

PENGARUH UKURAN AGREGAT TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS *PAVING BLOCK* POROUS

¹Candra Irawan*, ²Yoga Tegar Ardi Debi, ³Rachmat Mudiyo, ⁴Henny Pratiwi Adi

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

⁴Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

*Corresponding Author:

candairawan02@std.unissula.ac.id

yogategar2511@gmail.com

Abstrak

Musim penghujan dapat menyebabkan genangan air pada permukaan jalan. Genangan air terbentuk karena berkurangnya daerah resapan air akibat penggunaan perkerasan yang kedap air. Genangan air dapat merusak lapisan perkerasan. Peneliti melakukan penelitian mengenai paving block porous untuk mengatasi permasalahan tersebut. Paving block porous dibuat agar perkerasan jalan memiliki kuat tekan dan permeabilitas yang sama-sama tinggi, pada penelitian ini peneliti menganalisa pengaruh ukuran agregat kasar terhadap kuat tekan dan permeabilitas paving block porous.

Penelitian ini membuat benda uji dengan komposisi untuk paving block menggunakan semen, pasir dan abu batu dengan perbandingan 1:1,5:1,5. Benda uji yang dibuat berbentuk segi enam dengan panjang sisi 11,5 cm dan tebal 6 cm, pada bagian tengah benda uji diberi ruang berbentuk silinder dengan diameter 2 inch untuk diisi menggunakan beton porous. Beton porous yang dibuat menggunakan 4 variasi ukuran agregat kasar, variasi 1 dengan agregat kasar lolos saringan $\frac{1}{2}$ inci tertahan saringan $\frac{1}{4}$ inci; variasi 2 dengan agregat kasar lolos saringan $\frac{3}{4}$ inci tertahan saringan $\frac{1}{2}$ inci; variasi 3 dengan agregat kasar lolos saringan 1 inci tertahan saringan $\frac{3}{4}$ inci; variasi 4 dengan ukuran agregat campuran dari 3 variasi sebelumnya. Setelah benda uji dibuat, dilakukan perawatan tiap 3 hari sekali dengan menyirami benda uji menggunakan air. Setelah benda uji berumur 7 hari dilakukan pengujian kuat tekan dan uji permeabilitas untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan ukuran agregat.

Hasil penelitian ini didapatkan kuat tekan tertinggi pada variasi 4 dengan nilai 22,94 MPa. Ukuran agregat yang digunakan pada variasi ini memungkinkan rongga udara pada benda uji menjadi lebih kecil sehingga meningkatkan kuat tekannya. Nilai permeabilitas minimal yang ditetapkan ACI 522R-10 adalah 0,22 cm/s dengan nilai maksimal adalah 1,22 cm/s. Pada pengujian permeabilitas hanya variasi 3 dan 4 yang memenuhi syarat minimum dari ACI 522R-10 dengan nilai 0,23 cm/s dan 0,24 cm/s

Kata Kunci: paving blok; porous; kuat tekan; permeabilitas; agregat

Abstract

The rainy season can cause waterlogging on the road surface. Waterlogging is formed due to reduced water catchment areas due to the use of impermeable pavements. Waterlogging can damage pavement coating. Researchers conducted research on porous paving blocks to overcome these problems. Porous paving blocks are made so that the road pavement has the same high compressive strength and permeability. In this study, researchers analyzed the effect of aggregate size on the compressive strength and permeability of porous paving blocks.

This research made sample with compositions for paving blocks using cement, sand and stone ash with a ratio of 1:1,5:1,5. The sample shaped hexagonal with length 11,5 cm each side and 6 cm of thickness, in the middle of sample is formed a cylindrical chamber to be filled with porous concrete. Porous concrete made using 4 variation of coarse aggregate size, variation 1 with coarse aggregate passed through a 1/2 inch sieve retained by 1/4 inch sieve; variation 2 with coarse aggregate passed 3/4 inch sieve retained 1/2 inch; variation 3 with coarse aggregate passed 1 inch sieve retained by 3/4 inch; variations 4 with mixed aggregate sizes from previous variations. After the sample is made, it is treated with watering each 3 days. After the sample aged 7 days, the compressive strength and permeability tests are carried out to determine the effect of using aggregate sizes.

The results of this study obtained the highest compressive strength in variation 4 with a value 22,94 MPa. The aggregate size used in this variation allows the air cavity in the specimen to be smaller thereby increasing its compressive strength. Minimum requirements of permeability test that set by ACI 522R-10 is 0,22 cm/s and maximum value is 1,22 cm/s. In permeability test result only variations 3 and 4 met the minimum requirements of ACI 522R-10 with a value 0,23 cm/s and 0,24 cm/s.

Keywords: paving block; porous; compressive strength; permeability; aggregate

1. PENDAHULUAN

Jalan pada umumnya dibangun dari perkerasan kaku dan perkerasan lentur dengan sifat kedap terhadap air. Semakin besar luas daerah yang ditutupi oleh perkerasan jalan pada daerah padat permukiman maupun daerah perkotaan dapat mengurangi resapan air yang mengakibatkan terjadinya genangan air atau banjir (Adilah, 2020). Banjir dapat terjadi karena rendahnya kemampuan tanah di suatu kawasan guna menyerap air dan minimnya kapasitas saluran air untuk memobilisasikan limpasan air (Ulfiana dkk, 2022).

Munculnya masalah tersebut memerlukan solusi untuk pembangunan infrastruktur yang lebih ramah lingkungan. Saat ini telah ada suatu inovasi perkerasan yang mampu menyerap air atau biasa disebut permeable pavement. Salah satu jenisnya yaitu beton pori atau beton porous (pervious concrete). Permeable pavement merupakan suatu teknologi dengan tujuan guna mengatasi masalah bencana air dengan memungkinkan infiltrasi air hujan melalui permukaan yang keras dengan menyimpan air hujan sementara (Kazemi & Hill, 2015). Beton porous memiliki kemampuan mengalirkan air ke tanah karena memiliki rongga udara yang lebih banyak daripada beton konvensional yang ada saat ini. Adanya rongga udara tersebut memungkinkan air yang melewati permukaan perkerasan untuk dapat mengalir ke dalam tanah.

Dengan kelebihanannya dalam menyerap dan mengalirkan air ke dalam tanah, beton porous memiliki kelemahan pada nilai kuat tekan yang lebih rendah karena adanya rongga-rongga udara akibat pengurangan penggunaan agregat halus, oleh karena itu penggunaannya masih terbatas pada lalu lintas kepadatan rendah semacam lahan parkir, trotoar, jalan kecil, jalan dengan volume rendah dan lain-lain (Khonado dkk, 2019) Rongga udara yang terdapat pada beton porous dapat berkurang jika pasta semen terlalu basah, hal ini mengakibatkan menurunnya nilai permeabilitas yang dimilikinya. Sedangkan, jika pasta semen terlalu kering akan mempersulit proses pengerjaannya. Maka dari itu, dalam pembuatan beton porous harus memperhatikan penggunaan air semen atau faktor air semen. (Aulia, 2018)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Khonando dkk, 2019, didapatkan kesimpulan bahwasannya semakin besar ukuran agregat yang digunakan dalam beton porous dapat meningkatkan kuat tekannya. Pada penelitiannya didapatkan hasil kuat tekan optimum 15.517 MPa pada benda uji yang menggunakan 55 % agregat yang lolos saringan ½ inch tertahan 3/8 inch dan 45% agregat lolos saringan ¾ inch tertahan ½ inch. Kemudian pada penelitian yang dilakukan Maulia, dkk, 2019 yang menggabungkan beton porous dengan paving block konvensional didapatkan hasil kuat tekan 20,80 MPa dan laju infiltrasi 2,78 mm/s yang dimiliki pada sampel dengan variasi diameter 2 inch dan 2 ½ inch.

Penelitian yang akan dilakukan bertujuan untuk menganalisa kuat tekan dan permeabilitas dari paving block porous yang dibuat dari penggabungan paving block konvensional dan beton porous. Mengacu pada penelitian sebelumnya, yaitu sudah dihasilkan paving block porous dengan kuat tekan sebesar 20.80 MPa dan nilai permeabilitas 2,78 mm/s yang dimiliki pada sampel dengan variasi diameter beton porous sebesar 2 inch. Maka dari itu peneliti bermaksud untuk mendapatkan kuat tekan dan permeabilitas lebih besar dibandingkan penelitian sebelumnya, karena penelitian sebelumnya memiliki hasil yang kurang memuaskan jika dipakai untuk lapis perkerasan bebas genangan air.

2. METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Penelitian ini dilakukan sebagai bentuk inovasi perkerasan di bidang *permeable pavement* dengan menambahkan beton pori pada paving blok. Benda uji dalam penelitian ini adalah paving blok dengan bentuk segi enam dengan panjang tiap sisi 11.5 cm dan tinggi 6 cm, pada bagian tengah paving blok diberi beton porous dengan diameter 2 inch. Pengujian pada benda uji adalah uji kuat tekan dan uji permeabilitas pada paving blok yang telah berumur 7 – 14 hari. Pada tabel 1. dapat dilihat jumlah benda uji.

Tabel 1. Jumlah Benda Uji

No.	Ukuran Agregat Kasar	Jumlah Sampel Benda Uji	
		Kuat Tekan	Permeabilitas
1	Lolos saringan 1/2 tertahan 1/4 Inchi	3	3
2	Lolos saringan 3/4 tertahan 1/2 Inchi	3	3
3	Lolos saringan 1 tertahan 3/4 Inchi	3	3
4	Agregat <i>mix</i> lolos saringan 1 tertahan 1/4 Inchi	3	3

Tahapan - Tahapan

Agar penelitian dilakukan dengan hasil yang maksimal dan baik, maka diperlukan tahapan - tahapan penelitian yang teratur. Tahap pertama yaitu mempersiapkan alat dan bahan, tahap kedua yaitu melakukan pemeriksaan bahan, tahap ketiga yaitu pencampuran dan pembuatan benda uji, tahap keempat yaitu melakukan pengujian benda uji, dan tahap kelima yaitu tahap analisa dan pembahasan.

Pembuatan Benda Uji

Pertama adalah pembuatan paving blok. Siapkan alat dan bahan yang diperlukan kemudian campurkan semen, abu batu dan pasir dengan perbandingan 1 : 1,5 : 1,5. Tambahkan 400 ml air ke dalam bahan campuran dan bahan *additive SikaCim* seperlunya sesuai anjuran pemak Letakkan pipa *PVC* di tengah cetakan.



Gambar 1. Pencampuran Bahan

Setelah adonan siap, tuang ke dalam cetakan mengelilingi pipa *PVC*, kemudian adonan ditumbuk dengan alat penumbuk agar memadat. Angkat cetakan dan tempatkan benda uji ke tempat yang aman.



Gambar 2. Pencetakan *Paving Block*

Berikutnya adalah pembuatan beton porous. Siapkan bahan-bahan yang diperlukan, yaitu semen *portland*, agregat kasar dan air. Campur agregat kasar dan semen *portland* dengan perbandingan 3:1 dengan 100 ml air. Masukkan beton porous ke dalam lubang tengah *paving block* hingga penuh dan padat. Pastikan permukaan dari beton porous sama rata dengan *paving block*. Biarkan mengering selama 24 jam, setelah itu dilaksanakan perawatan benda uji atau curing.



Gambar 3. Pembuatan Benda Uji

Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilaksanakan setelah benda uji berusia 24 jam setelah pembuatan. Lakukan penyiraman benda uji menggunakan air bersih tiap 3 hari sekali untuk menjaga kelembaban. Hal ini bertujuan agar proses reaksi kimia pada semen dapat berjalan secara maksimal.

Pemotongan Benda Uji

Setelah benda uji melewati masa perawatan maka tahap selanjutnya adalah pengujian kuat tekan. Benda uji dipersiapkan terlebih dahulu dengan memotong benda uji menggunakan ukuran 60 mm x 60 mm x 60 mm mengacu pada SNI 03-0691-1996.

Pengujian Benda Uji

Pengujian yang dilaksanakan dalam penelitian ini yaitu uji kuat tekan dan uji permeabilitas pada benda uji yang telah dibuat.

a. Uji Kuat Tekan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan benda uji dalam menahan beban yang bekerja dari atas. Metode pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 03-0691-1996. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung. Langkah-langkah pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

1. Siapkan benda uji, yaitu *paving block* dan beton porous yang telah dipotong berbentuk kubus dengan dimensi 60 x 60 x 60 mm.
2. Letakkan benda uji pada mesin uji kuat tekan.
3. Pengujian kuat tekan dimulai dan hasil kuat tekan bisa dilihat pada layar mesin uji kuat tekan.
4. Catat dan dokumentasi hasil pengujian tiap benda uji.



Gambar 4. Proses Pengujian Kuat Tekan

Umur beton yang memiliki kemampuan kuat desak maksimal adalah 28 hari dalam pengujian kuat tekan. Umur *paving block* penelitian ini saat di uji kuat tekan adalah 7 hari (Variasi 1-3) dan 3 hari (Variasi 4), begitu juga untuk umur beton porous saat di uji kuat tekan adalah 7 hari untuk semua Variasi. Untuk mendapatkan hasil sesuai dengan

umur 28 hari maka peneliti melakukan konversi umur pada hasil uji kuat tekan tersebut menjadi 28 hari. Yang dibutuhkan dari penelitian ini hanya 1 nilai kuat tekan dari masing-masing variasi, sedangkan uji kuat tekan terdapat di 2 benda uji yang berbeda yaitu *paving block* dan beton porous. Untuk mendapatkan 1 nilai kuat tekan maka hasil kuat tekan dari *paving block* dan beton porous dihitung dengan perbandingan presentase setiap benda uji dari total volume *paving block* porous.

b. Uji Permeabilitas

Pengujian permeabilitas digunakan untuk mengetahui kecepatan cairan dalam melewati/menembus benda uji. Pengujian ini mengacu pada ACI 522R-10 dengan menggunakan prinsip *falling head*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya dengan alat sederhana yang dimodifikasi untuk mengetahui kecepatan air dalam melewati/menembus lapisan benda uji.



Gambar 5. Proses Pengujian Permeabilitas

Metode Analisis Data

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui cara pembuatan paving blok porous dan mengetahui kekuatan tekan dan nilai permeabilitas dari benda uji yang sudah dibuat. menggunakan data yang sudah diperoleh dari hasil penelitian serta menggunakan data sekunder sebagai acuan akan dihasilkan data kuat tekan dan permeabilitas dari benda uji. Secara umum analisa ini meliputi:

- a. Analisa kuat tekan *paving block* porous yang telah dibuat.
- b. Analisa nilai permeabilitas *paving block* porous yang telah dibuat.
- c. Analisa pengaruh ukuran agregat kasar terhadap permeabilitas *paving block* porous.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya dan Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi. Pada penelitian ini untuk mengetahui kuat tekan dan permeabilitas pada *paving block* porous dengan variasi perbedaan agregat kasar. Berdasarkan dari batasan masalah tersebut diambil untuk pengujian kuat tekan dan permeabilitas pada *paving block* porous umur 28 hari.

Uji Material

Dari pengujian yang telah dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang, maka didapat hasil data pengujian bahan - bahan sebagai berikut :

a. Kadar air dan lumpur agregat halus

Berikut merupakan hasil dari uji kadar air dan lumpur agregat halus :

Tabel 2. Uji Kadar Air

Sampel	Berat Pasir Sebelum Oven (gr)	Berat Pasir Setelah Oven (gr)	Kadar Air (%)
Pasir	500	486.2	2.76

Tabel 3. Uji Kadar Lumpur

Sampel	Berat Pasir (gr)	Volume Air (ml)	Ketinggian Sedimen Lumpur (mm)	Kadar Lumpur (%)
Pasir	500	500	3	3.75

b. Kadar air dan lumpur abu batu

Berikut merupakan hasil dari uji kadar air dan lumpur abu batu :

Tabel 4. Uji Kadar Air

Sampel	Berat Abu Batu Sebelum Oven (gr)	Berat Abu Batu Setelah Oven (gr)	Kadar Air (%)
Abu Batu	500	486.6	19,05

Tabel 5. Uji Kadar Lumpur

Sampel	Berat Abu Batu (gr)	Volume Air (ml)	Ketinggian Sedimen Lumpur (mm)	Kadar Lumpur (%)
Pasir	500	500	2,5	2,08

Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 03-0691-1996 dengan memotong benda uji *paving block* dan beton porous berbentuk kubus berukuran 6 cm x 6 cm x 6 cm. Digunakan 3 buah benda uji dari tiap Variasi untuk diuji kuat tekan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji kuat tekan, benda uji ditekan sampai benda uji retak dan hancur, kemudian hasil dari uji penekanan akan muncul pada layar monitor di samping alat uji. Dari hasil uji kuat tekan *paving block* dan beton porous kemudian dihitung ke dalam satu bentuk benda uji sehingga menghasilkan total kuat tekan dari *paving block* porous.

Pengujian benda uji paving block pada penelitian ini dilaksanakan pada saat benda uji berumur 7 hari untuk Variasi 1 – 3 dan berumur 3 hari untuk Variasi 4. Hasil uji kuat tekan paving block dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tekan Paving Block

Variasi	Nomor Benda Uji	Umur	Berat	A	f_c'
		Hari	kg	mm ²	MPa
1	1	7	0.048	3600	9,327
	2	7	0.050	3600	29,229
	3	7	0.054	3600	13,294
2	4	7	0.050	3600	15,160
	5	7	0.050	3600	13,649
	6	7	0.048	3600	13,846
3	7	7	0.046	3600	9,656
	8	7	0.056	3600	10,299
	9	7	0.050	3600	11,711
4	10	3	0.048	3600	9,721
	11	3	0.048	3600	6,306
	12	3	0.054	3600	18,247

Pengujian benda uji beton porous pada penelitian ini dilaksanakan pada saat benda uji berumur 7 hari untuk semua Variasi. Hasil uji kuat tekan paving block dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Porous

Variasi	Nomor Benda Uji	Umur	Berat	A	f_c'
		Hari	kg	mm ²	MPa
1	1	7	0.038	3600	1,932
	2	7	0.0355	3600	1,524
	3	7	0.0385	3600	1,590
2	4	7	0.037	3600	1,120
	5	7	0.034	3600	1,211
	6	7	0.037	3600	1,132
3	7	7	0.038	3600	-
	8	7	0.035	3600	-
	9	7	0.036	3600	-
4	10	7	0.035	3600	1,231
	11	7	0.0375	3600	1,210
	12	7	0.036	3600	1,476

Hasil uji kuat tekan paving block dan beton porous pada tabel 6 dan tabel 7, kemudian untuk mendapatkan hasil kuat tekan yang maksimal yaitu pada umur paving

block 28 hari, maka perlu dilakukan konversi umur. Konversi umur dilakukan dengan cara membagi hasil kuat tekan f_c' pada umur pelaksanaan uji kuat tekan dengan angka konversi umur beton pada tabel 8.

Tabel 8. Angka Konversi Umur Beton

Umur Beton (Hari)	3	7	14	21	28
Konversi Umur	0,46	0,7	0,88	0,96	1

Cara konversi umur beton menggunakan angka konversi pada tabel 2.3 dengan rumus :

Keterangan :

f_c' = Kuat tekan (MPa) N = Umur beton (Hari)

Hasil konversi umur beton saat pengujian menjadi umur 28 hari, dengan menggunakan angka konversi tabel 8 dan rumus di atas dapat dilihat pada tabel 9 dan 10.

Tabel 9. Kuat Tekan Paving Block Setelah Konversi Umur 28 Hari

Variasi	NO.	Fc'	Fc' (MPa)
1	1	Fc'	13,32429
	2	Fc'	41,75571
	3	Fc'	18,99143
2	4	Fc'	21,65714
	5	Fc'	19,49857
	6	Fc'	19,78
3	7	Fc'	13,79429
	8	Fc'	14,71286
	9	Fc'	16,73
4	10	Fc'	21,13261
	11	Fc'	13,7087
	12	Fc'	39,66739

Tabel 10. Kuat Tekan Beton Porous Setelah Konversi Umur 28 Hari

Variasi	NO.	Fc'	Fc' (MPa)
----------------	------------	------------	------------------

1	1	Fc'	2,76
	2	Fc'	2,177
	3	Fc'	2,27
2	4	Fc'	1,6
	5	Fc'	1,73
	6	Fc'	1,617
3	7	Fc'	-
	8	Fc'	-
	9	Fc'	-
4	10	Fc'	1,758
	11	Fc'	1,728
	12	Fc'	2,108

Yang dibutuhkan dari penelitian ini hanya 1 nilai kuat tekan dari setiap Variasi, sedangkan uji kuat tekan terdapat di 2 benda uji yang berbeda yaitu *paving block* dan beton porous. Untuk mendapatkan 1 nilai kuat tekan maka hasil kuat tekan dari *paving block* dan beton porous dihitung dengan perbandingan presentase setiap benda uji dari total volume *paving block* porous. Kemudian dihitung nilai kuat tekan rata – rata dari setiap Variasi.

Dengan cara perhitungan seperti berikut :

Fc' Total =

A = Fc' Paving block x N% Paving Block dari total volume

B = Fc' Beton Porous x N% Beton porous dari total volume

Fc' Total = (A+B) : 100%

Hasil perhitungan kuat tekan total dan rata-rata dari paving block porous dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 11. Total Kuat Tekan Paving Block Porous

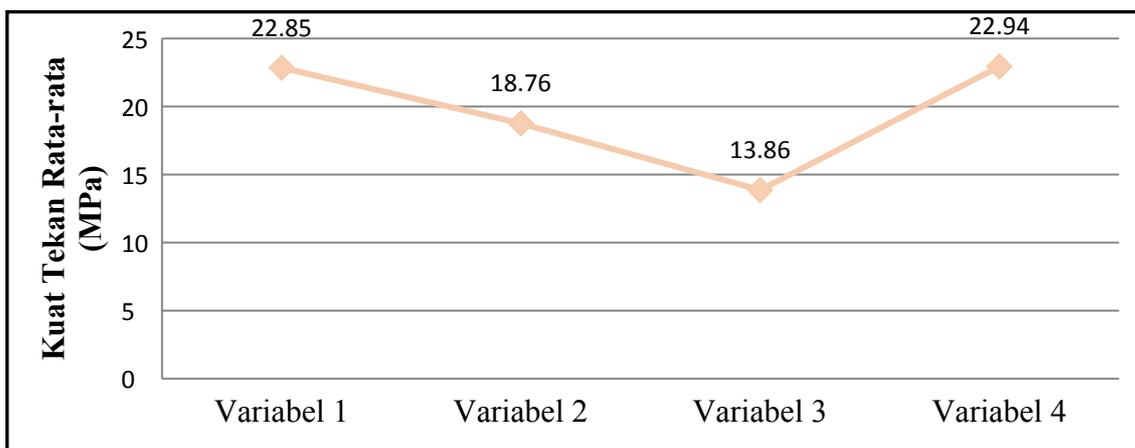
Variasi Benda Uji		<i>fc'</i> <i>Paving Block</i>	<i>fc'</i> <i>Beton Porous</i>	<i>fc'</i> <i>Total</i>	<i>fc'</i> <i>Rata - Rata</i>
		MPa	MPa	MPa	MPa
1	1.	13.324	2.76	12.45	22.85
	2.	41.755	2.177	38.49	
	3.	18.991	2.27	17.61	
2	4.	21.657	1.6	20.002	18.76
	5.	19.498	1.73	18.02	
	6.	19.780	1.617	18.28	

3	7.	13.794	-	12.656	13.86
	8.	14.712	-	13.498	
	9.	16.815	-	15.427	
4	10.	21.132	1.758	19.53	22.94
	11.	13.708	1.728	12.72	
	12.	39.667	2.108	36.57	

Keterangan :

- Variasi 1: *Paving block* porous menggunakan agregat kasar lolos saringan 1/2 inci tertahan saringan 1/4 inci.
- Variasi 2: *Paving block* porous menggunakan agregat kasar lolos saringan 3/4 inci tertahan saringan 1/2 inci.
- Variasi 3: *Paving block* porous menggunakan agregat kasar lolos saringan 1 inci tertahan saringan 3/4 inci.
- Variasi 4: *Paving block* porous menggunakan agregat kasar campuran dari 3 ukuran di atas.

Berdasarkan tabel 8 Hasil Uji Kuat Tekan paving blok porous didapatkan hasil kuat tekan rata-rata terbesar pada Variasi 4 sebesar 22,94 MPa, kemudian pada Variasi 1 dengan kuat tekan rata-rata sebesar 22,84 MPa dan Variasi 3 dengan hasil 18,76 MPa. Kuat tekan rata-rata terkecil dihasilkan pada Variasi 3 dengan hasil 13,86 MPa. Perbedaan hasil kuat tekan rata-rata bisa disebabkan karena metode pembuatan benda uji menggunakan cara manual, hal ini berakibat dengan perbedaan kepadatan yang terjadi pada *paving block* tersebut. Berdasarkan tabel 11 dapat dibuat grafik pengujian kuat tekan sesuai gambar 6.



Gambar 6. Grafik Kuat Tekan Rata-rata

Berdasarkan grafik pada gambar 6 dan tabel 11 dengan mengacu pada SNI 03-0691-1996 *paving block* porous yang dibuat dapat digolongkan ke dalam kelas B untuk Variasi 1, Variasi 2 dan Variasi 4 dengan rata-rata kuat tekan 20 MPa. Sedangkan untuk Variasi 3 dapat digolongkan ke dalam kelas C dengan kuat tekan rata - rata 15 MPa.

Uji Permeabilitas

Pada pengujian permeabilitas digunakan prinsip *falling head* untuk menghitung kecepatan aliran air untuk menembus/melewati benda uji. Tiap Variasi menggunakan 3 benda uji untuk dilakukan pengujian permeabilitas. Pada tabel 12 dapat dilihat hasil uji permeabilitas dari tiap Variasi.

Tabel 12. Permeabilitas Paving Block Porous

Variasi Benda Uji		Waktu Untuk Meloloskan Air Setinggi 1 cm	K =	Permeabilitas	Permeabilitas Rata-rata
		s	$A = I$	cm/s	cm/s
1	1.	3,36		0,29	0,21
	2.	7,07		0,14	
	3.	4,46		0,22	
2	4.	5,53		0,18	0,21
	5.	4,44		0,22	
	6.	4,10		0,24	
3	7.	3,32		0,30	0,23
	8.	3,54		0,28	
	9.	8,06		0,12	
4	10.	10,49		0,09	0,24
	11.	2,86		0,34	
	12.	3,22		0,31	

Keterangan:

Variasi 1: *Paving block* porous menggunakan agregat kasar lolos saringan 1/2 inci tertahan saringan 1/4 inci.

Variasi 2: *Paving block* porous menggunakan agregat kasar lolos saringan 3/4 inci tertahan saringan 1/2 inci.

Variasi 3: *Paving block* porous menggunakan agregat kasar lolos saringan 1 inci tertahan saringan 3/4 inci.

Variasi 4: *Paving block* porous menggunakan agregat kasar campuran dari 3 ukuran di atas.

Pengujian permeabilitas dihitung menggunakan rumus,

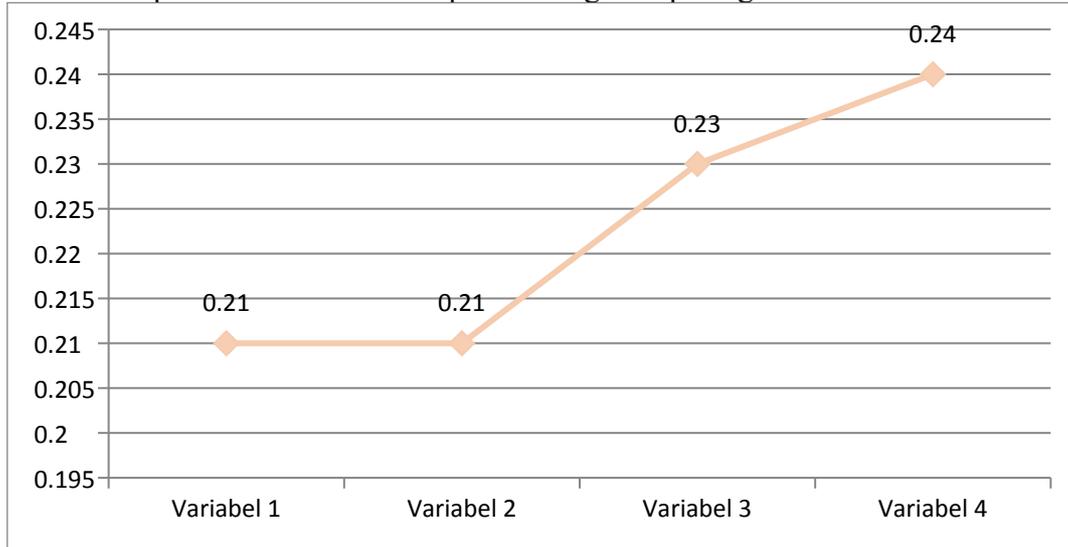
$K =$

A merupakan koefisien luar permukaan, karena pada pengujian menggunakan acuan kecepatan air tiap 1 cm, maka $A = 1$. Diambil contoh hasil uji Variasi 1 (a), untuk meloloskan air dengan ketinggian 1 cm diperlukan waktu 3,36 detik.

Maka,

$$K = = 0.29 \text{ cm/s}$$

Jadi, Variasi 1(a) meloloskan air setinggi 0.29 cm tiap 1 detik. Dengan hasil pengujian permeabilitas pada tabel 4.9 maka dapat dibuat grafik pada gambar 7.

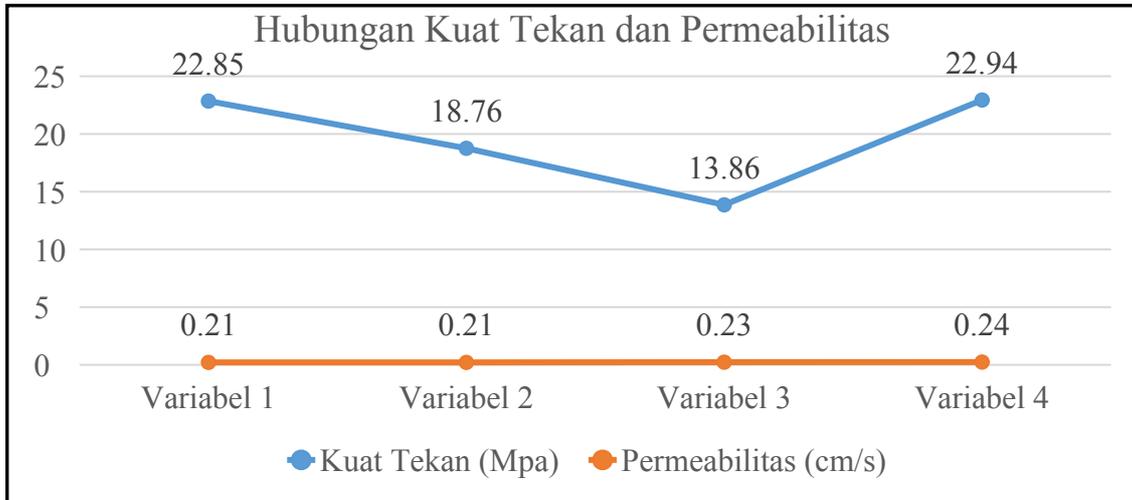


Gambar 7. Grafik Nilai Permeabilitas Rata-rata

Berdasarkan hasil uji permeabilitas dengan mengacu pada ACI 522R-10 maka dapat disimpulkan bahwa Variasi 1 dan 2 tidak memenuhi standar minimum yang telah ditetapkan yaitu 0,22 cm/s. Penggunaan agregat dengan ukuran terlalu kecil memungkinkan untuk terbentuknya porositas rendah, yang berarti nilai permeabilitas yang dihasilkan juga rendah. Sedangkan pada Variasi 3 dan 4 telah memenuhi standar yang ditetapkan, hal ini dapat terjadi karena kedua Variasi menggunakan ukuran agregat yang lebih besar, hal ini memungkinkan terbentuknya porositas yang lebih tinggi dan menghasilkan nilai permeabilitas yang lebih besar pula.

Hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas Paving Block Porous

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan nilai kuat tekan dan permeabilitas yang lebih besar dibandingkan penelitian sebelumnya dengan variasi ukuran agregat. Untuk mengetahui tercapainya tujuan dari penelitian ini diperlukan data untuk menghubungkan kuat tekan dan permeabilitas. Sehingga dapat diperoleh variasi *paving block porous* yang menghasilkan nilai lolos air yang bagus dan juga mutu yang tinggi. Seperti terlihat pada Tabel 13 dan Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas

Tabel 13. Kuat Tekan dan Permeabilitas

Benda Uji	Kuat Tekan Rata – Rata (Mpa)	Permeabilitas Rata-Rata (cm/s)
Variasi 1 (Agregat 1/4-1/2 inci)	22,85	0,21
Variasi 2 (Agregat 1/2-3/4 inci)	18,76	0,21
Variasi 3 (Agregat 3/4-1 inci)	13,86	0,23
Variasi 4 (Agregat <i>mix</i> 1/4-1 inci)	22,94	0,24

Dari grafik hubungan nilai kuat tekan dan nilai permeabilitas didapat titik nilai optimum dengan nilai kuat tekan sebesar 22,94 MPa dan nilai permeabilitas sebesar 0,24 cm/s. nilai optimum tersebut berada pada variasi *paving block* porous agregat *mix* 1/4-1 inci. Berdasarkan klasifikasi mutu menurut SNI 03-0691-1996, nilai kuat tekan 22,94 MPa termasuk ke dalam mutu B untuk lahan parkir. Dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini mendapatkan hasil yang lebih besar daripada penelitian sebelumnya dan variasi ukuran agregat pada *paving block* porous berpengaruh terhadap kuat tekan dan permeabilitas. *Paving block* porous pada penelitian ini dapat digunakan sebagai lapis perkerasan untuk lahan parkir, trotoar pejalan kaki yang mampu mengatasi banjir ataupun genangan air terutama pada musim hujan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian Pengaruh Ukuran Agregat Terhadap Kuat Tekan dan Permeabilitas *Paving Block* Porous dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. *Paving block* porous dibuat dengan cara membuat *paving block* manual berbentuk segi enam yang diberi cetakan tambahan di tengahnya dari pipa PVC ukuran 2 inci, kemudian membuat beton porous dan dimasukkan ke cetakan PVC tersebut. Perbandingan komposisi *paving block* yaitu 1 semen : 1,5 pasir : 1,5 abu batu dan 400 ml air dengan campuran bahan *additive* 5 - 15% dari total berat air dan perbandingan komposisi beton porous yaitu 1 semen : 3 agregat kasar dengan 40 ml air bersih.
- b. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada saat usia paving block porous 3 dan 7 hari, kemudian dilakukan konversi umur beton dengan angka konversi 0,46 dan 0,7. Hasil dari pengujian kuat tekan *paving block* porous dengan konversi umur 28 hari rata – rata setiap Variasi benda uji adalah 22,85 Mpa; 18,76 Mpa; 13,86 Mpa; 22,94 Mpa. Nilai kuat tekan tertinggi berada pada Variasi 4 yang menggunakan ukuran agregat *mix* (1/4 – 1 inci) dengan nilai kuat tekan sebesar 22,94 MPa. Penggunaan agregat *mix* (1/4 – 1 inci) memungkinkan agregat untuk saling mengisi rongga udara, sehingga *paving block* porous menjadi lebih padat dan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi.
- c. Hasil dari pengujian permeabilitas *paving block* porous berturut-turut dari Variasi 1 hingga Variasi 4 yaitu 0,21 cm/s; 0,21 cm/s; 0,23 cm/s dan 0,24 cm/s. Sesuai ketentuan dari ACI 522R-10, maka Variasi 1 dan 2 tidak memenuhi syarat minimum yang ditetapkan, yaitu 0,22 cm/s. Nilai permeabilitas tertinggi berada pada Variasi 4 yang menggunakan ukuran agregat *mix* (1/4 – 1 inci) dengan nilai permeabilitas sebesar 0,24 cm/s.
- d. Penggunaan agregat kasar dengan ukuran yang sama pada paving block porous mempengaruhi porositas yang dihasilkan. Nilai porositas menjadi lebih kecil jika menggunakan agregat kasar dengan ukuran terlalu kecil, yaitu agregat yang lolos saringan 3/4 inci namun tertahan saringan 1/2 inci dan agregat kasar yang lolos saringan 1/2 inci namun tertahan saringan 1/4 inci. Kedua ukuran tersebut berpotensi menurunkan nilai porositas yang juga mempengaruhi nilai permeabilitas.

SARAN

Penelitian Pengaruh Ukuran Agregat Terhadap Kuat Tekan dan Permeabilitas *Paving Block* Porous dapat diberikan saran sebagai berikut:

- a. Pembuatan paving block porous dengan ukuran agregat yang besar perlu dikombinasikan dengan agregat yang lebih kecil agar nilai kuat tekan dan permeabilitas tetap sama – sama besar.
- b. Perlu adanya bahan tambah lainnya untuk menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi, agar bisa digunakan untuk lapis perkerasan jalan dengan mutu A.
- c. Pembuatan dilakukan dengan mesin agar pemadatan bisa sama rata, dan perlu adanya alat cetakan beton porous yang lebih bagus daripada pipa PVC.
- d. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai struktur lapisan yang berada dibawahnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ‘Adilah, Faris. (2020). Pengaruh Campuran *Silica Fume* Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dalam Pembuatan *Paving Block* Dengan Metode Tekan. Skripsi Thesis. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Aulia, A.N. (2018). Karakteristik Beton Pori (Pervious Concrete) dengan Penambahan Admixture Terhadap Laju Alir, Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah. *Digital Repository Universitas Jember*
- Desmaliana, Erma. (2018). Kajian Eksperimental Sifat Mekanik Beton Porous Dengan Variasi Faktor Air Semen. *Jurnal Teknik Sipil* 16(01). 19-29.
<https://ojs.uajy.ac.id/index.php/jts/article/view/3147/1780>
- Erma, D. dkk. (2018). Kajian Eksperimental Sifat Mekanik Beton Porous dengan Variasi Faktor Air Semen. *Jurnal Teknik Sipil*. 15(1).
<https://doi.org/10.24002/jts.v15i1.3147>
- Ginting, Arusmalem. (2018). Pengaruh Ukuran Agregat Kasar Bergradasi Seragam Pada Beton Porous. *Researchgate*.
https://www.researchgate.net/publication/335260169_PENGARUH_UKURAN_AGREGAT_KASAR_BERGRADASI_SERAGAM_PADA_BETON_POROUS_The_Size_Effect_Of_Uniformly_Graded_Aggregate_On_Porous_Concrete
- Hambali, Mulkan. (2013). Pengaruh Komposisi Kimia Bahan Penyusun Paving Block Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Airnya. *Jurnal Teknik Kimia* 19(04).14-21.
https://www.academia.edu/39753879/pengaruh_komposisi_kimia_bahan_penyusun_paving_block_terhadap_kuat_tekan_dan_daya_serap_airnya
- Hanif, A.A.F. & Umron, R. (2022). Analisa Perbaikan Tanah Lunak Metode Preloading dengan Variasi Ketebalan Load Transfer Platform. Universitas Islam Sultan Agung.
- Himawan, Ragil Prasetyo.(2014). Analisis Kuat Tekan Paving Block Dengan Campuran Minarex. Purwokerto. Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Puwokerto.
- Kazemi, F., & Hill, K. (2015). Effect of Permeable Pavement Basecourse Aggregates on Stormwater Quality For Irrigation Reuse. *Ecological Engineering*, 77, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.01.020>
- Khonado, M.F., dkk. (2019). Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Porous dengan Variasi Ukuran Agregat. *Jurnal Sipil Statik*. 7(3), 351-358
- Maulia, Iqbal. (2019). Sifat Mekanik Paving Block Komposit Sebagai Lapis Perkerasan Bebas Genangan Air (Permeable Pavement). *Jurnal Teknik*, 13 (01). 9-16.
<https://journal.unilak.ac.id/index.php/teknik/article/view/2558>
- Mudiyono dkk. (2022). Pedoman Penyusunan Dan Penulisan Tugas Akhir. Semarang. Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung.

- Putri, Elsyani Eka. (2019). Sifat Fisik Paving Block Komposit Sebagai Lapis Perkerasan Bebas Genangan Air (Permeable Pavement). *Jurnal Teknik*, 13 (01). 1-8.
<https://journal.unilak.ac.id/index.php/teknik/article/view/2557>
- Riyanto, Eko. (2023). Pengaruh Ukuran Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Infiltrasi dan Permeabilitas Beton Porous. *Jurnal Surya Beton* 7(01). 61-71.
<https://jurnal.umpwr.ac.id/index.php/suryabeton/article/view/3038>
- Satrio, Dandi Dwi. (2020). Variasi Perbandingan Semen Dan Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas Beton Berpori. *Jurnal Teknik Sipil* 05 (02). 95-101.
<http://jurnal.pnk.ac.id/index.php/jutek/article/view/669>
- Setiawan, Agung. (2021). Evaluasi Sifat Mekanik Dan Hidraulik Beton Porous Dengan Variasi Campuran. *Prosiding CEEDRiMS*.
<https://journal.umy.ac.id/index.php/st/article/view/13165>
- Ulfiana, dkk. (2021). Analisis Kerawanan Banjir Sebagai Pendukung Perencanaan Model *Water Sensitive Urban Design* di Kabupaten Klaten. *Media Komunikasi Teknik Sipil*
- Rupiah, U.S. & Larasati, Z. (2023). Analisis *Jointing* Pada Perkerasan *Paving Block* Untuk Mengatasi Amblesan dan Serapan Air. Universitas Islam Sultan Agung.
- Wahyu. (2019). Cara Konversi Umur Beton Dengan Mudah. *Scribd*.
<https://www.scribd.com/document/430799122/Cara-Konversi-Umur-Beton-Dengan-Mudah>