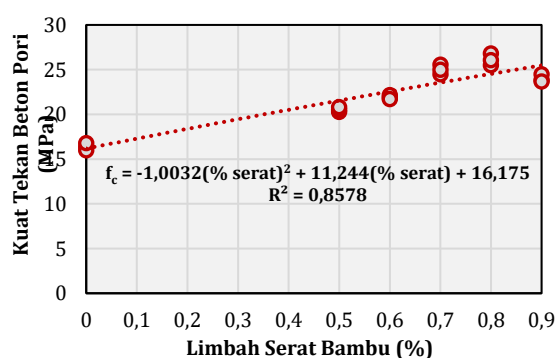
- [9] melaporkan kuat tekan optimum beton konvensional dengan serat bambu sebesar 28,86 MPa pada 0,6% serat. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan penelitian ini (26,10 MPa pada 0,8%), tetapi pola peningkatan hingga titik optimum dan penurunan setelahnya konsisten.

- [5] menemukan kuat tekan beton berpori dengan variasi agregat berkisar 12–20 MPa, lebih rendah dibandingkan hasil penelitian ini. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat bambu mampu meningkatkan kuat tekan beton berpori hingga melampaui hasil berbasis variasi agregat.
- [14] melaporkan kuat tekan beton berpori untuk perkerasan jalan rendah lalu lintas berkisar 15–22 MPa, sedangkan penelitian ini mencapai 26,10 MPa, sehingga lebih layak untuk aplikasi perkerasan dengan beban lebih tinggi.

Peningkatan kekuatan tekan dengan adanya penambahan serat bambu dapat dijelaskan oleh fungsi serat yang memperkuat ikatan antar partikel serta menahan retakan mikro [9]. Namun, pada kadar serat yang terlalu tinggi terjadi penurunan kuat tekan karena pencampuran menjadi kurang homogen. Perlu ditegaskan bahwa penelitian ini tidak melakukan pengukuran kuantitatif terhadap *workability* atau homogenitas campuran. Homogenitas dikontrol melalui prosedur pencampuran dengan waktu *mixing* yang seragam, penggunaan pengaduk mekanis, serta pengaturan rasio air-semen agar pasta tetap terdistribusi merata. Penambahan serat bambu dilakukan secara bertahap untuk meminimalkan gumpalan serat. Dengan cara ini, kondisi *fresh concrete* tetap dijaga agar mendekati homogen meskipun kadar serat tinggi cenderung menurunkan *workability*.

Tabel 10. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Berpori

Limbah Serat Bambu (%)	Kode Benda Uji	Berat Benda Uji (gr)	Beban (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
0	1	9400	289	16,36	16,36
	2	9730	282	15,97	
	3	9890	296	16,76	
0,5	1	9921	358	20,27	20,51
	2	9983	362	20,50	
	3	9892	367	20,78	
0,6	1	9976	386	21,85	21,90
	2	9923	391	22,14	
	3	9945	383	21,68	
0,7	1	9921	432	24,46	24,98
	2	9847	461	26,10	
	3	9894	441	24,97	
0,8	1	9913	450	25,48	26,10
	2	9893	473	26,78	
	3	9921	460	26,04	
0,9	1	9873	421	23,84	23,99
	2	9943	432	24,46	
	3	9928	418	23,67	

**Gambar 5.** Kuat Tekan Beton Berpori

Berdasarkan Gambar 5, grafik hubungan kuat tekan rata-rata beton berpori dengan persentase limbah serat bambu dapat diprediksi melalui persamaan kuadrat $f_c = -1,0032 (\% \text{ serat})^2 + 11,244 (\% \text{ serat}) + 16,175$. Persamaan ini menunjukkan kecenderungan peningkatan kuat tekan hingga kadar optimum 0,8% dan penurunan pada kadar 0,9%. Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8578 menandakan bahwa 85,78% variasi kuat tekan dapat dijelaskan oleh variabel bebas, yaitu persentase serat bambu. Sementara itu, nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,9262 menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara penambahan serat bambu dan kuat tekan beton berpori, karena nilai r berada pada rentang 0,8–1,0 [16]. Nilai positif dari R^2 dan r menegaskan bahwa hubungan antara persentase serat bambu dan kuat tekan beton

berpori bersifat berbanding lurus. Artinya, semakin tinggi persentase serat bambu maka kuat tekan beton berpori juga meningkat, namun hanya sampai kadar optimum tertentu. Peningkatan kuat tekan hingga 0,8% terjadi karena serat bambu mampu memperkuat ikatan antar partikel dan menahan retakan mikro. Sebaliknya, pada kadar 0,9% terjadi penurunan akibat pencampuran yang kurang homogen sehingga distribusi beban terganggu. Selain itu, penambahan serat juga mempengaruhi porositas dan infiltrasi. Serat mengisi sebagian rongga beton berpori sehingga porositas berkurang, yang berdampak pada penurunan laju infiltrasi. Meski demikian, nilai infiltrasi tetap memenuhi standar >15.000 mm/jam, sehingga beton berpori masih berfungsi sebagai media resapan air.

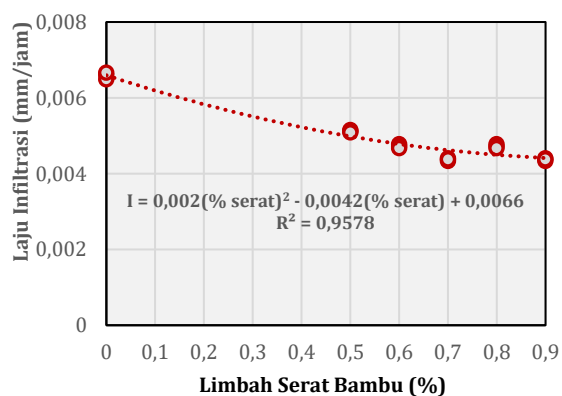
Hasil Pengujian Laju Infiltrasi

Laju infiltrasi merupakan kecepatan air saat meresap melalui rongga beton berpori pada waktu tertentu. Besarnya laju infiltrasi sangat dipengaruhi oleh jumlah rongga pada beton berpori. Semakin banyak rongga yang dimiliki, laju infiltrasi akan semakin tinggi, sedangkan semakin sedikit rongga maka laju infiltrasi akan semakin rendah [9]. Rumus yang digunakan untuk perhitungan nilai laju infiltrasi beton pori sesuai dengan Persamaan (2). Hasil laju infiltrasi beton berpori dapat dilihat pada Tabel 11 dan Gambar 6.

Tabel 11. Persentase Penambahan Serat Bambu

Limbah Serat Bambu (%)	Kode Benda Uji	Konstanta, k	Waktu Prewetting (detik)	Waktu Lolos Air, t (detik)	Laju Infiltrasi, I (mm/jam)	Rata-rata (mm/jam)
0	1	4,584	2,87	13,89	65.999,51	65.833,69
	2	4,584	2,92	14,13	64.878,50	
	3	4,584	2,76	13,76	66.623,05	

Limbah Serat Bambu (%)	Kode Benda Uji	Konstanta, k	Waktu Prewetting (detik)	Waktu Lolos Air, t (detik)	Laju Infiltrasi, I (mm/jam)	Rata-rata (mm/jam)
0,5	1	4,584	4,14	17,79	51.530,82	51.215,56
	2	4,584	4,25	17,89	51.242,77	
	3	4,584	4,31	18,02	50.873,10	
0,6	1	4,584	4,43	19,20	47.746,52	47.201,56
	2	4,584	4,52	19,43	47.181,33	
	3	4,584	4,62	19,64	46.676,84	
0,7	1	4,584	5,19	20,82	44.031,37	43.725,09
	2	4,584	5,34	21,14	43.364,86	
	3	4,584	5,27	20,94	43.779,04	
0,8	1	4,584	5,87	19,20	47.746,52	47.201,56
	2	4,584	6,12	19,43	47.181,33	
	3	4,584	5,93	19,64	46.676,84	
0,9	1	4,584	6,21	20,82	44.031,37	43.725,09
	2	4,584	6,13	21,14	43.364,86	
	3	4,584	6,42	20,94	43.779,04	



Gambar 6. Laju Infiltrasi Beton Berpori

Pada Tabel 11 terdapat hasil laju infiltrasi rata-rata yang mengalami penurunan seiring dengan penambahan persentase limbah serat bambu pada beton berpori. Adapun nilai laju infiltrasi rata-rata tertinggi diperoleh pada benda uji tanpa penambahan serat bambu 0% sebesar 65.833,69 mm/jam. Laju infiltrasi rata-rata terendah didapat pada variasi penambahan limbah serat bambu 0,9% yaitu 43.725,09 mm/jam.

Berdasarkan Gambar 6 grafik hubungan hubungan laju infiltrasi rata-rata beton berpori dengan persentase limbah serat bambu diperoleh persamaan diperoleh persamaan $I = 0,002(\% \text{ serat})^2 - 0,0042(\% \text{ serat}) + 0,0066$. Nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,9578 dan koefisien korelasi (r) sebesar 0,9787. Nilai koefisien korelasi (r) menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara penambahan limbah serat bambu dengan penurunan nilai laju infiltrasi beton berpori karena koefisien korelasi (r) berada diantara 0,8 sampai 1,0 [16].

Sebagai perbandingan kuantitatif:

- [9] hanya menjelaskan secara teoritis bahwa laju infiltrasi dipengaruhi oleh jumlah rongga, dengan kisaran 40.000–60.000 mm/jam. Hasil penelitian ini konsisten, bahkan nilai awal tanpa serat

(65.833,69 mm/jam) lebih tinggi dari kisaran tersebut.

- [17] melaporkan laju infiltrasi beton berpori untuk perkerasan jalan rendah lalu lintas berkisar 20.000–50.000 mm/jam. Penelitian ini menunjukkan nilai lebih tinggi, yaitu hingga 65.833,69 mm/jam pada variasi tanpa serat, dan tetap di atas 43.725,09 mm/jam pada variasi 0,9%.
- [3] menetapkan bahwa laju infiltrasi beton berpori harus lebih dari 15.000 mm/jam. Seluruh variasi benda uji dalam penelitian ini memenuhi standar tersebut.

Penurunan laju infiltrasi terjadi karena serat bambu yang tersebar dalam campuran beton mengisi dan menutup sebagian pori-pori terbuka, sehingga kemampuan beton dalam menyerap dan meloloskan air menjadi berkurang. Hal ini menunjukkan adanya hubungan terbalik antara kekuatan mekanik dan sifat permeabilitas beton, di mana peningkatan kuat tekan cenderung disertai dengan penurunan laju infiltrasi. Namun seluruh variasi benda uji memenuhi standar dengan kategori tinggi dengan nilai laju infiltrasi >15.000 mm/jam [3].

Hasil Analysis Of Variance (ANOVA)

Untuk metode *analysis of variance* (ANOVA) satu arah pada nilai kuat tekan dengan variabel bebas (x) berupa variasi persentase serat bambu dan variabel terikat (y) berupa nilai kuat tekan beton berpori, yaitu :

- Membuat hipotesis
 - H_0 : Tidak ada pengaruh variasi persentase serat bambu terhadap kuat tekan beton berpori
 - H_1 : Terdapat pengaruh variasi serat bambu terhadap kuat tekan beton berpori.
- Tabel rancang perlakuan dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Rancangan Perlakuan

No	% Serat Bambu	Kuat Tekan Benda Uji (MPa)			Jumlah
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
1	0	16,36	15,97	16,76	49,09
2	0,5	20,27	20,50	20,78	61,54
3	0,6	21,86	22,14	21,68	65,68
4	0,7	24,46	25,53	24,97	74,96
5	0,8	25,48	26,78	26,04	78,30
6	0,9	23,84	24,46	23,67	71,96
		Total			401,53

Hasil rancangan perlakuan pada Tabel 12 diperoleh nilai jumlah dan total yang akan dipergunakan untuk perhitungan faktor koreksi (FK), jumlah kuadrat (JK), kuadrat tengah (KT) dan F_{hitung} .

- Rekapitulasi perhitungan ANOVA satu arah dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Rekapitulasi ANOVA

SK	JK	DB	KR	F_{hitung}
Perlakuan	189,74	5	37,87	195,07
Galat	2,33	12	0,19	
Total	191,66	17	38,06	

Hasil analisis ANOVA menunjukkan nilai $F_{hitung} = 195,07$ lebih besar daripada $F_{tabel} = 2,85$, sehingga H_0 ditolak. Hal ini berarti variasi persentase serat bambu berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton berpori. Nilai p-value $< 0,05$ semakin menegaskan bahwa pengaruh tersebut nyata secara statistik. Untuk mengetahui kadar serat bambu yang berbeda signifikan, dilakukan uji lanjut (*post-hoc*) dengan metode Tukey HSD. Hasil uji menunjukkan bahwa beton berpori tanpa serat (0%) berbeda nyata dengan seluruh variasi penambahan serat. Variasi 0,5% dan 0,6% tidak berbeda signifikan satu sama lain, sedangkan variasi 0,7% dan 0,8% membentuk kelompok yang berbeda nyata dibandingkan kadar rendah. Variasi 0,9% berada di antara kelompok 0,6% dan 0,8%, sehingga tidak berbeda signifikan dengan keduanya. Dengan demikian, komposisi 0,8% dapat dipastikan sebagai kadar optimum karena memberikan perbedaan signifikan terhadap kuat tekan sekaligus menghasilkan nilai tertinggi..

- Kesimpulan uji hipotesis ANOVA satu arah diperoleh nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ dimana $F_{tabel} = 2,85$, maka hipotesis H_0 ditolak yang berarti interaksi atau perlakuan yang nyata antara persentase limbah serat bambu dengan kuat tekan beton berpori.

Sehingga hasil analisis statistik dengan metode ANOVA membuktikan bahwa terdapat

pengaruh variasi persentase penambahan limbah serat bambu dengan kuat tekan beton berpori.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kuat tekan beton berpori meningkat dengan penambahan limbah serat bambu hingga kadar tertentu, dengan nilai optimum pada variasi 0,8% sebesar 26,10 MPa. Laju infiltrasi mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase serat bambu, namun seluruh variasi tetap memenuhi standar kategori tinggi (>15.000 mm/jam). Komposisi 0,8% serat bambu merupakan titik optimum karena menghasilkan kuat tekan maksimum sekaligus laju infiltrasi yang masih memenuhi fungsi dasar beton berpori sebagai media resapan air. Pemanfaatan limbah serat bambu pada beton berpori mendukung pengembangan material konstruksi yang lebih kuat secara mekanis, tetap permeabel, dan ramah lingkungan, sehingga layak digunakan pada saluran resapan air maupun perkerasan jalan.

REFERENSI

- [1] M. A. Syahrani, "Beton ringan berbahan fly ash dan bottom ash", Tugas Akhir, Universitas Sriwijaya, Palembang, 2021.
- [2] ACI Committee 211, *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (ACI 211.1-91)*, American Concrete Institute, 1991.
- [3] ACI Committee 522, *Report on pervious concrete (ACI 522R-10)*, American Concrete Institute, 2010.
- [4] R. J. Putra and R. Pertiwi, "Pengaruh penggunaan agregat terhadap beton porous," *Jurnal Sipil Statik*, 2019.
- [5] M. F. Khonado, H. Manalip, and S. E. Wallah, "Kuat tekan dan permeabilitas beton porous dengan variasi ukuran agregat," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 7, no. 3, pp. 351–358, 2019.
- [6] M. R. Ramadhon, "Mechanical properties of porous concrete and design recommendation for low traffic road pavement in Indonesia," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 794, p. 012003, 2021.
- [7] C. Wijaya, "Studi eksperimental kuat tekan beton porous menggunakan variasi ukuran agregat kasar batu pecah pasca dibakar," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 15 No. 1 pp.50-57, 2020.

- [8] A. Javadian et al., "Banana stem fiber reinforced concrete," *Int. J. GEOMATE*, vol. 14, no. 44, pp. 166–175, 2019.
- [9] M. E. Hidayat, Ismeddiyanto, A. Kurniawandy, "Pengaruh penambahan serat kulit bambu terhadap sifat mekanik beton". *Jom FTEKNIK*, vol. 3 No. 1 pp. 1-7.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1969:2016: Metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*, BSN, 2016.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-4142-1996: Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm)*, BSN, 1996.
- [12] ASTM International, *ASTM C136/C136M-12: Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates*, ASTM, 2012.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 2417:2008: Uji keausan agregat*, BSN, 2008.
- [14] ASTM International, *ASTM C39/C39M-18: Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*, ASTM, 2018.
- [15] ASTM International, *ASTM C1701/C1701M: Standard test method for infiltration rate of in place pervious concrete*, ASTM, 2009.
- [16] R. Ananda, and M. Fadhli, "Statistik pendidikan teori dan praktik dalam pendidikan", Medan : CV Widya Puspita, 2018.
- [17] K. Hariadi, "Penggunaan limbah kaca sebagai filler pada campuran perkerasan aspal panas," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 26, no. 3, pp. 265–272, 2019.

This page is intentionally blank