

PENGARUH GRADASI TERHADAP POROSITAS DAN KUAT TEKAN BETON BERPORI

Eko Putro Pratomo⁽¹⁾, Ary Setyawan⁽²⁾, Djumari⁽³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2), 3)} Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: poetra.tomo@gmail.com

Abstract

Road construction in general use flexible pavement and rigid pavement are watertight, so that during the rainy season there will be a puddle on the road surface. Puddle in the top layer of pavement that occurs after the rain will disturb traffic movement and can cause damage to the pavement. The use of porous concrete is expected to reduce damage to the road to absorb water runoff from the road into the ground. Research to determine the workability, porosity, permeability, and compressive strength of porous concrete, as well as to determine the effect of 1-2 and 2-3 on aggregate gradation of compressive strength, porosity and permeability of porous concrete. Research conducted using the experimental method, That is by using crushed stone with different gradations in the mix design. Crushed stone used is a stone with a uniform gradation of 1-2 cm and 2-3 cm. Fine aggregate used by 30% of the normal proportion of fine aggregate concrete. Cement water factor (FAS) which is used in the mix design of 0.45. Workability tests done after of fresh concrete finished mixed with the composition in appropriate mix design. Testing compressive strength, porosity, and permeability by the method of water falling head permeability test was conducted on the concrete age of 28 days. From the analysis with qualitative methods, the porous concrete with crushed stone gradation of 1-2 and 2-3 with FAS 0.45, the highest compressive strength values obtained on 1-2 aggregate mixture of 10.584 MPa. The highest porosity occurred on 1-2 aggregate mixture of 21.758% (VIM method). Horizontal Permeabilitas highest in 1-2 aggregate mix of 1.711 cm / sec. Vertical permeability highest in a mixture of 1-2 with a value of 0.448 cm / sec. So from the results of the analysis of porous concrete is strong and awake porosity value is porous concrete with a mixture of aggregate 1-2.

Keywords : porous concrete, FAS, uniform gradation 1-2 and 2-3, workability, compressive strength, porosity, permeability falling head permeability method

Abstrak

Pembangunan jalan secara umum menggunakan perkerasan lentur dan perkerasan kaku yang kedap air, sehingga pada musim hujan akan terdapat genangan air di permukaan jalan. Genangan air di atas lapisan perkerasan yang terjadi setelah hujan akan mengganggu kelancaran lalu lintas dan dapat menimbulkan terjadinya kerusakan pada perkerasan jalan. Penggunaan beton berpori diharapkan dapat mengurangi kerusakan pada jalan dengan meresapkan air limpasan dari badan jalan ke dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya workabilitas, porositas, permeabilitas, dan kuat tekan beton berpori, serta untuk mengetahui pengaruh gradasi agregat 1-2 dan 2-3 terhadap kuat tekan, porositas dan permeabilitas dari beton berpori. Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimen, yaitu dengan menggunakan agregat dengan gradasi seragam. Agregat yang digunakan adalah batu dengan gradasi seragam 1-2 cm dan 2-3 cm. Agregat halus yang digunakan sebesar 30% dari proporsi agregat halus beton normal. Faktor air semen (FAS) yang dipakai pada mix design sebesar 0,45. Pengujian workabilitas dilakukan setelah beton segar selesai dicampur dengan komposisi sesuai mix design. Pengujian kuat tekan, porositas, dan permeabilitas dengan metode falling head water permeability test dilakukan pada umur beton 28 hari. Dari hasil analisis dengan metode kualitatif, beton berpori dengan batu pecah gradasi 1-2 dan 2-3 dengan FAS 0,45, didapat nilai kuat tekan tertinggi pada campuran agregat 1-2 sebesar 10,584 MPa. Porositas tertinggi terjadi pada campuran agregat 1-2 sebesar 21,758 % (Metode VIM). Permeabilitas horisontal tertinggi terjadi pada campuran agregat 1-2 sebesar 1,711 cm/dt. Permeabilitas secara vertikal tertinggi terjadi pada campuran 1-2 dengan nilai 0,448 cm/dt. Jadi dari hasil analisis beton berpori yang kuat dan terjaga nilai porositasnya adalah beton berpori dengan campuran agregat 1-2.

Kata kunci : beton berpori, FAS, gradasi seragam 1-2 dan 2-3, workabilitas, kuat tekan, porositas, permeabilitas metode falling head permeability

PENDAHULUAN

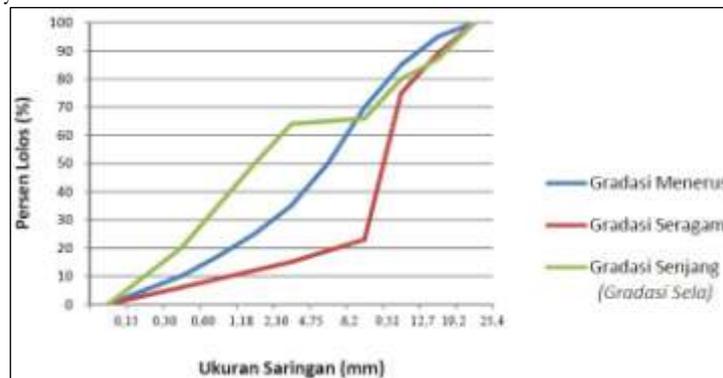
Beton berpori merupakan material konstruksi yang memiliki ciri khas tersendiri. Sesuai dengan namanya, beton berpori adalah beton yang memiliki pori-pori sehingga dapat dilewati oleh air. Beton berpori dibuat dari campuran agregat kasar, semen, air, dan sedikit agregat halus dengan atau tanpa agregat halus. Campuran beton

berpori dapat juga ditambah bahan tambah lainnya yang tidak mengurangi mutu beton, campuran ini menciptakan suatu sel terbuka struktur, membiarkan air hujan untuk menembus mendasari lahan.

Oleh karena itu, untuk membuktikan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh gradasi terhadap porositas dan kuat tekan dari beton berpori. Untuk mengetahui kecepatan air yang dapat melewati beton berpori untuk meloloskan air yang diresapkan ke dalam tanah dengan uji permeabilitas dengan metode *falling head water permeability test*.

LANDASAN TEORI

Gradasi atau susunan butir adalah distribusi dari ukuran agregat. Distribusi ini bervariasi dapat di bedakan menjadi tiga yaitu gradasi seragam (*uniform grade*), gradasi menerus (*continuous grade*) dan gradasi sela (*gap grade*). Untuk mengetahui gradasi tersebut dilakukan pengujian melalui analisa saringan sesuai dengan standard dari SNI 03-1968-1990 dan ASTM C-33. Gradasi seragam (*uniform grade*) adalah gradasi yang terdiri dari ukuran agregat yang hampir sama sehingga akan membentuk grafik gradasi seragam dengan ciri garis vertikal yang mendominasi porsi gradasi agregat pada satu ukuran atau range/batas fraksi tertentu. Gradasi menerus (*continuous grade*) adalah gradasi yang semua ukuran agregatnya ada dan terdistribusi dengan baik. Gradasi sela (*gap grade*) adalah salah satu atau lebih dari ukuran butir atau fraksi pada satu set ayakan tidak ada, maka grafik gradasi akan menunjukkan garis horizontal dalam grafiknya.



Gambar 1. Contoh grafik gradasi seragam, menerus dan sela

Sebagaimana pada beton konvensional, bahan utama penyusun beton berpori adalah semen portland, agregat, air dan bahan tambah lainnya dengan komposisi tertentu. Yang berbeda pada beton berpori adalah agregat yang digunakan hanya agregat kasar saja dengan sedikit atau tanpa agregat halus. Faktor air semen harus dijaga sedemikian rupa agar setelah mengeras pori-pori yang terbentuk tidak tertutup oleh campuran pasta semen yang mengeras. Selain kontrol pada faktor air semen juga bertujuan agar butir-butir agregat dapat terikat kuat satu sama lain untuk mendapat kuat tekan, porositas, dan permeabilitas yang sesuai dengan karakteristik beton berpori.

Tahapan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian dilaboratorium maka peneliti melakukan studi pustaka tentang beton berpori dan menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Melakukan uji pendahuluan pada bahan yang akan digunakan pada penelitian beton berpori. Pembuatan beton berpori dengan gradasi agregat seragam, agregat yang digunakan adalah agregat 1-2 dan agregat 2-3. Aditif yang dipakai untuk menambah kekuatan beton adalah LEMKRA TG-300. Membuat campuran beton yang mengacu pada *mix design* dari penelitian Rochim, 2014 dan FAS yang dipakai sebesar 0,45. Membuat benda uji berupa silinder dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 6,5 untuk pengujian porositas dan permeabilitas. Pengujian kuat tekan dengan benda uji berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Perawatan benda uji dengan merendam dalam bak air. Melakukan pengujian porositas, permeabilitas, dan kuat tekan. Melakukan analisis data dari hasil pengujian untuk mengetahui hasil dari pengujian apakah memenuhi karakteristik dari beton berpori atau tidak. Melakukan pengambilan kesimpulan dan saran dari analisis pengujian yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

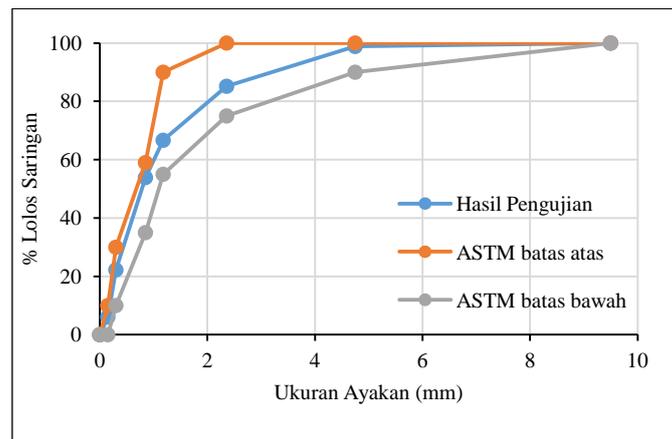
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Bahan Dasar

Bahan dasar yang di uji dalam penelitian ini adalah agregat halus dan agregat kasar untuk semen tidak dilakukan pengujian dimana digunakan PPC.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar ASTM C-33	Kesimpulan
Kandungan zat organik	Kuning muda	Kuning	Memenuhi syarat
Kandungan lumpur	2 %	Maks 5 %	Memenuhi syarat
Bulk specific SSD	2,67 gr/cm ³	-	Memenuhi syarat
Absorbtion	0,60 %	-	-
Modulus halus	2,67	2,3 – 3,1	Memenuhi syarat



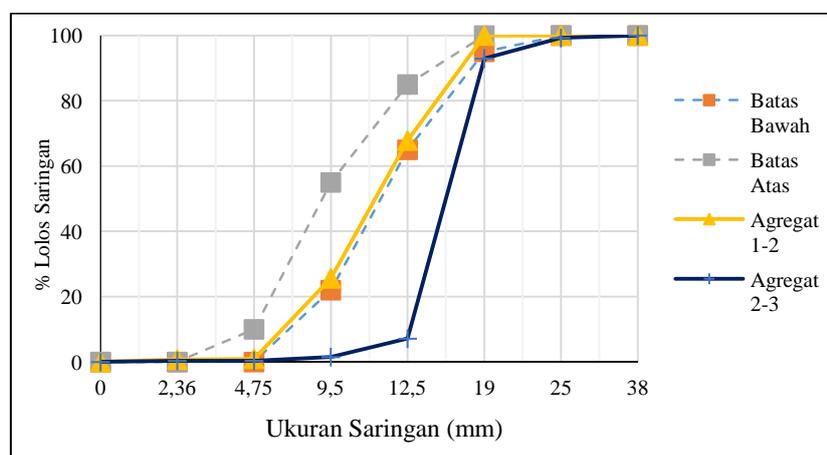
Gambar 2. Grafik Gradasi Pasir

Hasil pengujian gradasi agregat halus bisa diketahui bahwa pasir yang digunakan masih memenuhi syarat batas dari ASTM C-33 sebagai agregat halus untuk beton menurut SK-SNI S-36-1990-03.

Pengujian terhadap agregat kasar seragam ukuran 1-2 cm dan 2-3 cm (batu pecah) yang dilaksanakan dalam penelitian ini meliputi pengujian berat jenis (*specific gravity*), keausan (*abrasion*) dan gradasi agregat kasar.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar 1-2 dan 2-3

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar ASTM C-33	Kesimpulan
<i>Bulk specific SSD</i>	2,69 gr/cm ³	2,5 – 2,7	Memenuhi syarat
<i>Absorbtion</i>	0,83 %	-	-
Abrasi	27,24 %	Maksimum 50 %	Memenuhi syarat
Modulus halus butir	7,94	5 – 8	Memenuhi syarat



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

Pembuatan beton berpori digunakan agregat kasar 1-2 dan 2-3 dengan gradasi seragam yang diharapkan dapat memberi rongga yang cukup untuk membuat pori yang saling terhubung. Sehingga beton berpori mempunyai karakteristik beton berpori yaitu porositas dan permeabilitas yang baik.

Rencana Campuran Beton Berpori

kebutuhan bahan per 1 m³ beton berpori dengan penggunaan 30% pasir dan FAS 0,45 yaitu :

Air	= 225	liter
Semen	= 300	kg
Pasir	= 173,33	kg
Kerikil	= 1666,67	kg, jumlah Seluruh Bahan = 2140 kg

Analisa Data Hasil Perhitungan

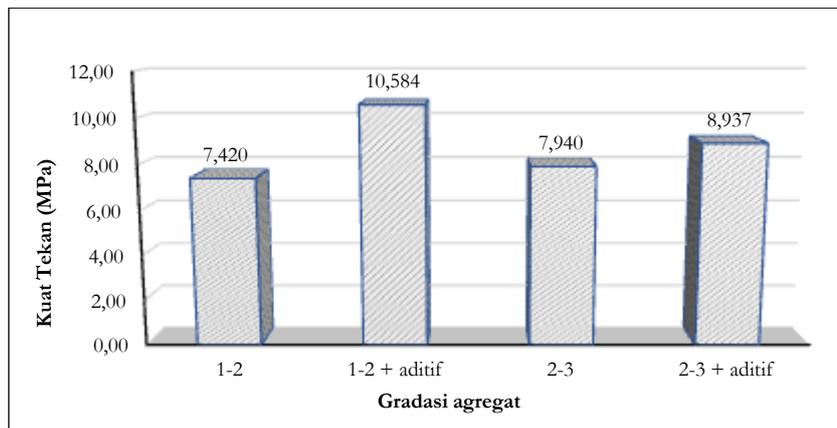
Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari dengan menggunakan *Compression Testing Machine* untuk mendapatkan beban maksimum yaitu beban pada saat beton hancur ketika menerima beban tersebut (P_{max}). hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Berpori Umur 28 hari

Kode Benda Uji	Berat (kg)	Luas Penampang (mm ²)	P max 28 Hari (kN)	P max 28 Hari (N)	fc' 28 Hari (MPa)	fc' rata-rata (MPa)
A1	9,90	17210,286	120	120000	7,160	
A2	10,30	17678,571	120	120000	6,970	7,420
A3	10,30	17678,571	140	140000	8,132	
B1	10,70	17678,571	170	170000	9,681	
B2	10,50	17678,571	190	190000	10,842	10,584
B3	10,70	17678,571	200	200000	11,229	
C1	10,90	17443,643	150	150000	8,634	
C2	10,70	17443,643	110	110000	6,279	7,940
C3	10,60	17678,571	155	155000	8,906	
D1	10,80	17678,571	170	170000	9,681	
D2	10,60	17678,571	180	180000	10,068	8,937
D3	10,20	17443,643	120	120000	7,064	

Keterangan :
 A : Beton Berpori Agregat 1-2
 B : Beton Berpori Agregat 1-2 dengan bahan tambah aditif
 C : Beton Berpori Agregat 2-3
 D : Beton Berpori Agregat 2-3 dengan bahan tambah aditif



Gambar 4. Grafik hasil pengujian kuat tekan

Dari hasil diatas dapat dilihat kuat tekan beton berpori didapat kuat tekan yang paling tinggi pada agregat gradasi 1-2 dengan tambahan aditif. Disini terlihat terjadi penambahan kekuatan pada beton berpori dengan tambahan aditif. Penambahan nilai kuat tekan beton berpori yang tanpa aditif dan dengan penambahan aditif dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Selisih dan persentase penambahan nilai kuat tekan

Jenis Material	Kuat Tekan (Mpa)		Selisih Kuat Tekan	%
	Tanpa Aditif	Dengan Penambahan Aditif		
Agregat 1-2	7,420	10,584	3,164	29,89
Agregat 2-3	7,940	8,937	0,998	11,16



Gambar 5. Pengujian kuat tekan beton berpori

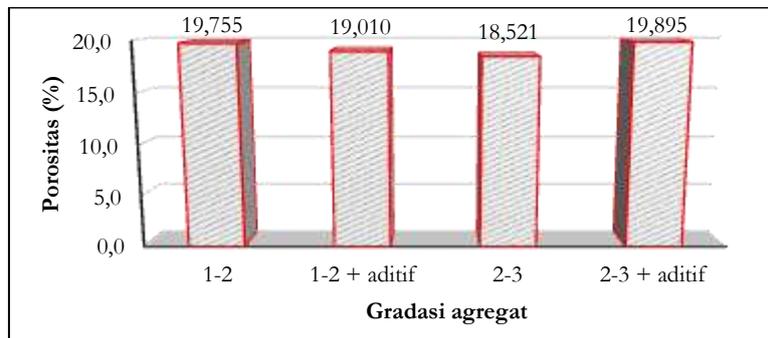
Pengujian Porositas

Porositas adalah ukuran dari proporsi total volume yang ditempati oleh pori-pori, dan biasanya dinyatakan sebagai persentase dari volume sampel. Hasil pengujian porositas dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Porositas Berdasarkan Metode Perhitungan VIM

Kode	Diameter (cm)	Tebal (cm)	Berat (gram)	Densitas (gr/cm ²)	SG Mix (gr/cm ³)	Porositas (%)	Rata-rata Densitas (gr/cm ²)	Rata-rata Porositas (%)
A1	10,16	6,50	1152	2,187	2,718	19,522		
A2	10,16	6,50	1152	2,187	2,718	19,522	2,181	19,755
A3	10,16	6,50	1142	2,168	2,718	20,221		
B1	10,16	6,50	1208	2,293	2,718	15,610		
B2	10,16	6,50	1120	2,126	2,718	21,758	2,201	19,010
B3	10,16	6,50	1150	2,183	2,718	19,662		
C1	10,16	6,50	1192	2,263	2,718	16,728		
C2	10,16	6,50	1156	2,195	2,718	19,243	2,214	18,521
C3	10,16	6,50	1151	2,185	2,718	19,592		

D1	10,16	6,50	1141	2,166	2,718	20,291		
D2	10,16	6,50	1136	2,157	2,718	20,640	2,177	19,895
D3	10,16	6,50	1163	2,208	2,718	18,754		



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Porositas Beton Berpori

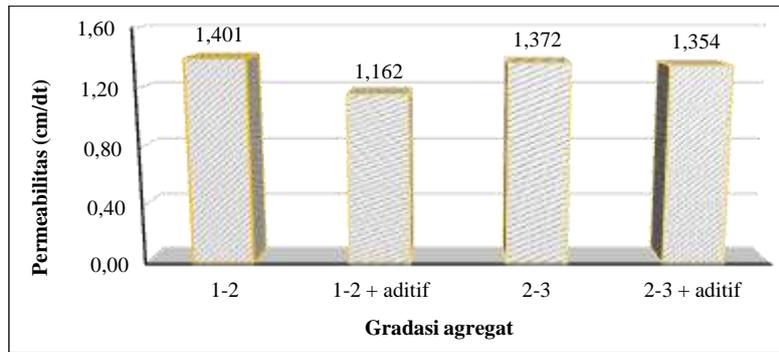
Pada pengujian porositas dengan metode *void in mix* didapat porositas yang paling tinggi pada agregat gradasi 2-3. Porositas terbesar menurut pengujian dengan metode VIM di dapat porositas tertinggi sebesar 19,895%. Nilai porositas beton berpori masuk dalam kategori porositas baik (*good*). Kategori porositas baik (*good*) memiliki nilai porositas antara 15 % - 20%.

Pengujian Permeabilitas metode *falling head water permeability test*

Pengujian permeabilitas pada penelitian ini dimaksudkan apakah *mix design* beton berpori benar-benar berfungsi mengalirkan air secara baik. Pengujian permeabilitas dilakukan dengan cara horisontal dan vertikal. Hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada tabel 6 dan tabel 7.

Tabel 6. Hasil pengujian permeabilitas horisontal

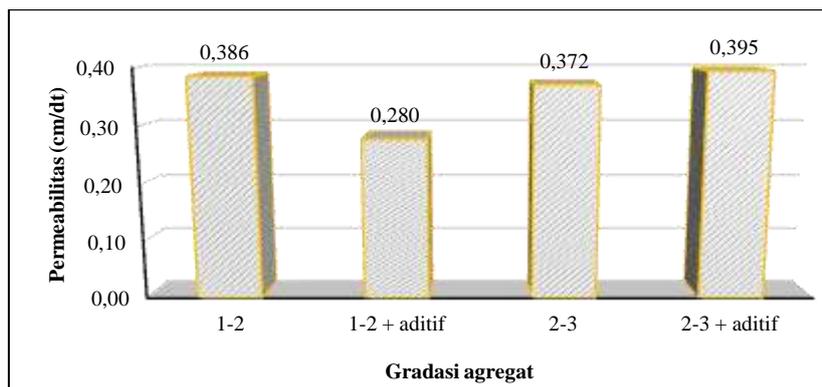
Kode benda uji	Tinggi	Tebal	Luas Penampang	Luas Penampang	Batas Atas	Batas Bawah	Waktu t (dt)	Koefisien Permeabilitas	Koefisien Permeabilitas
	Terlihat (cm)	L (cm)	Sampel A (cm ²)	Tabung a (cm ²)	h1 (cm)	h2 (cm)		Horisontal kh (cm/dt)	Horisontal kh (cm/dt)
A1	4,00	6,50	127,610	81,032	40	20	1,67	1,711	
A2	4,00	6,50	127,610	81,032	40	20	2,33	1,227	1,401
A3	4,20	6,50	133,990	81,032	40	20	2,15	1,266	
B1	4,10	6,50	130,800	81,032	40	20	2,97	0,939	
B2	4,20	6,50	133,990	81,032	40	20	2,18	1,248	1,162
B3	4,00	6,50	127,610	81,032	40	20	2,20	1,299	
C1	4,30	6,50	137,180	81,032	40	20	1,81	1,469	
C2	4,20	6,50	133,990	81,032	40	20	1,96	1,389	1,372
C3	4,00	6,50	127,610	81,032	40	20	2,27	1,259	
D1	4,10	6,50	130,800	81,032	40	20	2,53	1,102	
D2	4,20	6,50	133,990	81,032	40	20	1,89	1,440	1,354
D3	4,00	6,50	127,610	81,032	40	20	1,88	1,520	



Gambar 7. Grafik hasil pengujian permeabilitas horisontal

Tabel 7. Hasil pengujian permeabilitas vertikal

Kode benda uji	Luas Penampang	Tebal L (cm)	Luas Penampang	Batas Atas	Batas Bawah	Waktu t (dt)	Koefisien Permeabilitas	Koefisien Permeabilitas
	Tabung a (cm ²)		Sampel A (cm ²)	h1 (cm)	h2 (cm)		Vertikal kv (cm/dt)	Vertikal kv (cm/dt)
A1	81,032	6,50	81,032	40	20	12,65	0,356	
A2	81,032	6,50	81,032	40	20	12,74	0,353	0,386
A3	81,032	6,50	81,032	40	20	10,04	0,448	
B1	81,032	6,50	81,032	40	20	14,12	0,319	
B2	81,032	6,50	81,032	40	20	14,68	0,307	0,280
B3	81,032	6,50	81,032	40	20	21,08	0,213	
C1	81,032	6,50	81,032	40	20	13,39	0,336	
C2	81,032	6,50	81,032	40	20	11,59	0,388	0,372
C3	81,032	6,50	81,032	40	20	11,51	0,391	
D1	81,032	6,50	81,032	40	20	10,22	0,440	
D2	81,032	6,50	81,032	40	20	12,09	0,372	0,395
D3	81,032	6,50	81,032	40	20	12,13	0,371	



Gambar 8. Grafik hasil pengujian permeabilitas vertikal

Hasil penelitian diatas dapat diketahui bahwa permeabilitas horisontal beton berpori lebih besar dibanding dengan permeabilitas vertikal, maka permeabilitas horisontal dan vertikal berbanding terbalik. Hasil dari analisa permeabilitas horisontal adalah 1,162 cm/dt – 1,401 cm/dt dan permeabilitas vertikal adalah 0,280 cm/dt – 0,395 cm/dt. Maka dari hasil pengujian permeabilitas beton berpori untuk permeabilitas horisontal masuk pada kategori baik (*good*) yang memiliki nilai permeabilitas antara 1 cm/dt – 10 cm/dt. Permeabilitas vertikal masuk dalam kaegori permeabilitas ketat (*tight*) yang nilai permeabilitas nya adalah <0,5 cm/dt.



Gambar 9. Pengujian permeabilitas dengan metode *falling head water permeability test*

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Beton Berpori

Benda uji (gradasi agregat)	Kuat Tekan f_c' (MPa)	Porositas VIM (%)	Permeabilitas Horisontal (cm/dt)	Permeabilitas Vertikal (cm/dt)
1 – 2	7,420	19,755	1,401	0,386
1 – 2 + aditif	10,584	19,010	1,162	0,280
2 – 3	7,940	18,521	1,372	0,372
2 – 3 + aditif	8,937	19,772	1,354	0,395

SIMPULAN

Dari hasil penelitian serta analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis nilai porositas masuk dalam kategori porositas baik (*good*) dengan nilai porositas antara 18,521% dan 19,895%. Permeabilitas horisontal yang dihasilkan adalah antara 1,162 cm/dt sampai 1,401 cm/dt yang masuk dalam kategori permeabilitas baik (*good*) dan 0,280 cm/dt sampai dengan 0,395 cm/dt untuk permeabilitas vertikal sehingga masuk dalam kategori permeabilitas ketat (*tight*). Kuat tekan beton berpori sebesar 7,420 MPa sampai 10,584 MPa yang masih masuk dalam kategori beton berpori menurut (*Schaefer et all, 2006*).
2. Aditif yang digunakan untuk bahan tambah beton berpori adalah LEMKRA TG 300. Nilai kuat tekan beton berpori tanpa tambahan aditif adalah 7,420 MPa untuk gradasi agregat 1-2 dan 7,940 MPa untuk gradasi agregat 2-3. Kuat tekan beton berpori dengan tambahan aditif adalah 10,584 MPa untuk gradasi agregat 1-2 dan 8,937 MPa untuk gradasi agregat 2-3. Selisih dari nilai kuat tekan pada agregat 1-2 mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 29,89% dan agregat 2-3 sebesar 11,16%.
3. Pengaruh gradasi agregat pada beton berpori adalah terjadi pada kuat tekan beton berpori. Beton berpori dengan gradasi yang lebih kecil maka kuat tekan beton berpori akan lebih tinggi. Porositas dan permeabilitas dari beton berpori tidak dipengaruhi oleh gradasi agregat karena nilai porositas dan permeabilitas dari gradasi yang berbeda mendekati atau hampir sama.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Ir. Ary Setyawan, M.Sc.(Eng), Ph.D dan Ir. Djumari, MT yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Ferguson, *Bruce K.*, 2005, *Porous Pavements*, Taylor & Francis Groub, Boca Raton London New York Singapore.
- Ganpule, S. S., 2011, *Use of Porous Concrete as a Green Construction Material for Pavement*, International Journal of Earth Sciences and Engineering, India.
- Grajuantomo. 2008. *Pembuatan Beton Lulus air* . Universitas Indonesia. Jakarta

- Paul, T. L. M. L., And Akers, D. J., 2004, *Pervious Concrete Pavements*, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring.
- Prabowo, D. A., Setyawan, A., and Sambowo, K. A., 2013, "*Desain Beton Berpori Untuk Perkerasan Jalan Yang Ramah Lingkungan.*" Matriks Teknik Sipil 1.2.
- Rochim, Setyawan, A., and Sarwono, D., 2014, "*PENGARUH PENGISLAN RONGGA PADA PERKERASAN BETON BERPORI TERHADAP PERMEABILITAS, KECEPATAN RESAPAN DAN KUAT TEKAN.*" Matriks Teknik Sipil 3.1.
- SNI 03-1968-1990, Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar.
- SNI 1974-2011, Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder.
- Tjokrodimulyo, K., 1996, *Teknologi Beton*, Arif, Yogyakarta.