

Optimalisasi Campuran Beton Porous Dengan Bahan Tambah Abu Batu Kerajinan Batuan Gunung Merapi

Agung Setiawan^{a*}, Mochamad Teguh^b

^a Universitas Muhammadiyah Purworejo

^b Universitas Islam Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.18196/bce.v2i2.15448>

Riwayat Artikel

Diserahkan
12 Juli 2022

Direvisi
18 Agustus

Diterima
28 Agustus

*Penulis korespondensi
agungsetiawan@umpwr.ac.id

Abstrak

Pengelolaan limpasan permukaan menggunakan material berdampak ringan terhadap lingkungan terus dikembangkan. Kemampuan daya resap air beton porous merupakan salah satu upaya mengelola limpasan permukaan. Pengembangan beton porous untuk meningkatkan properties mekanik dan hidraulik terus dilakukan. Upaya tersebut dengan memberi bahan tambah dan aditif dalam campuran beton porous. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan proporsi campuran semen dibanding agregat dari beton porous sehingga didapat kuat tekan, infiltrasi dan permeabilitas yang memadai. Metode eksperimen laboratorium dengan menggunakan bahan tambah abu batu hasil samping kerajinan batuan Gunung Merapi 100% berat semen. Benda uji silinder diameter 15 cm tinggi 30cm dengan variasi campuran semen dibanding agregat 1:2 sampai dengan 1:8. Pengujian kuat tekan dilakukan umur 28 hari dan pengujian hidraulik umur 14 hari. Hasil penelitian menunjukkan proporsi campuran semen dibanding agregat 1:3 dan 1:4 dengan bahan tambah abu batu menghasilkan kuat tekan sebesar 14,48 MPa dan 10,59 MPa. Kuat Tekan ini memenuhi standar kuat tekan paving block mutu D. Infiltrasi sebesar 0,25 cm/dt dan 0,35 cm/dt. Permeabilitas sebesar 1,02 cm/dt dan 1,44 cm/dt.

Kata-kata kunci: Beton porous, abu batu batuan Gunung Merapi, kuat tekan, infiltrasi, permeabilitas

Abstract

Low impact development materials to stormwater management needs to be continued. Hydraulics characteristics of porous concrete is one of the efforts to control storm water run off. The development of porous concrete to improve its mechanical and hydraulic properties continues. The results of the mentioned tests were analyzed and then the optimum proportion was determined.

Laboratory experiment method using stone ash added as a by-product of rock crafts from Mount Merapi, 100% by weight of cement. Mix design using a variation of cement: aggregate 1:2 to 1:8.

The results showed that the proportion of cement mixture compared to 1:3 and 1:4 aggregates with added rock ash produced a compressive strength of 14.48 MPa and 10.59 MPa, respectively.

Compressive strength meets the specifications of grade D paving blocks. Infiltration of 0.25 cm/sec and 0.35 cm/sec. Permeability of 1.02 cm/s and 1.44 cm/s according to American Concrete Institute (ACI) 552R-10.

Keywords: pervious concrete, stone ash, compressive strength, infiltration, permeability.

©2022 Bulletin of Civil Engineering UMY

1. PENDAHULUAN

Teknologi beton porous merupakan alternatif pengendalian limpasan permukaan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Material beton porous mempunyai keunggulan daya serap air, tahan terhadap perubahan cuaca dan mudah dibentuk sesuai kebutuhan. Penelitian beton porous berkembang untuk mendapatkan sifat mekanik dan hidraulik yang memadai untuk diaplikasikan sebagai lapis permukaan halaman rumah, ruang terbuka hijau, jalur pejalan kaki dan lahan parkir.

Sifat mekanik dan hidraulik beton porous dipengaruhi oleh: perbandingan agregat dengan semen, faktor air semen, karakteristik agregat (bentuk, ukuran, kekerasan). Faktor air semen yang terlalu besar membuat

pasta semen terlalu cair. Pasta semen yang terlalu cair akan mengurangi daya rekat dengan agregat dan mengalir ke dasar berakibat penyumbatan. Sebaliknya pasta semen yang terlalu kering menyebabkan campuran tidak bercampur secara merata di permukaan agregat, sehingga daya rekat dan kekuatan berkurang.

Bahan dasar pembentuk beton porous menurut *American Concrete Institute /ACI, (2010)*, tersusun dari semen, agregat kasar, sedikit atau tanpa agregat halus, bahan tambah dan air. Beton porous cenderung memiliki nilai slump yang mendekati nol. Kombinasi campuran material tersebut menghasilkan beton porous dengan pori-pori yang saling terhubung dengan agregat. Ukuran agregat yang digunakan antara 2 sampai 8 mm, sehingga

memungkinkan air lewat dengan mudah. Kuat tekan beton porous berada direntang 2,8 hingga 28 MPa. Laju drainase perkerasan beton tembus air bervariasi sesuai ukuran agregat dan kepadatan campuran, umumnya dalam kisaran 0,14 hingga 1,22 cm/s

Hasil penelitian beton porous menggunakan agregat Batujajar ukuran maksimum 40 mm dan variasi faktor air semen (fas) 0,3, 0,35, 0,4, 0,45 dan 0,5, menunjukkan peningkatan fas berdampak menurunnya kuat tekan beton porous. Kuat tekan terendah 8,8 MPa pada fas 0,5. Pola kerusakan beton porous dengan fas 0,5 menunjukkan agregat banyak terlepas ikatannya. Nilai permeabilitas tertinggi sebesar 5 mm/detik pada fas 0,5. (Desmaliana, E., dkk., 2018).

Penelitian dengan memberi zat tambahan kimia dan serat polypropylene pada campuran beton berpori memiliki pengaruh yang baik. Variasi kadar polypropylene yang dilakukan mulai dari 0,05%, 0,1%, 0,15%, 0,2% dan 0,25% terhadap berat semen. Batu pecah yang digunakan berukuran 2,36 - 9,5 mm, berat jenis 2,50 dengan penyerapan air sebesar 2,72 %. Hasil penelitian menunjukkan penambahan serat *polypropylene* sebesar 0,25% kuat tekan yang dihasilkan terbesar yaitu 16,90 MPa sedang permeabilitasnya terkecil 0,21 cm/detik. Kadar optimal penggunaan serat *polypropylene* pada campuran beton berpori sebesar 0,17% terhadap berat semen menghasilkan kuat tekan 16,60 MPa dan koefisien permeabilitas 0,23 cm/detik (Paganggi, Wira.R., dkk., 2021).

Rekayasa material beton porous untuk meningkatkan kuat tekan dengan mengganti sebagian agregat dan semen dengan menggunakan potongan tempurung kelapa dan abu tempurung kelapa. Penelitian ini mengganti sebagian agregat kasar dengan potongan tempurung kelapa prosentase 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%. Prosentase mengganti sebagian semen 0%, 2,5%, 5%, 7,5%. Hasil penelitian menunjukkan penambahan potongan tempurung kelapa densitas dan kuat tekan beton porous menurun. Kuat tekan beton porous terbesar pada penggantian potongan tempurung kelapa 0% yaitu 7,85 MPa. (Suwendy Arifin dan Oki Setyandito, 2021).

Upaya rekayasa material yang berkelanjutan dibutuhkan di saat ini dan masa mendatang. Pemanfaatan material produk samping industri dan material daur ulang sebagai material pengganti semen dan bahan tambah perlu dikembangkan. Bahan tambah dapat berupa material pozolan buatan seperti slag atau fly ash. Penggunaan material pozolan sebagai bahan tambah atau pengganti semen pada campuran beton tinggi maupun beton kekuatan rendah menunjukkan peningkatan sifat mekanik. Material pozolan bersifat menyerap air dan menghasilkan pasta semen yang kohesif dan bersifat plastis. Jika *water cement ratio* menurun akan meningkatkan kuat tekan.

Abu batu yang digunakan merupakan produk samping dari kerajinan batuan Gunung Merapi. Kerajinan batuan Gunung Merapi berupa peralatan rumah tangga, hiasan dan patung saat proses pembuatannya menghasilkan abu batu. Saat ini abu batu tersebut tidak dimanfaatkan dan menjadi limbah. Abu batu berwarna

abu-abu, ukuran butiran kecil mendekati debu, bertekstur kasar, diharapkan membuat ikatan yang kuat.

Penelitian beton porous selalu dikembangkan melalui variasi proporsi semen, agregat, air dan bahan tambah sehingga didapat desain campuran dengan sifat mekanik dan hidraulik yang memadai. Di dalam penelitian ini dikembangkan melalui variasi proporsi campuran semen, agregat dan bahan tambah abu vulkanik kerajinan batuan Gunung Merapi. Beberapa variasi proporsi campuran diharapkan mendapatkan kuat tekan dan permeabilitas yang optimal.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimental di laboratorium. Benda uji beton porous dibuat dengan variasi proporsi semen dengan agregat 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8, tanpa abu batu dan tambah abu batu 100% terhadap berat semen, faktor air semen 0,4. Benda uji dibuat menggunakan silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan. Benda uji untuk pengujian infiltrasi dan permeabilitas dibuat dalam pipa *Polyvinyl Chloride (PVC)* diameter 15,24 cm (6 inch) dan tinggi 20 cm. Benda uji silinder untuk pengujian kuat tekan masing-masing variasi berjumlah 5 buah, untuk pengujian sifat hidraulik masing-masing variasi sejumlah 2 buah. Berdasarkan ACI-522R-10 komposisi campuran material beton porous ditunjukkan dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Proporsi campuran material beton porous

Material	Proporsi (kg/m ³)
Semen	270 - 415
Agregat Kasar	1190 - 1480
Faktor Air Semen	0.27 - 0.34
Semen : Agregat	1 : 4 sampai 4.5
Ratio Agregat halus	0 - 1 : 1

2.1 Material

Material yang digunakan meliputi semen, agregat, abu batu dan air berasal dari Sungai Jali, Purworejo dan Cangkringan, Sleman.

2.1.1 Material semen

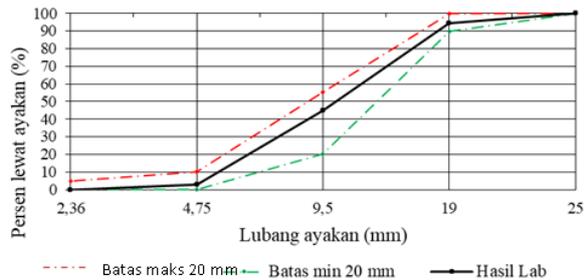
Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Portland Composite Cement (PCC)* merk Tiga roda yang memenuhi SNI 7064-2014 dan European Standard EN 197-1:2000 (42.5 N & 42.5 R). PCC mempunyai panas hidrasi lebih rendah selama proses pendinginan dibandingkan dengan Semen Portland Tipe I.

2.1.2 Material agregat

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah dari stone crusher. Batu pecah harus memenuhi kualitas kekerasan, bersih bebas dari kotoran tanah dan bahan kimia. Ukuran batu pecah yang digunakan 1-2 cm asal Sungai Jali Kabupaten Purworejo. Hasil pengujian Berat Jenis kering permukaan (SSD) 2,6 dari standart 2,69, penyerapan air 1,49% dari standart kurang dari 2-4%. Pengujian keausan menunjukkan 18,64% dari standart beton mutu sedang maks.40%.



Gambar 1. Agregat kasar ukuran 1-2 cm asal S.Jali.



Gambar 2. Hasil gradasi agregat kasar ukuran 1-2 cm

2.1.3. Material abu batu

Abu batu yang digunakan adalah sisa penggergajian kerajinan batuan Gunung Merapi. Gambaran fisik abu batu berwarna abu-abu, butiran cenderung halus, ukuran merata. Hasil pemeriksaan kandungan kimia abu batu memiliki unsur kimia Silika (Si) 1.320,76 mg/kg, Kalsium (Ca) 1,98% dan Magnesium (Mg) 2.528,05 mg/kg. Tekstur abu batu yang tajam diharapkan dapat membuat ikatan kuat pasta semen dengan agregat.



Gambar 3. Abu batu sisa penggergajian kerajinan batuan G. Merapi.

2.2 Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji dibuat dengan menggunakan concrete mixer elektrik. Agregat kasar dan semen dimasukkan ke dalam concrete mixer dan diaduk dalam kondisi kering selama 1 menit hingga tercampur merata. Air dimasukkan sebanyak 2/3 dari total kebutuhan di masukkan ke dalam concrete mixer dan diaduk selama 3 menit. Selanjutnya ditambahkan 1/3 air, bahan tambah abu batu dan diaduk selama 3 menit. Concrete mixer dimatikan dan dilakukan pengadukan manual untuk menghindari campuran yang tidak merata. Pengadukan campuran beton dilakukan lagi selama 2 menit. Campuran beton porous yang telah diaduk dituang ke dalam cetakan silinder diameter 15cm dan tinggi 30 cm untuk uji kuat tekan. Campuran beton porous dituang ke potongan pipa PVC diameter 15,24 cm dan tinggi 20 cm untuk pengujian permeabilitas. Pengisian ke dalam cetakan dibagi 3 lapisan dari volume cetakan dan dipadatkan. Proses pemadatan dilakukan dengan cara dutusuk menggunakan tongkat baja sebanyak 25 kali.

Benda uji didiamkan selama 24 jam dan kering kemudian dikeluarkan dari cetakan, ditimbang dan diberi tanda benda uji. Perawatan benda uji dengan metode curing dilakukan setelah beton kering mencapai umur 28 hari. Metode curing yaitu benda uji direndam dalam bak air.

2.2 Pengujian kuat tekan

Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat, air. Kuat tekan beton ditentukan dengan persamaan:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

dengan:

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa),

P = gaya tekan aksial (N),

A = luas penampang melintang benda uji (mm^2).

2.3 Pengujian Infiltrasi dan Permeabilitas

a. Infiltrasi

Struktur beton porous mempunyai rongga atau pori udara yang dapat meloloskan air. Air yang jatuh di permukaan akan meresap ke dalam beton porous. Infiltrasi adalah aliran air dari permukaan beton porous ke dalam beton porous. Pengujian infiltrasi beton porous merujuk ASTM C1701 (Nassiri, dkk., 2017) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{4V}{D^2\pi t} \dots\dots\dots(2)$$

dengan

I = Infiltrasi (cm/s)

V = Volume air (cm^3)

D = Diameter sampel (cm)

t = Waktu air surut (detik)

Pengujian infiltrasi dilakukan dengan cara menuangkan volume air tertentu ke permukaan sampel beton porous dan diukur waktunya.



Gambar 4. Pengujian infiltrasi beton porous

b. Permeabilitas

Permeabilitas beton porous adalah kemampuan meloloskan air dalam kondisi jenuh. Pengukuran permeabilitas beton porous menggunakan Metode *Falling Head Permeability*. S.O.Ajamu, dkk., (2012). Persamaan permeabilitas dengan Metode *Falling Head* adalah:

$$K = 2,303 \frac{aL}{A\Delta t} \log\left(\frac{h_0}{h_1}\right) \dots\dots\dots(3)$$

dengan

K = Permeabilitas (cm/s)

L = tebal sampel (cm)

- α = luas tabung air (cm²)
- A = luas sampel (cm²)
- h₀ = tinggi muka air awal tabung (cm)
- h₁ = tinggi muka air akhir tabung (cm)
- Δt = interval waktu pengukuran (detik)

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



Gambar 5. Pengujian permeabilitas beton porous.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh variasi campuran dan bahan tambah abu batu terhadap kuat tekan, infiltrasi dan permeabilitas.

Kuat tekan beton konvensional mengalami peningkatan pada variasi substitusi agregat halus dengan abu batu vulkanik. Variasi prosentase abu batu vulkanik mulai dari 0%, 10%, 30%, dan 40% terhadap agregat halus. Substitusi abu batu sampai dengan 30% menunjukkan peningkatan kuat tekan beton konvensional, prosentase 40% kuat tekan mengalami penurunan. Substitusi sebagian agregat halus dengan abu batu vulkanik mempunyai batas tertentu. (Faqih Nasyiin dan Gupto Krisnawan, 2019).

Kuat tekan beton konvensional lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan beton porous, dikarenakan adanya rongga untuk daya serap air. Hasil pengujian kuat tekan porous dengan bahan tambah rata-rata mengalami kenaikan 55,04 %. Properties mekanik kuat tekan terbesar 14,48 MPa didapat pada proporsi semen dibanding agregat 1:3 dengan bahan tambah abu batu. Kuat tekan dari semua variasi proporsi semen dibanding agregat, seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kuat tekan beton porous

Proporsi Agregat : Semen	Kuat Tekan (MPa)	
	Tanpa Abu Batu	Dengan Abu Batu
1:3	7,87	14,48
1:4	5,39	10,59
1:5	4,44	7,47
1:6	3,90	5,50
1:7	3,56	4,83
1:8	2,89	3,03

Kemampuan daya lolos air beton porous dilakukan pengujian infiltrasi dan permeabilitas. Infiltrasi merupakan kemampuan beton porous menyerap air, sedang permeabilitas kemampuan lolos air dalam kondisi rongga beton porous jenuh air. Infiltrasi dan permeabilitas ditentukan oleh porositas. Pengujian infiltrasi dan permeabilitas dilakukan pada umur 14 hari. Komposisi proporsi semen dibandingkan agregat yang semakin besar berdampak pada meningkatnya infiltrasi dan permeabilitas. Campuran beton porous tanpa abu batu infiltrasi

dan permeabilitas nilainya lebih besar dibandingkan dengan bahan tambah abu batu. Properties hidraulik beton porous terkecil terjadi pada proporsi semen dibanding agregat 1:3 sebesar 0,25 cm/detik. Properties hidraulik ini masih dalam rentang ACI 522R-10 yaitu berkisar 0,14 - 1,22 cm/detik.

Tabel 3. Infiltrasi beton porous

Proporsi Semen : Agregat	Infiltrasi (cm/dtk)	
	Tanpa Abu Batu	Dengan Abu Batu
1:3	0,29	0,25
1:4	0,36	0,35
1:5	0,44	0,28
1:6	0,51	0,30
1:7	0,56	0,34
1:8	0,68	0,35

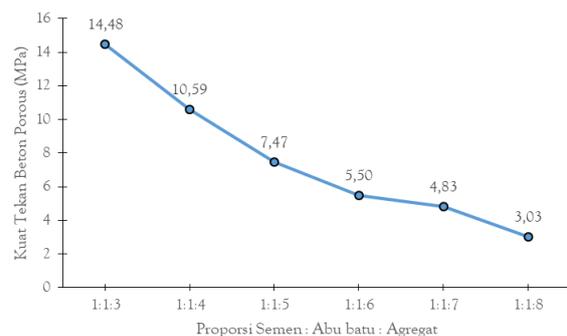
Tabel 4. Permeabilitas beton porous

Proporsi Semen : Agregat	Permeabilitas (cm/dtk)	
	Tanpa Abu Batu	Dengan Abu Batu
1:3	1,69	1,02
1:4	2,63	1,44
1:5	2,81	0,84
1:6	3,62	1,11
1:7	3,88	1,80
1:8	4,11	1,96

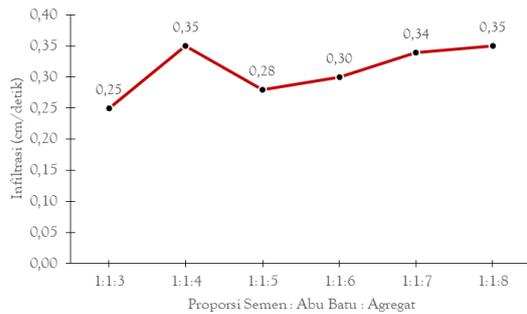
3.2. Optimalisasi proporsi campuran beton porous terhadap sifat mekanik dan hidraulik.

Bahan tambah abu batu hasil samping kerajinan batuan Gunung Merapi dapat meningkatkan properties mekanik kuat tekan beton porous pada proporsi campuran semen dibanding agregat 1:3 sampai dengan 1:8. Properties hidrauliknya sebaliknya menurun dengan adanya bahan tambah abu. Peningkatan kuat tekan dan penurunan properties hidraulik disebabkan pasta semen dan abu batu mengisi rongga beton porous.

Proporsi campuran semen dibanding agregat 1:3 sampai dengan 1:4 bahan tambah abu batu menghasilkan kuat tekan yang tinggi di atas 10 MPa. Hal ini memenuhi persyaratan kuat tekan paving block mutu D SNI 03-0691-1996. Lapis permukaan beton porous mempunyai kemampuan daya serap air lebih baik dibanding paving blok. Bahan tambah abu batu sisa penggergajian kerajinan batuan Gunung Merapi berfungsi mengendalikan pasta semen yang berlebih. Pasta semen yang berlebih mengganggu kinerja hidraulik.



Gambar 6. Kuat tekan beton porous bahan tambah abu batu 100 % terhadap berat semen.



Gambar 6. Infiltrasi beton porous bahan tambah abu batu 100 % terhadap berat semen.

4. KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil grafik kuat tekan, infiltrasi, permeabilitas dan variasi proporsi campuran semen dibanding agregat didapatkan proporsi campuran yang optimal adalah 1:3 sampai dengan 1:4 dengan bahan tambah abu batu.
- Penggunaan bahan tambah abu batu 100% terhadap berat semen pada campuran beton porous dapat meningkatkan kuat tekan. Penurunan kinerja infiltrasi dan permeabilitas masih sesuai nilai yang diisyaratkan ACI 522R-10.

5. DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute (ACI). (2010). *Report on Pervious Concrete 522R-10*. Michigan, United State: ACI Committee 522.
- BSN, 1996, SNI 03-0691-1996: *Bata Beton (Paving Block)*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
- Nassiri, S., Rangelov, M., & Chen, Z., 2017, *Preliminary Study to Develop Standard Acceptance Tests for Pervious*

Concrete, Washington: Department of Civil and Environmental Engineering.

- Desmaliana, E. dkk., 2018, Kajian Eksperimental Sifat Mekanik Beton Porous Dengan Variasi Faktor Air Semen, *Jurnal Teknik Sipil*, Volume 15, No.1, Oktober 2018, 19-29.
- Faqih Nasyiin dan Gupto Krisnawan, 2019, Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Abu Batu Sebagai Sebagian Pengganti Semen, Teras, Edisi II, Desember 2019, 1-12.
- Paganggi, W. Rante, dkk., Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene dan Nilai Permeabilitas pada Beton Berpori, *Media Komunikasi Teknik Sipil*, Volume 27, No.1, Juli 2021, 135-142.
- Peiliang, S., Jian-Xin, L., Haibing, Z., Songhui, L., & Chi Sun, P. (2020, October 214). Conceptual design and performance evaluation of high strength pervious. *Construction and Building Materials*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121342>
- Pratomo, E. P., Setyawan, A., & Djumari. (2016). *Pengaruh Gradasi Terhadap Porositas dan Kuat Tekon Beton Berpori*. Surakarta: Matriks Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.
- Suwendy Arifin and Oki Setyandito, 2021, Influence of Ash and Coconut Shell Against Compressive Strength and Permeability Characteristics of Pervious Concrete, *Turkish Journal of Computer and Mathematic Education*, Vol.12, No.3, 4129-4138.
- S.O. Ajamu, A.A. Jimoh, and J.R. Oluremi, 2012, Evaluation of Structural Performance of Pervious Concrete in Construction, *International Journal of Engineering and Technology*, 2.