

## **Pengaruh Ukuran Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Infiltrasi dan Permeabilitas Beton Porous**

**Eko Riyanto<sup>1\*</sup>, Agung Setiawan<sup>2</sup>, Muhamad Taufik<sup>3</sup>**

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Purworejo

[eko.riyanto@umpwr.ac.id](mailto:eko.riyanto@umpwr.ac.id)\*

**Abstrak.** Penggunaan beton konvensional sebagai lapis permukaan bersifat kedap, berdampak potensi genangan air dan banjir. Salah satu upaya mereduksi limpasan permukaan dan meningkatkan resapan air hujan dengan menggunakan beton porous. Penelitian bertujuan mengkaji dan evaluasi kinerja sifat mekanik dan hidraulik beton porous dengan bahan tambah abu batu sisa penggergajian kerajinan batu Gunung Merapi. Dalam penelitian percobaan laboratorium ini digunakan 4 (empat) variasi komposisi campuran semen, abu batu, agregat, dan faktor air semen sebagai berikut: 1:1:5, 1:1:6, 1:1:7 dan 1:1:8 serta faktor air semen 0,4. Pengujian benda uji mengikuti standar dan prosedur American Concrete Institute (ACI) 522R-10. Hasil penelitian menunjukkan beton porous dengan ukuran agregat 1-2 cm dan abu batu meningkatkan kuat tekan tetapi daya lolos air menurun. Kuat tekan beton porous tertinggi menggunakan ukuran agregat kecil (1-2 cm) dengan abu batu 7,47 MPa. dengan infiltrasi 0,28 cm/s dan permeabilitas 2,81 cm/s. Peningkatan kuat tekan menggunakan abu batu ukuran agregat 1-2 cm sebesar 40,83 % dan ukuran agregat 2-3 cm sebesar 62,30%.

**Kata Kunci :** Beton Porous, Abu Batu, Kuat Tekan, Infiltrasi, Permeabilitas.

**Abstrack.** *The use of conventional concrete as a surface layer is impermeable, causing potential waterlogging and flooding. One effort to reduce surface runoff and increase rainwater infiltration is by using porous concrete. The aim of this study was to study and evaluate the performance of the mechanical and hydraulic properties of porous concrete with the addition of stone ash left over from sawing stone crafts from Mount Merapi. In this laboratory experimental study, 4 (four) variations of the composition of the cement mixture, rock ash, aggregate, and cement water factor were used as follows: 1:1:5, 1:1:6, 1:1:7 and 1:1:8 and water-cement factor of 0.4. Testing of specimens follows the standards and procedures of the American Concrete Institute (ACI) 522R-10. The results showed that porous concrete with an aggregate size of 1-2 cm and rock ash increased compressive strength but decreased water permeability. The highest compressive strength of porous concrete uses small aggregate sizes (1-2 cm) with 7.47 MPa of rock ash. with an infiltration of 0.28 cm/s and a permeability of 2.81 cm/s. The increase in compressive strength using stone ash with an aggregate size of 1-2 cm was 40.83% and an aggregate size of 2-3 cm was 62.30%*

**Keyword :** *Porous Concrete, Stone Ash, Compressive Strength, Infiltration, Permeability.*

### **1. Pendahuluan**

Pengembangan kawasan dan meningkatnya kualitas kehidupan membutuhkan dukungan infrastruktur yang lebih baik. Perubahan guna lahan untuk infrastruktur meningkat terutama di kawasan perkotaan dan kawasan pendukungnya. Lahan hijau yang mudah menyerap air berganti menjadi lahan yang sulit menyerap air menyebabkan kemampuan infiltrasi lahan menjadi rendah dan limpasan permukaan meningkat. Penggunaan beton konvensional sebagai lapisan penutup lahan (*land covering*) yang bersifat kedap air antara lain: *paving stone*, aspal, beton

rabat, tembok penahan tanah dari bahan kedap dan lain sebagainya. Permukaan yang kedap air berdampak saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi memungkinkan terjadinya limpasan permukaan. Volume limpasan permukaan yang besar akan memicu terjadinya banjir. Air hujan yang tidak dapat meresap ke dalam tanah, saat musim kemarau akan mengurangi ketersediaan air.

Material beton yang mampu meresapkan air perlu dikembangkan. Beton porous yang dikenal sebagai beton berpori atau permeabel menjadi alternatif cara untuk meningkatkan resapan air hujan sehingga mengurangi limpasan permukaan. Jika air hujan yang jatuh ke permukaan tanah akan terinfiltrasi masuk ke dalam tanah, sehingga tidak terjadi genangan atau limpasan permukaan. Air hujan yang jatuh di permukaan beton porous akan terinfiltrasi masuk ke dalam tanah berfungsi menjadi imbuhan air tanah dan konservasi sumber daya air.

Beton porous mempunyai keuntungan dan kekurangan (ACI,2010). Keuntungan beton porous antara lain:

1. Menahan dan menampung air hujan.
2. Menahan partikel pencemar yang ada di aliran air
3. Meresapkan air ke dalam tanah untuk imbuhan air tanah

Kekurangan beton porous:

1. Pemakaian terbatas kendaraan berat tertentu.
2. Aplikasi pada konstruksi khusus.
3. Mudah terpengaruh terhadap kandungan air dalam kontrol beton segar.
4. Masih kurangnya standarisasi metode percobaan

Dalam ACI (2010) mendefinisikan bahwa kuat tekan beton porous berkisar antara 2,8 – 28 MPa. Persyaratan standar mengenai mutu beton berpori belum ada pada SNI. Mix design untuk beton porous terdiri dari: semen (270 – 415 kg), agregat (1190 – 1480 kg), faktor air semen (0,27 – 0,34), perbandingan berat pasir dan kerikil (0 sampai 1 : 1). Penambahan agregat halus akan menurunkan permeabilitas tetapi akan meningkatkan kuat tekan. Sifat hidraulik yaitu permeabilitas berkisar 0,14 sampai dengan 1,22 cm/s. Beton Porous mempunyai kuat tekan yang rendah sehingga penggunaannya masih terbatas. Penggunaannya terbatas pada tempat parkir, tempat pejalan kaki (trotoar), jalur jogging, ruang terbuka hijau, ruang pameran terbuka, taman dan sebagainya.

## 2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan mengadakan suatu percobaan laboratorium. Membuat campuran beton porous dengan berbagai variasi perbandingan campuran semen dengan agregat ditambah filler (abu batu) dengan faktor air semen tetap. Ukuran agregat 1-2 cm digunakan pada proporsi campuran semen dan agregat 1:5 sampai dengan 1: 8 tanpa bahan tambah abu batu dan dengan abu batu. Benda uji menggunakan agregat ukuran 2-3 juga seperti agregat ukuran 1-2 cm.

- a. Rancangan Campuran Beton Porous dan pembuatan benda uji.

Rancangan benda uji dibuat dengan faktor air semen (fas) 0,4 mempertimbangkan *workability*.

**Tabel 1.** Rancangan Campuran Tanpa Abu Batu dan dengan Abu Batu

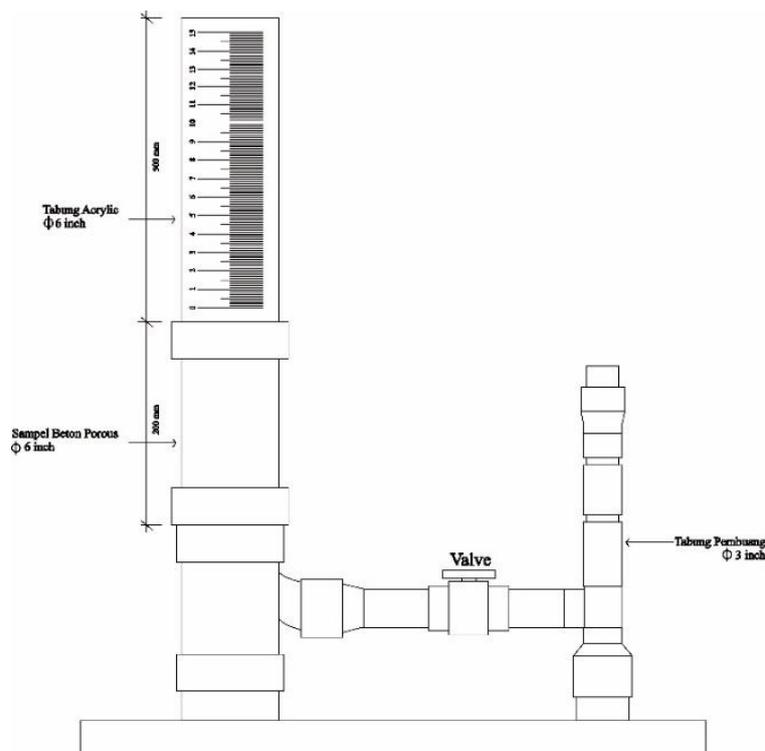
Proporsi Campuran Semen : Agregat	fas	Jumlah
1 : 5	0,4	15
1 : 6	0,4	15
1 : 7	0,4	15
1 : 8	0,4	15

b. Peralatan pengukuran infiltrasi dan permeabilitas

Pengujian infiltrasi dan permeabilitas dilakukan untuk mendapatkan kinerja beton porous dalam meloloskan air.

Pengujian permeabilitas Metode *Falling Head* dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Benda uji beton porous diletakkan di bawah tabung *acrylic* terikat dengan lapis karet agar tidak terjadi kebocoran.
- b. Tabung *acrylic* diisi air sampai ketinggian tertentu ( $h_0$ ) dan benda uji kondisi jenuh.
- c. Stop kran air dibuka hingga terjadi beda tinggi kurang lebih 150 mm selanjutnya stop kran air ditutup, tinggi air akhir tabung ( $h_1$ ) dan waktu penurunan ( $\Delta t$ ) dicatat,



Gambar 1. Alat Uji Permeabilitas

### 3. Hasil Penelitian

#### A. Pemeriksaan material

Pemeriksaan material bertujuan untuk mengetahui agregat kasar yang digunakan dalam penelitian memenuhi persyaratan dalam pembuatan beton.

1. Data agregat kasar (batu pecah)

Agregat kasar merupakan salah satu bahan penyusun yang digunakan pada pembuatan beton porous. Terdapat 2 jenis agregat kasar yaitu batu pecah dan kerikil alami. Pada penelitian ini digunakan agregat kasar batu pecah yang berasal dari sungai Jali Kabupaten Purworejo.

Pada penelitian ini agregat kasar yang digunakan berasal dari hasil pengolahan *Stone Crusher* Sungai Jali, Kabupaten Purworejo. Agregat menggunakan campuran ukuran 1-2cm dan 2-3cm, dengan komposisi campuran 50%:50%.

2. Pengujian keausan (abrasi) agregat kasar

Pengujian abrasi ini dilakukan berdasarkan standar SNI 2417:2008, dengan tujuan untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen. Hasilnya dapat digunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan bahan perkerasan jalan atau konstruksi beton.

Peralatan yang digunakan adalah mesin abrasi *Los Angeles*, saringan No.12, timbangan, bola-bola baja, oven, alat bantu pan dan kuas. Karakteristik dari batu pecah tersebut harus memenuhi ketentuan berdasarkan SNI 2417: 2008. Pada pengambilan data untuk keausan menggunakan 2 kali percobaan.

Karena material yang digunakan termasuk dalam Gradasi A, maka pengujian menggunakan mesin abrasi *Los Angeles* dengan 500 putaran dan penambahan 12 bola-bola baja. Setelah diputar selama 500 kali timbang batu pecah tersebut yang tertahan pada ayakan NO. 12 (1,7 mm). Hasil dari pengujian keausan batu pecah dapat dilihat pada Tabel 2. berikut.

Berdasarkan Tabel 2 didapatkan nilai hasil rata-rata dari pengujian keausan agregat kasar sebesar 20,8 %. Dari hasil tersebut maka agregat kasar sudah memenuhi persyaratan untuk pembuatan beton. Berdasarkan dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, keausan agregat kasar yang diizinkan yaitu maksimum sebesar 40%.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar.

Lubang Ayakan (mm)		Berat Benda Uji (gram)	
Lolos	Tertahan	Benda Uji I	Benda Uji II
37,5	25	1250	1250
25	19	1250	1250
19	12,5	1250	1250
12,5	9,5	1250	1250
9,5	6,3		
6,3	4,75		
4,75	2,36		
Jumlah benda uji		5000	5000
Jumlah bola baja		12	12
Jumlah putaran		500	500
Gradasi benda uji		A	A
Berat benda uji semula (A), gram		500	500
Berat benda uji sesudah diuji 500 putaran (B), gram		3999	3917
Rumus Keausan		20%	21,7%
Rata-rata		20,8%	

Sumber: Hasil Pengujian

3. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 1969:2008, dengan tujuan untuk mengetahui berat jenis kering, jenuh kering permukaan dan semu dan penyerapan air dari agregat kasar. Pada pengujian berat jenis batu pecah ini dilakukan sebanyak 2 kali percobaan. Batu pecah yang akan diuji direndam terlebih dahulu selama kurang lebih 24 jam. Setelah direndam lalu batu pecah dikeringkan menggunakan kain supaya didapat kondisi agregat yang kering permukaan. Setelah dikeringkan lalu batu pecah ditimbang seberat 4 kg sebanyak 2 sampel. Untuk hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat dapat dilihat pada Tabel 3. berikut.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.

Uraian	Sampel I	Sampel II	Rata-rata
Berat kerikil kering oven: A (gram)	3921	3916	3918,5
Berat kerikil keadaan jenuh kering permukaan: B (gram)	4000	4000	4000
Berat kerikil dalam air: C (gram)	2507	2497	2502
Berat jenis curah kering $\frac{A}{(B - C)}$	2,63	2,61	2,62
Berat jenis curah jenuh kering permukaan $\frac{B}{(B - C)}$	2,68	2,66	2,67
Berat jenis semu $\frac{A}{(A - C)}$	2,77	2,76	2,77
Penyerapan air (kerikil jenuh kering muka) $\frac{(B - A)}{A} \times 100\%$	2,01%	2,15%	2,08%

Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan Tabel 3 didapatkan hasil perhitungan tersebut dengan masing-masing nilai rata-rata dari berat jenis curah kering, berat jenis curah jenuh kering permukaan, dan berat jenis semu adalah 2,62; 2,67 ; 2,77. Nilai berat jenis yang digunakan adalah berat jenis curah jenuh kering permukaan yaitu sebesar 2,67. Dari hasil tersebut menunjukkan agregat kasar batu pecah yang berasal dari sungai Jali memenuhi standar yaitu 2,4 – 2,9. Sedangkan untuk nilai rata-rata penyerapan air agregat kasar tersebut adalah 2,08%.

4. Pengujian Gradasi Butiran Agregat Kasar (SNI ASTM C 136:2012)

Agregat kasar yang digunakan berasal dari sungai Jali dengan ukuran 1-2cm dan 2-3cm. Pengambilan sampel untuk pengujian menggunakan metode *quatering* dengan jumlah berat sampel 20000 gram. Dari pengujian didapatkan berat agregat tiap masing-masing saringan, kemudian dibuat grafik gradasi agregat dengan menghitung persen agregat yang tertahan pada setiap saringan.

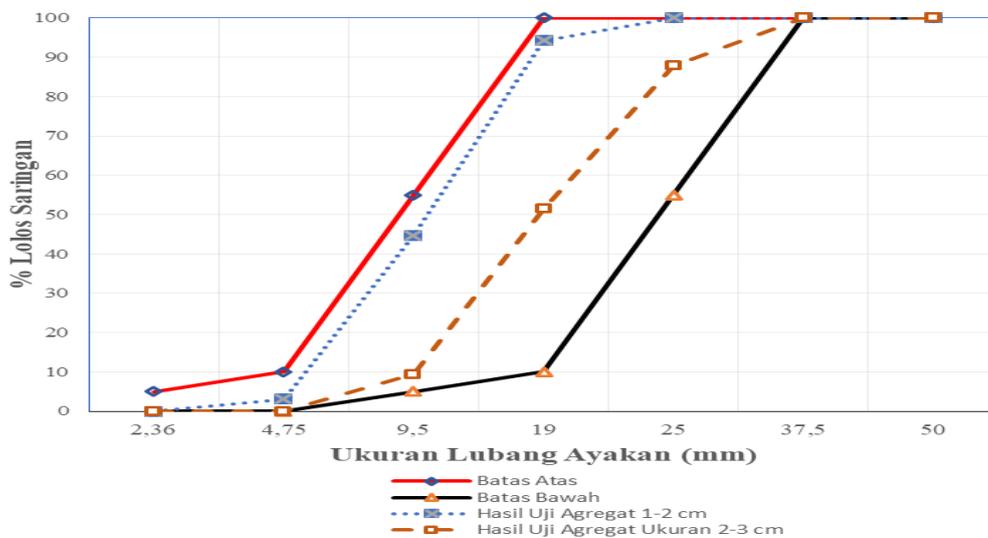
**Tabel 4.** Hasil Pengujian Gradasi Butiran Agregat Kasar.

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal gram	Berak Kumulatif %	Berat Kumulatif Lewat Ayakan %
38.1	0	0.00	100.00
25	2690.50	13.45	86.55
19	7262.00	36.31	50.24
12.5	5353.50	26.77	23.47
9.5	3013.50	15.07	8.40
6.35	1572.50	7.86	0.54
4.75	84.00	0.42	0.12
2.36	24	0.12	0.00

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal gram	Berat Tertinggal %	Berak Kumulatif %	Berat Kumulatif Lewat Ayakan %
1.18	0	0.00	100.00	0.00
0.6	0	0.00	100.00	0.00
0.3	0	0.00	100.00	0.00
0.15	0	0.00	100.00	0.00
Sisa	0	0.00	XXXX	XXXX
Jumlah	20000.00	100.00	930.68	269.32

Sumber: Hasil Pengujian

$$\text{Modulus halus butiran} = \frac{930,68}{100} = 9,3$$



Gambar 2. Grafik Gradasi Seragam Agregat Kasar Ukuran 1-2 cm dan 2-3 cm.

## B. Perhitungan Campuran dan Pembuatan Benda Uji

1. Rancangan beton porous pada penelitian ini adalah:
  - a) Faktor air semen yang digunakan 0,4.
  - b) Pembuatan sampel beton untuk uji kuat tekan menggunakan benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
  - c) Pembuatan sampel beton untuk uji hidraulik dengan menggunakan sampel yang tercetak di dalam pipa PVC dengan diameter 15,24 mm dan tinggi 200 mm.

Pembuatan Campuran Beton Porous

**Tabel 4.** Kebutuhan Material Beton Borous Tanpa Abu Batu

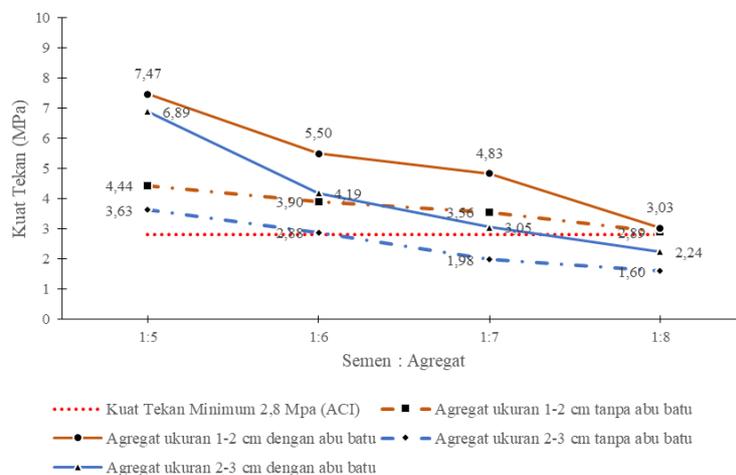
Komposisi Campuran Semen : Agregat	Semen (gram)	Agregat (gram)	Air (gram)
1 : 5	1.500	7.500	600
1 : 6	1.250	7.500	500
1 : 7	1.071,43	7.500	428,57
1 : 8	937,5	7.500	375

**Tabel 5.** Kebutuhan Material Beton Porous Dengan Abu Batu

Komposisi Campuran Semen : Agregat	Semen (gram)	Agregat (gram)	Air (gram)	Abu batu (gram)
1 : 1 : 5	1.500	7.500	600	1.500
1 : 1 : 6	1.250	7.500	500	1.250
1 : 1 : 7	1.071,43	7.500	428,57	1.071,43
1 : 1 : 8	937,5	7.500	375	937,5

**Tabel 6.** Kuat Tekan Beton Porous Tanpa Abu Batu Agregat Ukuran 1-2 cm dan 2-3 cm.

Komposisi Campuran	Agregat 1-2 cm		Agregat 2-3 cm	
	Tanpa Abu Batu	Dengan Abu Batu	Tanpa Abu Batu	Dengan Abu Batu
	Kuat Tekan (MPa)		Kuat Tekan (MPa)	
1 : 5	4,44	7,47	3,63	6,89
1 : 6	3,90	5,50	2,88	4,19
1 : 7	3,56	4,83	1,98	3,05
1 : 8	2,89	3,03	1,60	2,24



**Gambar 3.** Kuat Tekan Beton Porous Variasi Campuran Tanpa dan Dengan Abu Batu



**Gambar 4.** Kerusakan Beton Porous Tanpa Abu Batu



**Gambar 5.** Kerusakan Beton Porous Dengan Abu Batu

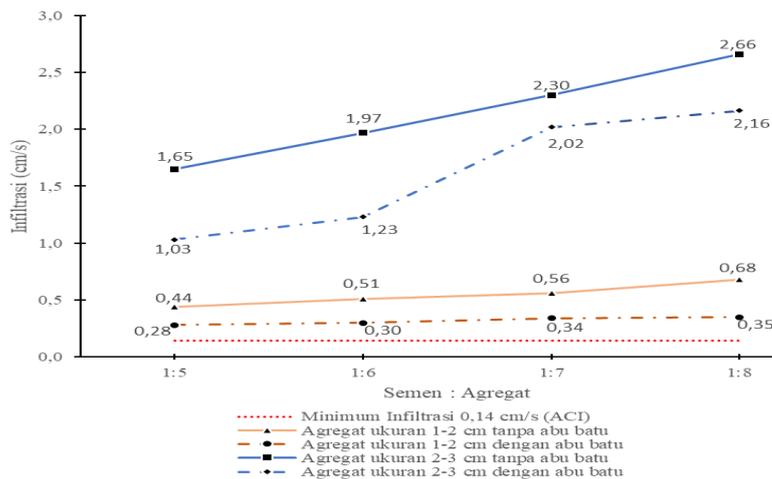
Perbandingan campuran semen dengan agregat yang semakin besar akan menurunkan kuat tekan beton porous. Kuat tekan beton porous menggunakan bahan tambah abu batu menunjukkan peningkatan. Perbandingan semen dengan agregat semakin besar akan menyebabkan pasta semen yang mengikat permukaan butiran agregat semakin berkurang. Kondisi ini berakibat kekuatan ikatan antar butiran agregat menjadi berkurang. Pasta semen dan abu batu yang terlalu banyak mengakibatkan turun ke bawah, akan membentuk sumbatan aliran air.

### Infiltrasi

Nilai infiltrasi beton porous tertinggi didapat pada perbandingan komposisi campuran semen agregat 1:8 tanpa abu batu. Nilai infiltrasi beton porous menggunakan agregat ukuran 2-3 cm tanpa abu batu tertinggi sebesar 2,66 cm/s, agregat ukuran 1-2 tertinggi sebesar 0,68 cm/s. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 6 dan Gambar 8.

**Tabel 7.** Hasil Uji Infiltrasi Beton Porous

Komposisi Campuran	Agregat 1-2 cm		Agregat 2-3 cm	
	Tanpa abu batu	Dengan abu batu	Tanpa abu batu	Dengan abu batu
	Infiltrasi (cm/s)		Infiltrasi (cm/s)	
1 : 5	0,44	0,28	1,65	1,03
1 : 6	0,51	0,30	1,97	1,23
1 : 7	0,56	0,34	2,30	2,02
1 : 8	0,68	0,35	2,66	2,16



**Gambar 6.** Infiltrasi Beton Porous Variasi Komposisi Campuran Tanpa dan Dengan Abu Batu

### Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan pada umur 14 hari. Pada saat tersebut benda uji mempunyai daya lekat yang kuat. Hasil pengujian permeabilitas beton porous tanpa dan dengan abu batu ditunjukkan pada Tabel 8 dan Gambar 8.

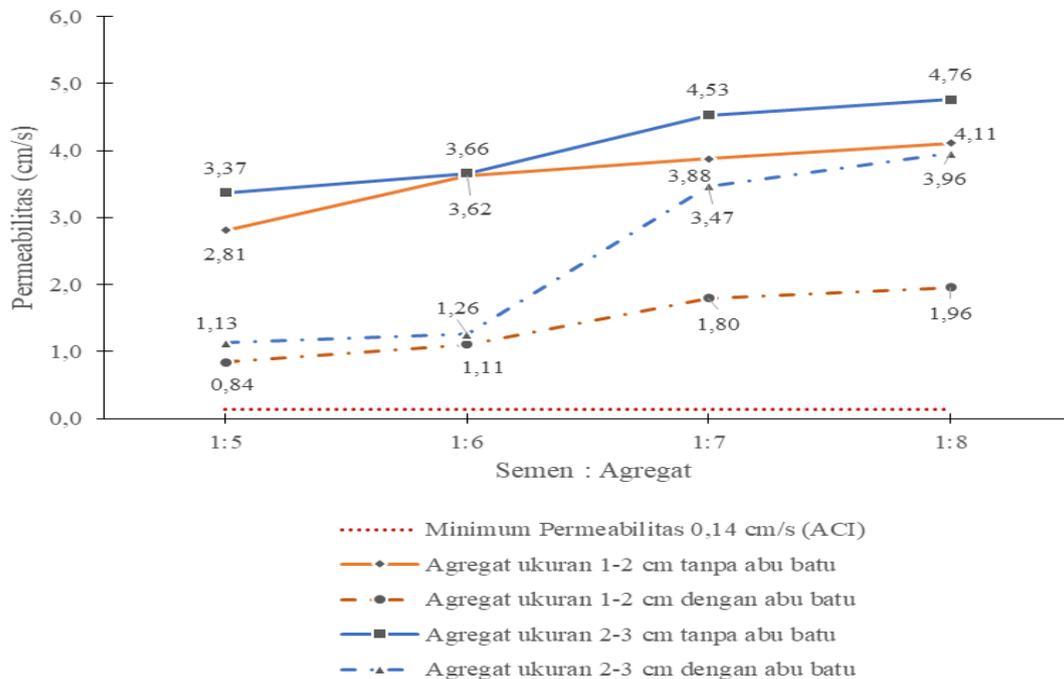
**Tabel 8.** Hasil Uji Permeabilitas Beton Porous Tanpa Abu Batu Agregat Ukuran 1-2 cm dan 2-3 cm

Komposisi Campuran	Agregat 1-2 cm		Agregat 2-3 cm	
	Tanpa abu batu	Dengan abu batu	Tanpa abu batu	Dengan abu batu
	Permeabilitas (cm/s)		Permeabilitas (cm/s)	
1 : 5	2,81	0,84	3,37	1,13
1 : 6	3,62	1,11	3,66	1,26
1 : 7	3,88	1,80	4,53	3,47
1 : 8	4,11	1,96	4,76	3,96

Nilai permeabilitas beton porous tertinggi didapat pada perbandingan komposisi campuran semen agregat 1:8 tanpa abu batu. Nilai permeabilitas beton porous menggunakan agregat ukuran 2-3 cm tanpa abu batu tertinggi sebesar 4,76 cm/s, agregat ukuran 1-2 cm tertinggi sebesar 4,11 cm/s.

Perbandingan campuran semen dengan agregat yang semakin besar, akan menurunkan kuat tekan dan meningkatkan laju infiltrasi dan permeabilitas. Kuat tekan porous tertinggi didapat pada campuran yang menggunakan agregat ukuran 1-2 cm dengan abu batu. Kuat tekan cenderung menurun pada beton porous yang menggunakan agregat ukuran 2-3 cm. Pasta semen pada beton porous yang menggunakan agregat ukuran 2-3 cm semakin sedikit menyelimuti permukaan agregat, mengakibatkan ikatan antar agregat berkurang dan semakin berongga atau porous (Kurniadi & Himawan, 2019). Kinerja beton porous agregat ukuran 1-2 cm menggunakan abu batu nilai kuat tekan meningkat 40,83% lebih besar daripada tanpa abu batu. Kinerja beton porous agregat ukuran 2-3 cm menggunakan abu batu nilai kuat tekan meningkat 62,30% lebih besar daripada agregat ukuran 1-2 cm batu. Kinerja parameter hidraulik infiltrasi dan permeabilitas beton porous menurun pada campuran yang menggunakan abu batu. Abu batu mempunyai sifat menyerap air sehingga mengurangi kecenderungan *bleeding* beton segar. Peningkatan kuat tekan dan penurunan kinerja hidraulik beton porous dengan abu batu menunjukkan

abu batu bereaksi dengan semen sebagai bahan ikat dan mengisi rongga. Bahan tambah abu batu sisa kerajinan batuan vulkanik Gunung Merapi mampu meningkatkan kuat tekan beton porous akan tetapi menurunkan kemampuan meloloskan air.



**Gambar 7.** Permeabilitas Beton Porous Variasi Campuran Tanpa dan Dengan Abu Batu

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Kinerja beton porous dengan ukuran agregat 1-2 cm dan abu batu meningkatkan kuat tekan tetapi daya lolos air menurun. Kuat tekan beton porous tertinggi menggunakan ukuran agregat kecil (1-2 cm) dengan abu batu 7,47 MPa. dengan infiltrasi 0,28 cm/s dan permeabilitas 2,81 cm/s. Peningkatan kuat tekan menggunakan abu batu ukuran agregat 1-2 cm sebesar 40,83 % dan ukuran agregat 2-3 cm sebesar 62,30%. Peneliti selanjutnya dapat menambah pengujian kuat tarik beton porous agar mengetahui nilai tegangan beton porous sehingga dapat membantu klasifikasi penggunaan beton porous yang tepat.

#### Daftar Pustaka

- American Concrete Institute (ACI). (2010). *Report on Pervious Concrete 522R-10*. Michigan, United State: ACI Committee 522.
- Edi Kurniadi, Lava Himawan, (2019). "Kajian Kuat Tekan dan Infiltrasi Pada Beton Non Pasir" *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, Maret 2019 (72-78).
- Ginting, A. (2015, Oktober). Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous dengan Bahan Pengisi Styrofoam. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 76.
- Khonado, M. F., Hieryco Manalip, & Steenie E. Wallah. (2019). Kuat tekan dan permeabilitas beton porous dengan variasi ukuran agregat. *Jurnal Sipil Statik*, 7(3), 351-358.
- Nassiri, S., Rangelov, M., & Chen, Z. (2017). *Preliminary study to study acceptance test for pervious concrete*. Washington State Department of Transportation..

- Peiliang Shen, Jian-Xin Lu, Haibing Zheng, Songhui Liu, & Chi Sun Poon. (2020). Conceptual design and performance evaluation of high strength pervious. *Construction and Building Materials*.
- R. Selvaraj, & M. Amirthavarshini. (2016). Some Aspects on Pervious Concrete. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 3(1).
- S.O. Ajamu, A.A. Jimoh, & J.R. Oluremi. (2012). Evaluation of Structural Performance of Pervious Concrete in Construction. *International Journal of Engineering and Technology*, 2.
- Triatmodjo, B. (2010). *Hidrologi Terapan*. Sleman, Yogyakarta: Beta Offset.
- Wira Rante Paganggi, Amelia Makmur, & Rachmansyah. (2021). Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene terhadap Kuat Tekan dan Nilai Permeabilitas pada Beton Berpori. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 27(1), 135-142