

## **Studi Eksperimental Pemanfaatan Bahan Tambah Abu Batu Terhadap Beton Porous Menggunakan Agregat Kasar Clereng**

**Lathifah Desti Erlinawati<sup>1\*</sup>, Agung Setiawan<sup>1</sup>, Eko Riyanto<sup>1</sup>**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purworejo<sup>1</sup>

Email: [lathifahdesti222000@gmail.com](mailto:lathifahdesti222000@gmail.com)

**Abstrak.** Beton porous merupakan jenis beton yang memiliki rongga atau pori-pori sehingga memungkinkan beton untuk meloloskan air. Keuntungan beton porous dapat mengurangi limpasan permukaan sehingga dapat mengurangi resiko bencana banjir dan dapat meningkatkan cadangan air tanah. Komposisi beton porous menggunakan agregat kasar asal Clereng dengan ukuran lolos ayakan 25 mm dan tertahan di ayakan 9,5 mm. Bahan tambah abu batu digunakan sebagai pengisi atau *filler* dengan penambahan sebesar 100% dari berat semen dengan menggunakan fas 0,4. Variasi campuran perbandingan yang digunakan 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, dan 1:7 untuk campuran tanpa abu batu dan 1:1:3, 1:1:4, 1:1:5, 1:1:6 dan 1:1:7 untuk campuran dengan penambahan abu batu. Pengujian yang akan dilakukan meliputi pengujian kuat tekan, infiltrasi, permeabilitas. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar dalam pengujian keausan agregat sebesar 26,24%. Nilai kuat tekan optimum yang didapat pada variasi TTA 4 sebesar 4,61 MPa dan pada variasi TDA 4 sebesar 6,32 MPa. Nilai tersebut telah masuk dalam standar menurut ACI 522R-10. Pengaruh penambahan abu batu terhadap nilai kuat tekan beton mampu menaikkan kuat tekan beton dengan presentase kenaikan sebesar 27,06 %. Pada variasi optimum didapat nilai infiltrasi untuk PTA 4 sebesar 0,45 cm/detik dan PDA 4 sebesar 0,43 cm/detik, sedangkan nilai permeabilitas untuk PTA 4 sebesar 4,37 cm/detik dan PDA 4 sebesar 2,84 cm/detik. Nilai tersebut sudah masuk dalam ketentuan nilai infiltrasi yang dihasilkan antara 0,21 – 1,41 cm/s (Nassiri, 2017). Pengaruh penambahan abu batu terhadap nilai infiltrasi dan permeabilitas kurang efektif dikarenakan mengalami penurunan dengan persentase penurunan infiltrasi sebesar 3,47% dan permeabilitas sebesar 35,11%.

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

**Abstrack.** *Porous concrete is a type of concrete that has cavities or pores that allow the concrete to pass water. The advantage of porous concrete is that it can reduce surface runoff so that it can reduce the risk of flooding and can increase ground water reserves. The composition of porous concrete uses coarse aggregate from Clereng with a size that passes a 25 mm sieve and is retained on a 9.5 mm sieve. Stone ash added material is used as a filler or filler with an addition of 100% of the cement weight using a 0.4 phase. The variation of the mixture ratio used is 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, and 1:7 for the mixture without rock ash and 1:1:3, 1:1:4, 1:1:5, 1:1:6 and 1:1:7 for mixtures with the addition of rock ash. Tests to be carried out include testing compressive strength, infiltration, permeability. The results of the examination of the characteristics of the coarse aggregate in the aggregate wear test are 26.24%. The optimum compressive strength value obtained at TTA 4 variation is 4.61 MPa and at TDA 4 variation is 6.32*

MPa. This value has been included in the standard according to ACI 522R-10. The effect of adding stone ash to the compressive strength of concrete is able to increase the compressive strength of concrete with a percentage increase of 27.06%. In the optimum variation, the infiltration value for PTA 4 was 0.45 cm/second and PDA 4 was 0.43 cm/second, while the permeability value for PTA 4 was 4.37 cm/second and PDA 4 was 2.84 cm/second. . This value is included in the provisions of the resulting infiltration value between 0.21 – 1.41 cm/s (Nassiri, 2017). The effect of the addition of rock ash on the infiltration and permeability values is less effective because it has decreased with a percentage decrease in infiltration of 3.47% and permeability of 35.11%.

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

## 1. Pendahuluan

Penggunaan beton konvensional yang terus meningkat mengakibatkan lapisan kedap air semakin luas, sehingga air hujan tidak dapat berinfiltrasi ke dalam tanah dan mengakibatkan limpasan permukaan (surface runoff) menjadi lebih besar. Limpasan permukaan mengakibatkan muka air tanah menjadi turun dan terjadi genangan atau banjir pada musim hujan. Beton porous adalah jenis beton khusus dengan porositas tinggi yang diaplikasikan sebagai plat beton yang memungkinkan air hujan dan air dari sumber-sumber lain untuk dapat melewatinya, sehingga mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan muka air tanah. Porositas tinggi tercapai karena rongga yang saling berhubungan.

Biasanya beton porous menggunakan sedikit atau tanpa agregat halus dan memiliki cukup pasta semen untuk melapisi permukaan agregat kasar dan untuk menjaga interkoneksi pori. Beton porous digunakan untuk area parkir, di daerah lampu lalu lintas, dan trotoar untuk pejalan kaki (NRMCA, 2004). Beton porous menawarkan manfaat lingkungan yang signifikan karena dapat mengurangi kebutuhan fasilitas drainase. Beton porous dapat memfasilitasi pengisian ulang air tanah dan proses filtrasi air saat meresap ke bawah.

Abu batu adalah limbah yang berasal dari penggergajian kerajinan batu ataupun dapat juga berasal dari limbah usaha industri pemecah batu. Abu batu yang akan digunakan dalam penelitian kali ini menggunakan limbah abu batu yang berasal dari penggergajian kerajinan batu Gunung Merapi, dimana limbah abu batu tersebut tergolong tidak beracun dan bentuknya butiran halus. Batu yang digunakan berasal dari batu vulkanik akibat dari letusan Gunung Merapi. Penggunaan abu batu sebagai filler dalam produksi self-compacting concrete (SCC) dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 3,5 % pada penambahan abu batu dengan ukuran 25% berat semen (Handayani, 2019). Adanya abu batu sebagai material tambah dalam campuran beton diharapkan dapat meningkatkan nilai tekan pada beton.

Dalam Andri Nanda P (2016) meneliti agregat kasar yang berasal dari Clereng, Kali Progo dan Merapi. Dari ketiga agregat tersebut didapat nilai yang optimum menghasilkan nilai kuat tekan yaitu menggunakan agregat kasar yang berasal dari Clereng. Pada penelitian kali ini akan menggunakan agregat kasar yang berasal dari Clereng.

## 2. Kajian Teori

### 2.1 Beton Umum

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan, dan lain lain. Beton merupakan satu kesatuan yang homogen. Beton ini didapatkan dengan cara mencampur agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), atau jenis agregat lain dan air, dengan semen portland atau semen hidrolik yang lain, kadang-kadang dengan bahan tambahan (additif) yang bersifat kimiawi ataupun fisikal pada perbandingan tertentu, sampaimenjadi satu kesatuan yang homogen. Campuran tersebut akan mengeras seperti batuan. Pengerasan terjadi karena peristiwa reaksi kimia antara semen dengan air.

Beton yang banyak dipakai pada saat ini yaitu beton normal. Beton normal ialah beton yang mempunyai berat isi 2.200 – 2.500 kg/m<sup>3</sup> dengan menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah. Beton normal dengan kualitas yang baik yaitu beton yang mampu menahan kuat desak/ hancur yang diberi beban berupa tekanan dengan dipengaruhi oleh bahan-bahan pembentuk, kemudahan pengerjaan (*workability*), faktor air semen (*fas*) dan zat tambahan (*admixture*).

## 2.2 Beton Porous

Beton porous yang juga dikenal sebagai beton non-pasir, pervious concrete merupakan jenis beton yang memiliki pori-pori atau rongga pada strukturnya, sehingga memungkinkan cairan mengalir melalui rongga-rongga yang terdapat pada beton. Beton porous terdiri dari aglomerasi agregat kasar berukuran tunggal yang diselimuti dengan lapisan pasta semen tipis sekitar 1,3 mm (Neville dan Brooks, 2010).

Beton porous bukanlah suatu jenis beton yang umum dipakai dalam suatu konstruksi dikarenakan oleh sifatnya yang berongga. Menjadikan aplikasi penggunaan beton porous masih terbatas, bahkan di Indonesia sendiri masih kurang dirasakan. Dikarenakan jenis konstruksi yang biasanya diandalkan untuk penyerapan air pada jalan adalah berbentuk *paving block*. Sifat berongga yang dimiliki oleh beton porous membuat beton jenis ini memiliki kuat tekan lebih rendah dari pada jenis beton padat yang biasanya digunakan, sehingga membuat beton porous lebih cocok untuk bila digunakan untuk aplikasi yang tidak membutuhkan nilai kuat tekan yang tinggi.

## 2.3 Beton Porous Sebagai Perkerasan

Menurut ACI 522R-06 tentang Previous Concrete menyebutkan bahwa beton berpori memiliki keuntungan dan kekurangan. Keuntungan yang didapatkan dengan menggunakan beton porous sebagai perkerasan adalah:

1. Pengolahan air hujan menjadi lebih baik, beton porous sebagai material konstruksi yang multifungsi selain berfungsi sebagai komponen struktural juga berfungsi sebagai saluran drainase air masuk ke dalam tanah sehingga mampu mengurangi limpasan permukaan.
2. Membantu menambah cadangan penyimpanan air tanah, dengan air hujan yang langsung mengalir ke dalam tanah maka akan membantu tanah dalam menambah cadangan air yang biasanya tidak terjadi pada perkerasan yang tidak tembus air.
3. Mengurangi potensi banjir, penanganan air hujan membantu peresapan air lebih baik dimana lahan permukaan peresapan air ke dalam tanah menjadi lebih luas.

Kekurangan dari penggunaan beton porous yang dimiliki adalah:

1. Kurang baik digunakan untuk perkerasan yang membutuhkan kuat tekan yang besar atau lalu lintas yang padat, hal ini dikarenakan oleh nilai kuat tekan beton porous yang relatif kecil membuat aplikasi beton porous sebagai perkerasan jalan sangat terbatas.
2. Dibutuhkan waktu proses curing yang lebih lama, dimana proses curing beton porous harus dilakukan sesegera mungkin dari saat pengecoran dan baru selesai kurang lebih sekitar 7 hari.
3. Sensitif terhadap faktor air semen sehingga dibutuhkan kontrol air yang cermat karena untuk mengontrol kadar air beton porous di lapangan sangatlah sulit, terlebih pada keadaan cuaca yang panas atau terlalu dingin.

## 2.4 Komposisi Beton Porous

Seperti halnya beton normal komposisi yang digunakan untuk beton porous tidak jauh berbeda, dimana material umum yang digunakan tetaplah semen, agregat, admixture dan air. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam proses pembuatan beton porous adalah:

1. Semen Portland

Semen portland adalah jenis semen yang paling umum yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan beton, semen juga berfungsi untuk merekatkan butiran-butiran agregat, selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga antar agregat. Semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cemen* (PCC)

## 2. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil hasil desintegrasi dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara No.4 (4,75 mm) - No.1½ (37,50 mm) (SNI 03-2834-2000). Penelitian ini menggunakan agregat kasar yang berukuran lolos saringan 25 mm dan tertahan pada saringan 9,5 mm yang berasal dari batuan Clereng, Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulonprogo, D.I Yogyakarta.

## 3. Bahan Tambah (Abu Batu)

Abu batu merupakan limbah dari batu gunung yang dihancurkan menggunakan mesin stone crusher. Batu gunung yang dihancurkan menghasilkan berbagai varian ukuran yaitu 0- 5 mm disebut abu batu. Abu batu yang digunakan merupakan limbah dari penggajian batu vulkanik di sekitar Kecamatan Cangkringan dan Kecamatan Turi, Kabupaten Sleman, D.I Yogyakarta.

## 4. Air

Air berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena beton kelebihan air dapat menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri. Kelebihan air akan mengakibatkan beton mengalami bleeding, yaitu air akan naik ke permukaan beton segar yang sudah dituangkan, naiknya air bersama dengan butiran semen dan butiran pasir halus.

## 2.5 Pengujian Material Penyusun Beton Porous

### 2.5.1 Pemeriksaan saringan agregat halus (Abu Batu)

Menurut SNI (ASTM C 136-06, IDT) pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gradasi material berupa agregat halus, agregat halus yang digunakan pada penelitian ini menggunakan material abu batu. Dalam pengujian pemeriksaan analisis saringan terdapat rumus perhitungan yang digunakan sebagai berikut :

Perhitungan modulus kehalusan (MBH)

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan Kumulatif}}{100 \%} \quad (1)$$

### 2.5.2 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus (Abu Batu)

Menurut SNI 1970: 2008 Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (*Bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis semu (*Apparent*) serta penyerapan abu batu. Berat jenis dan penyerapan air abu batu dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Perhitungan berat jenis abu batu

$$\text{Berat Jenis } (S_d) = \frac{A}{B + S - C} \quad (2)$$

Perhitungan penyerapan air

$$\text{Penyerapan } (S_w) = \frac{B - A}{A} \times 100 \% \quad (3)$$

### 2.5.3 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Menurut SNI 1969: 2008 Berat jenis merupakan perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

Perhitungan berat jenis agregat kasar

$$\text{Berat jenis } (S_d) = \quad (4)$$

Perhitungan penyerapan air (Sw)

$$\text{Penyerapan air } (S_w) = \left[ \frac{B - A}{A} \right] \times 100\% \quad (5)$$

### 2.5.4 Pemeriksaan uji keausan agregat

Uji keausan agregat menggunakan mesin abrasi *Los Angeles*. Tujuan dari pemeriksaan berat jenis batu alami ini adalah untuk menentukan keausan agregat kasar. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

Perhitungan uji keausan

$$\text{Uji Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100 \quad (6)$$

## 2.6 Pengujian Benda Uji Beton Porous

### 2.6.1 Pengujian densitas beton porous

Menurut SNI 1973:2016 Metode uji densitas, volume produksi campuran, dan kadar udara (gravimetrik) beton, Metode uji ini menetapkan cara untuk menentukan densitas campuran beton segar dan memberikan beberapa persamaan untuk menghitung volume produksi campuran, kadar semen, dan kadar udara dalam beton. Menurut ACI 522R-10, berat satuan yang dihasilkan beton porous juga bervariasi berkisar antara 105 hingga 120 lb/ft<sup>3</sup> atau 1.680 – 1.920 kg/m<sup>3</sup>.

Perhitungan densitas beton porous:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} \quad (7)$$

### 2.6.2 Pengujian Infiltrasi beton porous

Infiltrasi adalah proses meresapnya air atau proses meresapnya air dari permukaan tanah melalui pori-pori tanah. Atau juga dapat diartikan sebagai Proses masuknya air dari atas (surface) ke dalam tanah. Menurut Nassiri (2017), nilai infiltrasi beton porous yang dihasilkan antara 300 hingga 2.000 in/jam atau 0,22 – 1,22 cm/ detik. Semakin banyak jumlah rongga maka semakin besar pula nilai laju infiltrasinya, sebaliknya semakin sedikit jumlah rongganya maka semakin kecil pula nilai laju infiltrasinya.

Perhitungan infiltrasi beton porous:

$$I = \frac{4V}{D^2 \pi t} \quad (8)$$

### 2.6.3 Pengujian Permeabilitas beton porous

Permeabilitas merupakan kemampuan pori-pori beton ringan dilalui oleh air. Pasta semen yang telah mengeras tersusun atas banyak partikel, dihubungkan antar permukaan yang jumlahnya relatif lebih kecil dari total permukaan partikel yang ada. Air memiliki viskositas yang tinggi namun demikian dapat bergerak dan merupakan bagian dari aliran yang terjadi (Neville, 2010). Menurut ACI 552R-10 (2010) menyatakan bahwa nilai permeabilitas pada beton porous yang diperoleh berkisar antara 0.14-0.22 cm/detik.

Berdasarkan dari Mekanika Tanah I oleh Hary Christady Hardiyatmo (2002) dengan Metode Falling Head didapat persamaan sebagai berikut:

$$K = 2,303 \cdot \frac{aL}{A\Delta t} \ln \frac{h_0}{h_1} \quad (9)$$

### 2.6.4 Pengujian porositas beton porous

Porositas atau pori merupakan ruang di dalam batuan, yang dapat terisi oleh fluida, seperti udara, air tawar/asin, minyak atau gas bumi. Porositas pada beton merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi

kekuatan beton. Hal ini karena porositas merupakan variabel utama untuk menentukan besarnya cadangan fluida yang terdapat dalam suatu massa batuan.

Adapun rumus yang digunakan menghitung nilai porositas berdasarkan ASTM C 642-06 dalam (Sultan, Imran, & Litolily, 2018) sebagai berikut:

$$P = \frac{B-C}{B-A} \times 100 \% \quad (10)$$

### 2.6.5 Pengujian kuat tekan beton porous

Kuat tekan beban beton merupakan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Beton porous memiliki kuat tekan berkisar antara 2,8 – 28 MPa menurut ACI 522R-10. Perbandingan dari air semen merupakan faktor utama dalam menentukan kekuatan beton. Semakin rendah perbandingan air semen, semakin tinggi kekuatan desaknya.

Nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (11)$$

## 3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Metode Eksperimental yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan suatu percobaan secara langsung. Persyaratan standar mengenai mutu beton porous belum ada di SNI, untuk mencari bahan referensi tentang beton porous menggunakan ACI 522R-10. Penelitian ini menggunakan variabel tetap pada berat agregat kasar, penggunaan faktor air semen (fas) yaitu 0,4 dari berat semen dan menggunakan bahan tambah abu batu sebanyak 100% dari berat semen. Uji tekan dilakukan pada umur 28 hari serta uji infiltrasi dan permeabilitas pada umur 14 hari. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purworejo.

Tahapan penelitian dibagi dalam beberapa langkah yang dapat dilihat di bawah ini.

1. Tahap I Persiapan  
Dilakukan studi terkait beton porous serta melakukan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Tahap II Pengujian material penyusun  
Tahap ini dilakukan pengujian terhadap material penyusun beton porous yaitu bahan tambah abu batu dan agregat kasar. Pengujian tersebut meliputi analisis saringan abu batu, berat jenis dan penyerapan air abu batu dan agregat kasar serta pengujian keausan agregat kasar.
3. Tahap III Perencanaan campuran beton (*mix design*)  
Tahap ini dilakukan perencanaan campuran atau *mix design* beton porous sesuai dengan variasi yang direncanakan.
4. Tahap IV Pembuatan benda uji  
Pembuatan benda uji dilakukan sesuai dengan perencanaan campuran yang telah direncanakan.
5. Tahap V Perawatan benda uji  
Tahap ini dilakukan setelah benda uji telah dibuat maka dilakukan perawatan benda uji dengan metode *dry curing* untuk benda uji infiltrasi dan permeabilitas selama 14 hari dan dengan metode *water curing* untuk benda uji kuat tekan selama 28 hari.
6. Tahap VI Pengujian benda uji  
Dilakukan pengujian infiltrasi dan permeabilitas pada umur benda uji 14 hari, pengujian kuat tekan pada umur benda uji 28 hari serta pengujian densitas ketika beton masih segar dalam cetakan dan pengujian porositas dilakukan pada umur 21 hari.
7. Tahap VII Pengolahan data hasil pengujian

Dilakukan pengolahan data hasil pengujian kuat tekan, infiltrasi, permeabilitas, densitas dan porositas yang telah dilakukan.

8. Tahap VII Kesimpulan

Dilakukan pembuatan kesimpulan berdasarkan data yang telah dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian.

**4. Hasil Penelitian**

**4.1 Hasil Pengujian Material Penyusun Beton**

Berikut hasil pengujian material penyusun beton porous yang terdiri dari agregat kasar dan bahan tambah abu batu.

**Tabel 1.** Hasil pengujian material penyusun beton

NO	Pengujian	Hasil Pengujian	Persyaratan
1	Modulus Halus Butir (MHB) Abu Batu	2,13	-
2	Berat jenis Abu Batu	2,74	-
3	Penyerapan Air Abu Batu	9,11	-
4	Berat jenis agregat kasar	2,69	2,5 - 2,7
5	Penyerapan air agregat kasar	1,83	
6	Keausan agregat kasar	26,26%	< 40 %

*Sumber: Hasil pengujian*

Didapat hasil bahwa material yang akan digunakan dalam pembuatan beton porous memenuhi syarat yang telah dianjurkan, untuk material abu batu tidak ada persyaratan atau batas tertentu dalam penggunaannya.

**4.2 Hasil Pengujian Benda Uji Beton Porous**

Beton porous mendapatkan 2 (dua) metode perawatan yaitu water curing dan dry curing. Perawatan beton dengan metode water curing dilakukan pada benda uji berbentuk silinder yang direndam di dalam air hingga menutupi seluruh permukaan beton selama 28 hari, yang selanjutnya akan dilakukan pengujian kuat tekan. Perawatan beton dengan metode dry curing dilakukan pada benda uji pvc atau benda uji pengujian sifat hidraulik beton, perawatan dilakukan dengan di angin anginkan di dalam ruangan yang bersih serta tidak terkena cahaya matahari secara langsung. Pengujian beton porous meliputi pengujian Densitas, Infiltrasi, Permeabilitas, Porositas dan Kuat tekan beton porous.

**4.2.1 Pengujian Densitas Beton Porous**

Hasil pengujian densitas beton porous yang dilakukan dengan perbandingan berat beton segar dengan volume silinder beton, maka didapat hasil pada Tabel 2 dan Gambar 1 grafik hasil pengujian.

**Tabel 2.** Hasil densitas beton porous

Variasi Perbandingan	Densitas Tanpa Abu Batu (TTA) D (kg/ m <sup>3</sup> )	Densitas Dengan Abu Batu (TDA) D (kg/ m <sup>3</sup> )	Persentase Kenaikan (%)
1: 3	1.902,88	1.957,96	2,89

Variasi Perbandingan	Densitas Tanpa Abu Batu (TTA) D (kg/ m <sup>3</sup> )	Densitas Dengan Abu Batu (TDA) D (kg/ m <sup>3</sup> )	Persentase Kenaikan (%)
1: 4	1.895,71	1.916,08	1,07
1: 5	1.842,52	1.890,05	2,58
1: 6	1.783,67	1.776,88	0,38
1: 7	1.748,96	1.757,26	0,47
<b>Rata - rata</b>			<b>1,48</b>

Sumber: Hasil pengujian

Dari Tabel 1 didapat persentase kenaikan hasil pengujian densitas dengan kenaikan terkecil pada variasi perbandingan 1:6 sebesar 0,38% dan persentase dengan kenaikan terbesar pada variasi perbandingan 1:3 sebesar 2,89% dengan rata-rata persentase kenaikan sebesar 1,48 %. Menurut ACI 522R-10, berat satuan yang dihasilkan beton porous juga bervariasi berkisar antara 105 hingga 120 lb/ft<sup>3</sup> atau 1.680 – 1.920 kg/m<sup>3</sup>. Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa variasi TDA 3 tidak masuk dalam standar yang telah ditetapkan oleh ACI 522R-10, karena nilai densitas yang didapat pada variasi TDA 3 sebesar 1.957,96 kg/ m<sup>3</sup>.

#### 4.2.2 Pengujian Infiltrasi Beton Porous

Pengujian infiltrasi dilakukan setelah melewati proses perawatan benda uji selama 14 hari. Hasil pengujian infiltrasi campuran dengan abu batu dan tanpa abu batu dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil pengujian infiltrasi beton porous

Variasi Perbandingan	Infiltrasi Tanpa abu batu (PTA) (cm/ detik)	Infiltrasi Dengan abu batu (PDA) (cm/ detik)	Persentase Penurunan (%)
1: 3	0,42	0,40	4,07
1: 4	0,45	0,43	3,47
1: 5	0,47	0,46	2,18
1: 6	0,52	0,51	1,87
1: 7	0,57	0,56	1,61
<b>Rata-rata</b>			<b>2,64</b>

Sumber: Hasil pengujian

Dari Tabel 3 didapat persentase penurunan hasil pengujian infiltrasi dengan nilai terkecil pada variasi 1:7 sebesar 1,61% dan persentase penurunan terbesar pada variasi 1:3 sebesar 4,07%, dengan rata-rata penurunan sebesar 2,64%. Kondisi tersebut terjadi karena semakin kecil variasi campuran maka jumlah semen yang digunakan semakin banyak. Pasta semen yang semakin banyak nantinya dapat menutup pori-pori pada beton porous. Penambahan abu batu juga mempengaruhi laju infiltrasi menjadi lebih kecil dibandingkan tanpa penambahan abu batu.

#### 4.2.2 Pengujian Permeabilitas Beton Porous

Pengujian permeabilitas diambil pada hari ke 14 dengan menggunakan metode *falling head permeability*.

Hasil pengujian permeabilitas beton porous campuran dengan abu batu dan tanpa abu batu dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini.

**Tabel 4.** Hasil pengujian permeabilitas beton porous variasi tanpa abu batu

Variasi Perbandingan	Permeabilitas Dengan abu batu (PDA)	Permeabilitas Tanpa abu batu (PTA)	Persentase Penurunan
	(cm/ detik)	(cm/ detik)	(%)
1: 3	1,96	3,39	42,14
1: 4	2,84	4,37	35,11
1: 5	3,00	4,48	33,03
1: 6	3,20	4,53	29,40
1: 7	3,77	5,01	24,77
	<b>Rata-rata</b>		<b>32,89</b>

Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4 didapat persentase kenaikan hasil pengujian densitas dengan kenaikan terkecil pada variasi perbandingan 1:6 sebesar 0,38% dan persentase dengan kenaikan terbesar pada variasi perbandingan 1:3 sebesar 2,89% dengan rata-rata persentase kenaikan sebesar 1,48 %. dapat dilihat bahwa semakin besar perbandingan berat semen dan agregat maka nilai densitas semakin turun. Variasi perbandingan yang sama, nilai densitas variasi TDA lebih besar dari variasi TTA hal ini dikarenakan adanya penambahan abu batu sebagai filler sehingga berpengaruh pada nilai densitasnya.

Menurut ACI 522R-10, berat satuan yang dihasilkan beton porous juga bervariasi berkisar antara 105 hingga 120 lb/ft<sup>3</sup> atau 1.680 – 1.920 kg/m<sup>3</sup>. Pada Gambar 26 dapat dilihat bahwa variasi TDA 3 tidak masuk dalam standar yang telah ditetapkan oleh ACI 522R-10, karena nilai densitas yang didapat pada variasi TDA 3 sebesar 1.957,96 kg/ m<sup>3</sup>.

#### 4.2.3 Pengujian Porositas Beton Porous

Pengujian ini dilakukan ketika umur beton pada 21 hari perawatan *water curing*, benda uji diangin anginkan beberapa saat untuk mendapatkan hasil SSD untuk dilakukan penimbangan. Setelah itu benda uji dilanjutkan perawatan *dry curing* selama 7 hari hingga beton berumur 28 hari, setelah itu dapat ditimbang untuk kondisi beton kering. Hasil pengujian porositas dapat dilihat pada Tabel 5.

Dari Tabel 5 didapat persentase penurunan hasil pengujian porositas dengan nilai porositas terendah pada variasi perbandingan 1:6 sebesar 4,97%, sedangkan nilai porositas tertinggi terdapat pada variasi perbandingan 1:7 sebesar 15,59% dengan rata-rata persentase nilai porositas sebesar 9,05 %. Semakin besar variasi perbandingan berat semen dengan berat agregat maka nilai porositasnya akan semakin meningkat. Selain itu dengan variasi perbandingan yang sama nilai porositas variasi TTA lebih besar daripada variasi TDA, sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan abu batu sebagai bahan pengisi (*filler*) mengakibatkan tertutupnya pori-pori dari beton porous. Hal ini juga mengakibatkan proses pengeringan beton potous yang memakan waktu lebih lama daripada variasi TTA.

**Tabel 5.** Hasil pengujian porositas beton porous

Variasi Perbandingan	Porositas Dengan Abu Batu (TDA) (%)	Porositas Tanpa Abu Batu (TTA) (%)	Persentase Kenaikan (%)
1: 3	3,28	3,51	7,06
1: 4	3,48	3,70	6,39
1: 5	3,89	4,33	11,24
1: 6	4,19	4,40	4,97
1: 7	4,36	5,04	15,59
<b>Rata-rata</b>			<b>9,05</b>

Sumber: Hasil pengujian

#### 4.2.4 Pengujian Kuat Tekan Beton Porous

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan mesin uji kuat tekan atau *Universal Testing Machine* (UTM). Pengujian kuat tekan dilaksanakan setelah benda uji silinder (diameter 150 mm, dan tinggi 300 mm) diberi perawatan dalam air dan telah berumur 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil pengujian kuat tekan beton porous

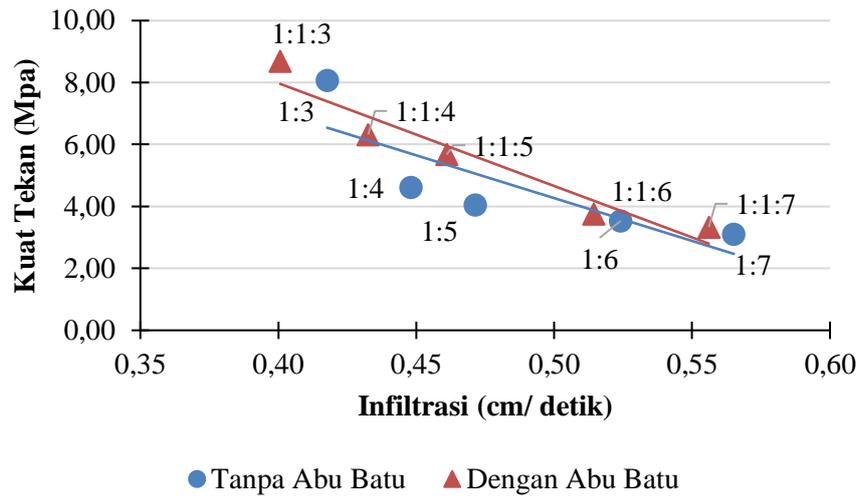
Variasi Perbandingan	Kuat Tekan Tanpa abu batu (TTA) (MPa)	Kuat Tekan Dengan abu batu (TDA) (MPa)	Persentase Kenaikan (%)
1: 3	8,07	8,70	7,81
1: 4	4,61	6,32	37,12
1: 5	4,05	5,67	39,95
1: 6	3,53	3,77	6,55
1: 7	3,11	3,33	7,22
<b>Rata-rata</b>			<b>18,90</b>

Sumber: Hasil pengujian

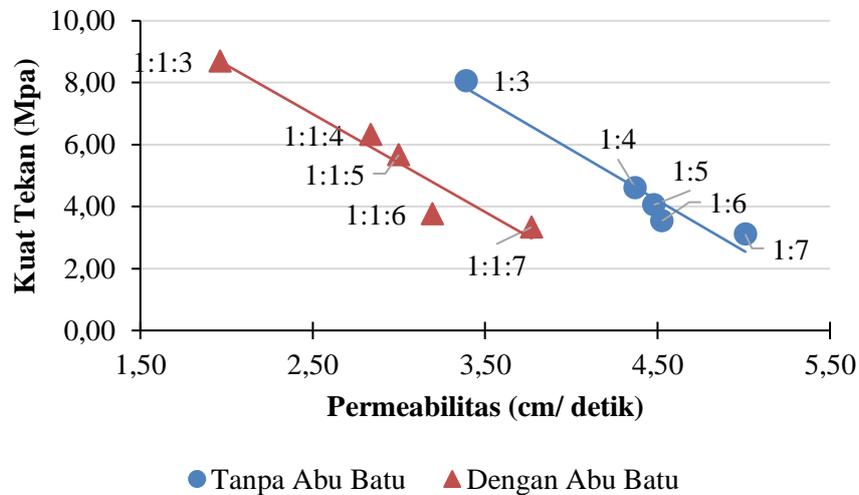
Dari Tabel 6 didapat persentase kenaikan hasil pengujian kuat tekan dengan peningkatan terkecil pada variasi 1:6 sebesar 6,55 % dan persentase kenaikan terbesar pada variasi 1:5 sebesar 39,95 % dengan rata-rata persentase kenaikan sebesar 18,90 %. Hasil pengujian kuat tekan beton porous dengan tambahan abu batu lebih unggul dari campuran beton porous tanpa menggunakan abu batu. Hal tersebut dapat terjadi karena campuran beton porous tanpa abu batu tidak ada bahan tambah pengisi (*filler*).

#### 4.3 Grafik Hubungan Hasil Penelitian

Dalam penelitian beton porous dengan penambahan abu batu sebagai pengisi (*filler*) ini pengujian yang dilakukan antara lain pengujian kuat tekan, infiltrasi, permeabilitas, densitas dan porositas. Setiap pengujian tentunya saling memiliki hubungan satu dengan yang lainnya.

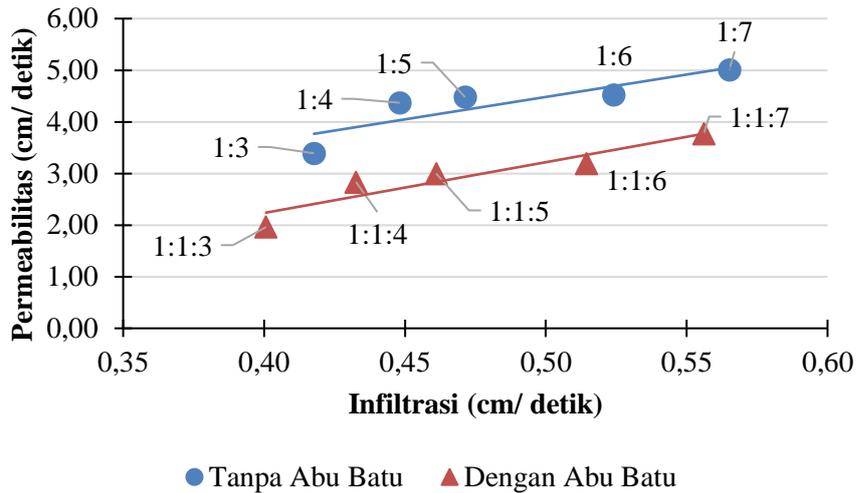


**Gambar 1.** Grafik hubungan kuat tekan dengan infiltrasi



**Gambar 2.** Grafik gubungan kuat tekan dengan permeabilitas

Dari Gambar 1 dapat dilihat grafik hubungan kuat tekan dengan infiltrasi dan Gambar 2 grafik hubungan kuat tekan dengan permeabilitas menghasilkan grafik yang berbanding terbalik. Hal ini dapat dilihat dengan semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin rendah nilai infiltrasi, permeabilitas dan porositas. Nilai kuat tekan yang tinggi didapat ketika perbandingan berat agregat kasar dengan semen kecil. Semen yang digunakan lebih banyak sehingga ikatan antar agregat lebih kuat.



**Gambar 3.** Grafik hubungan infiltrasi dengan permeabilitas

Dari gambar 3 dapat dilihat grafik hubungan infiltrasi dengan permeabilitas yang menghasilkan grafik yang berbanding lurus. Pengujian infiltrasi dan permeabilitas pada dasarnya memiliki prinsip pengujian yang sama yaitu mengetahui kecepatan beton porous dalam mengalirkan air. Hal yang dapat mempengaruhi kecepatan aliran air adalah rongga-rongga pada beton porous tersebut.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian beton porous dengan bahan tambah abu batu sebagai bahan pengisi (*filler*) serta menggunakan agregat kasar yang berasal dari Clereng, didapat kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai uji kuat tekan beton porous campuran tanpa abu batu dengan nilai tertinggi pada variasi 1 : 3 dengan nilai 8,07 MPa. Nilai permeabilitas benda uji memiliki nilai tertinggi pada variasi 1 : 7 sebesar 5,01 cm/ detik dan nilai infiltrasi benda uji dengan nilai tertinggi terdapat pada variasi 1 : 7 sebesar 0,57 cm/ detik. Hasil pengujian untuk campuran dengan abu batu dengan nilai tertinggi pada variasi 1 : 3 dengan nilai 8,70 MPa. Nilai permeabilitas memiliki nilai tertinggi pada variasi 1 : 7 sebesar 3,77 cm/ detik dan nilai infiltrasi benda uji dengan nilai tertinggi terdapat pada variasi 1 : 7 sebesar 0,56 cm/ detik.
2. Pengaruh penambahan bahan tambah abu batu yang berperan sebagai pengisi (*filler*) dapat meningkatkan kuat tekan beton porous dengan rata-rata kenaikannya sebesar 18,90 %. Penambahan bahan tambah abu batu mengakibatkan pori-pori beton porous sehingga nilai infiltrasi dan permeabilitas menurun. Persentase penurunan infiltrasi sebesar 2,64% dan nilai penurunan permeabilitas sebesar 32,89%.
3. Nilai kuat tekan semakin meningkat ketika perbandingan berat agregat dengan semen semakin kecil, sedangkan nilai infiltrasi, permeabilitas dan porositas meningkat seiring dengan semakin besarnya perbandingan berat agregat dengan semen yang digunakan.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat penulis sampaikan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut terhadap beton porous adalah sebagai berikut.

1. Penelitian beton porous menggunakan agregat seragam yang lebih kecil dengan memperbanyak variasi penambahan abu batu di bawah 50% dari berat semen untuk meningkatkan nilai kuat tekan, infiltrasi dan permeabilitas.

2. Penelitian lebih lanjut mengenai variasi umur pengujian kuat tekan dan porositas serta variasi jumlah tumbukan ketika memasukan campuran kedalam cetakan untuk menghasilkan nilai kuat tekan, infiltrasi dan permeabilitas yang optimum.
3. Dikarenakan penuangan air saat pengujian infiltrasi masih manual maka diperlukan inovasi alat uji untuk pengujian infiltrasi supaya saat penuangan air menjadi konstan.
4. 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

- Handayani, F., 2019. Manfaat Limbah Abu Batu Sebagai Tambahan Material Bahan Bangunan. *Kisaran, Seminar Nasional Tahunan VI Program Studi Magister Teknik Sipil ULM*, Isbn 978-623-7533-03-0, 59-68.
- NRMCA, 2004. CIP-38 *Pervious Concrete*, NRMCA (National Ready Mixed Concrete Association). [Online] Available at: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/38p.pdf>
- Neville, A. A. (2010). *Concrete Technology*. London: Pearson Education Ltd
- 522r-10, Aci. (2011). *Pervious Concrete*. Isbn 978-0-87031-364-6.
- ACI 214r-11. (2011). *Guide To Evaluation Of*. Isbn 978-0-87031-423-0.
- SNI 03-2834-2000. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1969:2008. (2008). *Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*.
- SNI 1970 : 2008. (2008). *Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI ASTM C136:2012. (2012). *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar ( Astm C 136-06, Idt)*.
- SNI 2417:2008. (2008). *Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Badan Standarisasi Nasional.