

KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS BETON POROUS DENGAN VARIASI UKURAN AGREGAT

Monica Fransisca Khonado

Hieryco Manalip, Steenie E. Wallah

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: khonadomonica@yahoo.com

ABSTRAK

Beton Porous atau beton yang menggunakan sedikit pasir atau tidak sama sekali merupakan inovasi beton ramah lingkungan, karena jika digunakan sebagai concrete pavement maka dapat membiarkan air mengalir melewati beton sehingga mengurangi air tergenang dan kontaminasi aliran air serta dapat mengisi kembali persediaan air tanah. Namun beton porous memiliki kuat tekan yang rendah karena memiliki banyak pori. Dalam penelitian ini, diuji sejumlah sampel dengan komposisi variasi ukuran agregat beton porous yang berbeda-beda untuk mendapatkan beton porous dengan hasil kuat tekan yang optimum namun dapat dialiri air dengan efektif juga.

Ada 4 variasi yang diuji, yakni variasi 1 dengan komposisi 55% agregat lolos saringan 1/2" namun tertahan saringan 3/8" dan 45% agregat lolos saringan nomor 4 namun tertahan saringan nomor 8, kemudian variasi 2 dengan 55% agregat lolos saringan 1/2" namun tertahan 3/8" dan 45% agregat lolos saringan 3/8" namun tertahan nomor 4, variasi 3 terdiri dari 100% agregat lolos saringan 1/2" namun tertahan saringan 3/8", dan yang terakhir ada variasi 4 yang terdiri dari 55% agregat lolos saringan 1/2" namun tertahan 3/8" dan 45% agregat lolos saringan 3/4" namun tertahan 1/2".

Variasi 4 adalah variasi beton porous dengan hasil kuat tekan yang optimum, yakni 15,517 MPa pada usia beton 28 hari. Variasi ini adalah variasi dengan komposisi ukuran agregat terbesar diantara ke 4 variasi yang ada, sehingga dapat dilihat bahwa semakin besar ukuran agregat dalam campuran, maka semakin tinggi hasil kuat tekannya.

Sedangkan untuk variasi campuran beton porous yang efektif dialiri air atau dengan permeabilitas optimum adalah Variasi 3 yang memiliki komposisi ukuran agregat yang seragam dengan nilai permeabilitas 2,322 cm/detik. Dapat dilihat bahwa semakin seragam ukuran agregat dalam campuran, maka semakin tinggi nilai permeabilitasnya karena rongga atau pori dari beton akan semakin besar dan banyak.

Kata kunci: beton porous, kuat tekan, permeabilitas

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sebagian besar jalan di Indonesia kini berupa aspal atau beton yang tidak dapat menyerap air seperti tanah, jika ditambah drainase yang tidak berfungsi dengan baik, hal ini membuat air tergenang di jalan dan jika dibiarkan dalam jangka waktu yang lama dengan intensitas curah hujan yang tinggi yang berlangsung panjang, maka beresiko menimbulkan banjir. Dari tahun ke tahun, terjadi peningkatan pembeconan lahan. Meskipun betonisasi sulit dihindari karena merupakan salah satu aspek dalam perkembangan infrastruktur untuk kemajuan pembangunan suatu daerah, kasus ini harus menjadi perhatian khusus karena dapat menimbulkan bencana banjir yang semakin parah serta merugikan masyarakat.

Beton porous yang juga dikenal sebagai beton permeable atau beton berpori menjadi salah

satu cara untuk menghindari air tergenang akibat betonisasi. Jika air yang jatuh ke permukaan langsung terserap tanah, maka tidak akan ada air yang tergenang, sehingga mengurangi resiko terjadinya banjir. Beton porous yang dapat dilewati air karena berpori atau memiliki celah diantara agregat ini dapat mengganti fungsi beton konvensional yang pada umumnya tidak bisa atau sulit dilewati air, sehingga air hujan atau air yang jatuh ke beton porous dapat dialirkan ke lapisan tanah di bawahnya untuk diserap. Tidak hanya mengurangi ancaman banjir, beton porous juga dapat memfilter air sehingga mengurangi kontaminasi.

Namun, kuat tekan beton porous lebih rendah dari beton normal, penggunaannya terbatas pada lalulintas dengan kepadatan rendah seperti tempat parkir, trotoar, jalur jogging, jalan kecil, jalan bervolume rendah, dan lain-lain. Beton porous juga mempunyai permukaan struktural yang kaku

untuk melayani fungsi struktural yang dibutuhkan, serta memungkinkan semua air hujan atau air dari sumber lain untuk meresap dan bergabung dengan air tanah. Cara ini efektif untuk meminimalkan limpasan dari lapis perkerasan sehingga membantu dalam pengisian air tanah dan pengelolaan air hujan (ACI 522R-06).

Rumusan Masalah

Meskipun terdapat beragam kelebihan pada beton porous, namun beton yang memiliki celah antar agregatnya ini juga memiliki kekurangan, yaitu kekuatan yang relatif rendah dibanding beton konvensional karena menghilangkan atau hanya menggunakan sedikit agregat halus sehingga meningkatkan celah yang ada. Namun jika celah diminimalisir dengan menggunakan lebih banyak agregat halus, air tidak dapat mengalir melewati beton porous ini. Ukuran agregat dan campuran air dan semen yang benar menjadi penentu kuat atau tidaknya beton porous. Maka dari itu, penulis ingin melakukan penelitian kuat tekan serta permeabilitas beton porous berdasarkan variasi ukuran agregat kasar yang digunakan.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh variasi model penghubung geser dari balok pracetak yang ditakikan ke dalam plat pada permukaan antara balok dan plat dengan mutu beton yang berbeda terhadap tahanan geser yang dihasilkan dari suatu penampang komposit balok beton pracetak dan plat beton bertulang cor di tempat.

Manfaat Penelitian

Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat membantu menjaga kelestarian lingkungan dengan mengurangi betonisasi menggunakan beton konvensional, sehingga dapat menghindari kemungkinan bencana banjir yang merugikan masyarakat serta dapat pula meningkatkan kualitas air tanah karena terfiltrasi lewat beton porous.

LANDASAN TEORI

Beton Porous

Beton porous adalah beton berongga, sehingga dapat meloloskan air. Beton ini juga biasa disebut beton non-pasir karena tidak hanya

menggunakan sedikit atau tidak sama sekali agregat halus atau pasir.

Beton porous adalah suatu material bergradasi seragam yang terdiri dari semen Portland, agregat kasar, sedikit atau tanpa agregat halus, bahan tambah, dan air. Kombinasi bahan-bahan ini ketika dituang, dipadatkan dan dirawat dengan benar, menghasilkan suatu bahan keras yang memiliki permeabilitas 81 hingga 730 l/min/m² dengan kekuatan sedang 2,8 hingga 28 MPa. Tingkat drainase dari perkerasan beton porous bervariasi sesuai ukuran agregat dan kepadatan campuran (ACI 522R-06).

Penggunaan beton non pasir sebagai bahan perkerasan sangat terbatas dan belum lama dikembangkan untuk aplikasi tertentu. Namun, beton non pasir telah digunakan secara luas sebagai bahan bangunan struktural di Eropa, Australia dan Timur Tengah lebih dari 70 tahun (Macintosh dkk, 1965, dalam Harber, 2005). Penggunaan paling awal beton non pasir terjadi di Inggris pada tahun 1852 dengan pembangunan dua rumah tinggal dan krib laut sepanjang 61 m dan lebar 2,15 m (Francis, 1965, dalam Harber, 2005). Penggunaan beton non pasir menjadi jauh lebih luas selama kekurangan bahan setelah Perang Dunia II, untuk dinding penahan beban yang dicetak ditempat untuk bangunan tidak bertingkat dan bertingkat.

Kelebihan dan kekurangan beton porous adalah (Tennis dkk. 2004; ACI 2010) :

Kelebihan beton porous:

1. Manajemen efektif untuk aliran air hujan
2. Mengurangi kontaminasi di aliran air
3. Mengisi kembali persediaan air tanah
4. Mengurangi efek panas bumi
5. Mengurangi suara ribut akibat interaksi antara ban dan jalan

Kekurangan beton porous

1. Pemakaian terbatas untuk kendaraan berat di lalu lintas padat
2. Praktek konstruksi khusus
3. Sensitif terhadap konten air dan control dalam beton segar
4. Kekurangan metode percobaan yang distandarisasi
5. Perhatian khusus dan pemeliharaan dalam desain untuk tipe tanah tertentu
6. Perhatian khusus mungkin diperlukan untuk tanah dengan kandungan air tanah yang tinggi

Material Pembentuk Beton Porous

Berdasarkan ACI 522R-10 mix design untuk beton porous terdiri dari: semen (270 - 415 kg),

agregat (1190 - 1480 kg), faktor air semen (0,27 – 0,34), perbandingan berat pasir dan kerikil (0 sampai 1 : 1). Penambahan pasir akan menurunkan kadar pori dan meningkatkan kuat tekan.

Kuat Tekan

Pengertian kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air. Perbandingan dari air semen, semakin tinggi kekuatan tekannya. Suatu jumlah air tertentu diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pekerjaan akan tetapi menurunkan kekuatan (Wang dan Salmon, 1990).

$$f^c = \frac{P}{A} \tag{1}$$

dimana :

- f^c = Kuat tekan beton (MPa)
- P = Gaya tekan aksial (N)
- A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

Permeabilitas

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, 1995).

Untuk mengetahui dan mengukur permeabilitas beton perlu dilakukan pengujian. Salah satu cara pengujian adalah uji aliran (flow test) yaitu pengujian untuk mengukur permeabilitas beton terhadap air bila air dapat mengalir melalui sampel beton.

Dari data pengujian permeabilitas ini dapat ditentukan koefisien permeabilitas yang menunjukkan suatu angka kecepatan rembesan fluida dalam suatu zat. Koefisien permeabilitas untuk uji aliran dihitung dengan rumus Darcy:

$$K = \frac{pgLQ}{PA} \tag{2}$$

dimana:

- K = koefisien permeabilitas (cm/dtk)
- p = massa jenis air (kg/cm³)
- g = percepatan gravitasi (cm/det²)
- L = panjang atau tinggi sampel (cm)
- Q = debit aliran air (cm³/dtk)
- P = tekanan air (kg cm/det²/cm²)
- A = luas penampang sampel (cm²)

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan suatu percobaan secara langsung untuk mendapatkan suatu hasil yang menghubungkan antar variabel-variabel yang diselidiki. penelitian dilakukan di laboratorium struktur dan beton Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado.

Komposisi Campuran Beton Porous

Perencanaan campuran beton porous menggunakan cara coba-coba di laboratorium (Trial and Error), yaitu dengan membuat campuran beton dengan perbandingan-perbandingan bahan penyusun yang berbeda-beda sehingga diperoleh komposisi dengan workability tertentu. Setelah melakukan beberapa kali trial and error, akhirnya diambil mix design cara perbandingan antara semen, agregat, dan air. Perbandingan mix design yang diambil adalah 1 (semen) : 6 (agregat) : 0,6 (air).

Tabel 1. Mix Design Beton Porous

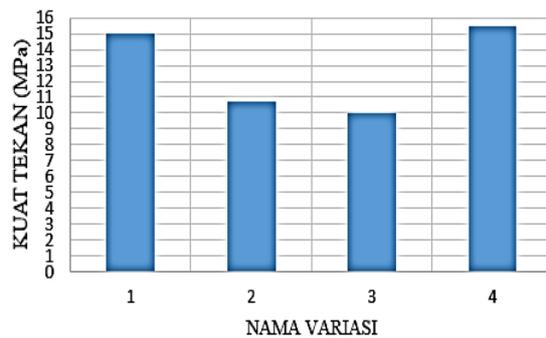
Perbandingan mix design :		
C :	A :	W
1	6	0,6
Komposisi dalam 1 m ³ :		
Semen	: 0,14 m ³	
Agregat	: 0,80 m ³	
Air	: 0,01 m ³	

Variasi Campuran Beton Porous

Variasi campuran beton porous terbagi menjadi 4 variasi yang memiliki perbedaan komposisi dan ukurang agregat kasar, namun jumlah air dan semen yang konstan. Dalam komposisi ini juga, komposisi agregat yang lolos saringan 1/2, namun tertahan saringan 3/8 dibuat konstan sebagai acuan. Berikut uraian 4 variasi campuran beton porous yang diteliti.

Tabel 2. Variasi Campuran Beton Porous

	Lolos dan tertahan saringan nomor :			
	Lolos 3/4, tertahan 1/2	Lolos 1/2, tertahan 3/8	Lolos 3/8, tertahan 4	Lolos 4, tertahan 8
Variasi 1	0%	55%	0%	45%
Variasi 2	0%	55%	45%	0%
Variasi 3	0%	100%	0%	0%
Variasi 4	45%	55%	0%	0%



Gambar 1. Grafik Hubungan Variasi Komposisi Ukuran Agregat dengan Hasil Kuat Tekan 28 Hari Beton Porous

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous

Hasil pengujian kuat tekan beton porous yang optimum adalah Variasi 4 dengan 15,51 MPa pada usia beton 28 hari. Komposisi Variasi 4 adalah 55 persen agregat lolos saringan 1/2 namun tertahan saringan 3/8 dan 45 persen agregat lolos saringan 3/4 namun tertahan saringan 1/2. Variasi 4 ini juga merupakan variasi dengan komposisi ukuran agregat yang terbesar dibandingkan variasi lainnya yang diteliti. Berikut hasil pengujian kuat tekan pada 4 variasi beton porous yang diteliti.

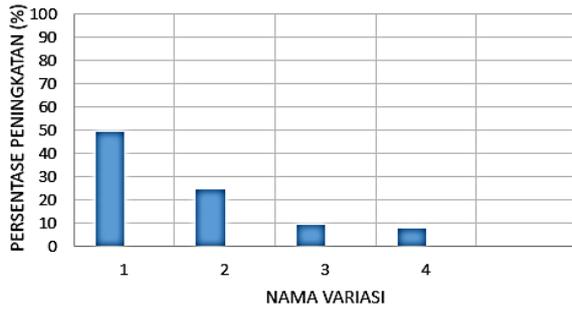
Dari data hasil kuat tekan beton 4 variasi yang diteliti, dapat dilihat persentase peningkatan nilai kuat tekan beton antara setiap variasi berbeda-beda. Peningkatan kuat tekan beton dari usia beton 7 hari ke 28 hari pada sampel dengan komposisi ukuran agregat yang lebih kecil akan lebih tinggi dibanding sampel dengan komposisi ukuran agregat yang lebih besar. Dengan demikian, peningkatan kuat tekan beton porous dari 7 hari ke 28 hari tidak dapat ditetapkan dengan nilai konstan seperti beton pada umumnya, karena akan berbeda sesuai dengan komposisi ukuran agregat dari beton porous tersebut.

Tabel 3. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Porous

Variasi 1		Variasi 2	
KUAT TEKAN (MPa)		KUAT TEKAN (MPa)	
7 HARI	28 HARI	7 HARI	28 HARI
10,13	15,87	8,97	11,16
10,09	14,91	8,66	10,65
9,91	14,2	8,14	10,33
RATA-RATA	RATA-RATA	RATA-RATA	RATA-RATA
10,04	14,99	8,59	10,71
Variasi 3		Variasi 4	
KUAT TEKAN (MPa)		KUAT TEKAN (MPa)	
7 HARI	28 HARI	7 HARI	28 HARI
9,93	11,26	14,72	16,3
9,17	9,49	14,61	15,24
8,33	9,17	13,88	15,01
RATA-RATA	RATA-RATA	RATA-RATA	RATA-RATA
9,14	9,97	14,40	15,52

Tabel 4. Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton Usia 7 Hari ke 28 Hari

Variasi 1		Variasi 2	
KUAT TEKAN (MPa)		KUAT TEKAN (MPa)	
7 HARI	28 HARI	7 HARI	28 HARI
10,04	14,99	8,59	10,71
Perbandingan kuat tekan beton		Perbandingan kuat tekan beton	
0,67	1,00	0,80	1,00
Variasi 3		Variasi 4	
KUAT TEKAN (MPa)		KUAT TEKAN (MPa)	
7 HARI	28 HARI	7 HARI	28 HARI
9,14	9,97	14,40	15,52
Perbandingan kuat tekan beton		Perbandingan kuat tekan beton	
0,92	1,00	0,93	1,00



Gambar 2. Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton Porous dari Usia Beton 7 Hari ke 28 Hari

Hasil Pengujian Permeabilitas Beton Porous

Hasil pengujian permeabilitas dengan nilai optimum ada pada Variasi 3 dengan nilai permeabilitas 3,53 cm/dtk². Komposisi Variasi 3 hanya terdiri dari satu ukuran agregat saja, agregat yang lolos saringan 1/2 tertahan saringan 3/8.

Tabel 5. Hasil Uji Permeabilitas Beton Porous

Variasi 1		
WAKTU ALIRAN (detik)		
28 HARI		
SAMPLE 1	SAMPLE 2	SAMPLE 3
22,16	22,13	14,34
20,22	21,83	15,09
21,46	22,47	16,26
AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE
21,28	22,14	15,23
19,55		
PERMEABILITAS (cm/dtk ²)		
SAMPLE 1	SAMPLE 2	SAMPLE 3
1,61	1,61	2,48
1,76	1,63	2,36
1,66	1,59	2,19
AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE
1,68	1,61	2,35
1,88		
Variasi 2		
WAKTU ALIRAN (detik)		
28 HARI		
SAMPLE 1	SAMPLE 2	SAMPLE 3
16,93	9	12,31
17,86	9,47	10,79
16,94	10,03	11,64
AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE
17,24	9,50	11,58
12,77		
PERMEABILITAS (cm/dtk ²)		
SAMPLE 1	SAMPLE 2	SAMPLE 3
2,10	3,96	2,89
2,00	3,76	3,30
2,10	3,55	3,06
AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE
2,07	3,76	3,09
2,97		

(a) Variasi 1

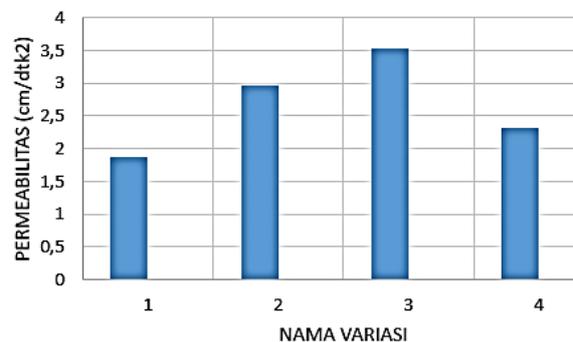
(b) Variasi 2

(c) Variasi 3

Variasi 3		
WAKTU ALIRAN (detik)		
28 HARI		
SAMPLE 1	SAMPLE 2	SAMPLE 3
23,16	17,08	10,7
23,39	15,17	11,84
23,74	14,47	11,5
AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE
23,43	15,57	11,35
16,78		
PERMEABILITAS (cm/dtk ²)		
SAMPLE 1	SAMPLE 2	SAMPLE 3
1,54	2,09	3,33
1,52	2,35	3,01
1,50	2,46	3,10
AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE
1,52	2,30	3,15
2,32		

(d) Variasi 4

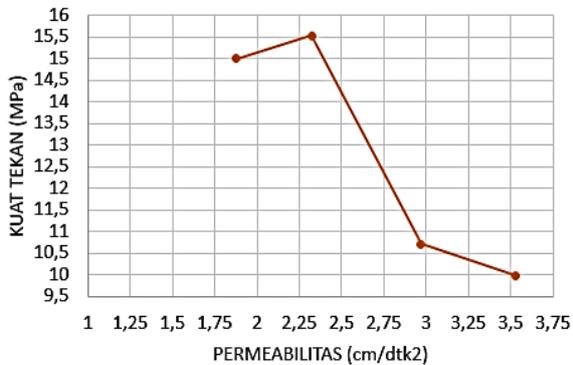
Variasi 4		
WAKTU ALIRAN (detik)		
28 HARI		
SAMPLE 1	SAMPLE 2	SAMPLE 3
12,44	9,72	8,8
10,28	10,79	10,3
10,19	8,99	10,27
AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE
10,97	9,83	9,79
10,20		
PERMEABILITAS (cm/dtk ²)		
SAMPLE 1	SAMPLE 2	SAMPLE 3
2,86	3,67	4,05
3,47	3,30	3,46
3,50	3,96	3,47
AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE
3,28	3,64	3,66
3,53		



Gambar 3. Grafik Hubungan Variasi Komposisi Ukuran Agregat dengan Hasil Permeabilitas Beton Porous

Dari hasil pengujian kuat tekan dan permeabilitas pada 4 variasi beton porous yang diteliti, tanpa melihat komposisi ukuran agregat dari sampel variasi tersebut, juga dapat dilihat

permeabilitas cenderung akan lebih tinggi jika kuat tekan semakin rendah. Beton dengan permeabilitas tinggi berarti memiliki rongga atau pori yang lebih banyak sehingga kepadatan beton menurun, begitu pula dengan kuat tekan dari beton tersebut.



Gambar 4. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Permeabilitas Beton Porous

PENUTUP

Kesimpulan

Dari penelitian pada beton porous dengan komposisi agregat ukuran 9,52 mm atau lolos saringan 1/2" namun tertahan saringan 3/8" dan yang tiga variasi lainnya yang masing-masing ditambah 45% agregat ukuran 12,7 mm atau lolos saringan 3/4" namun tertahan saringan 1/2", ukuran 4,75 mm atau lolos saringan 1/2" namun tertahan saringan nomor 4, dan 2,36 mm atau lolos saringan nomor 4 namun tertahan saringan nomor 8, dapat disimpulkan bahwa:

1. Beton porous Variasi 4 dengan campuran 55% agregat ukuran 9,52 mm atau lolos saringan 1/2" namun tertahan saringan 3/8" bersama 45% agregat ukuran 12,7 mm atau lolos saringan 3/4" namun tertahan saringan 1/2" menghasilkan nilai kuat tekan optimum sebesar 15,517 MPa.
2. Semakin kecil ukuran agregat pada komposisi campuran agregat, maka peningkatan nilai kuat tekan dari umur beton 7 hari hingga umur beton 28 hari akan semakin meningkat. Peningkatan nilai kuat tekan tertinggi dari 7 hari ke 28 hari umur beton sebesar 49,29%

terjadi pada komposisi campuran 55% agregat ukuran 9,52 mm atau lolos saringan 1/2" namun tertahan saringan 3/8" bersama 45% agregat yang lolos saringan nomor 4 namun tertahan saringan nomor 8. Sedangkan peningkatan nilai kuat tekan 7 hari ke 28 hari paling rendah sebesar 9,08% terjadi pada komposisi campuran campuran 55% agregat ukuran 9,52 mm atau lolos saringan nomor 1/2" namun tertahan saringan 3/8" bersama 45% agregat ukuran 12,7 mm atau lolos saringan 3/4" namun tertahan saringan 1/2".

3. Beton porous yang campurannya hanya menggunakan 1 ukuran agregat, yaitu ukuran 9,52 mm atau lolos saringan 1/2" namun tertahan saringan 3/8" menghasilkan nilai permeabilitas optimum sebesar 3,527 cm/detik².
4. Variasi campuran beton porous yang efektif mengalirkan air namun memiliki kekuatan yang cukup kuat dari 4 variasi komposisi yang diuji adalah Variasi 3 atau campuran 55% agregat ukuran 9,52 mm atau lolos saringan 1/2" namun tertahan saringan 3/8" bersama 45% agregat ukuran 12,7 mm atau lolos saringan 3/4" namun tertahan saringan 1/2" dengan kuat tekan 15,517 MPa dan dengan nilai permeabilitas 2,322 cm/detik².

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian beton porous lebih lanjut dengan sampel variasi komposisi ukuran agregat lebih dari dua macam ukuran untuk melihat apakah masih ada variasi komposisi beton porous yang menghasilkan nilai kuat tekan dan permeabilitas lebih tinggi.
2. Perlu dilakukan penelitian beton porous dengan sampel lebih dari 5 untuk setiap variasi agar hasil pengujian lebih akurat.
3. Proses mix beton porous harus sama untuk setiap variasi yang berbeda, termasuk pada proses vibrasi menggunakan vibrator, agar tingkat pemadatan untuk setiap sampel pada setiap variasi juga sama.
4. Perlu dilakukan penelitian dengan sumber agregat dari beragam daerah untuk melihat pengaruh macam agregat pada kuat tekan dan permeabilitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Antoni, 2008. *Green Concrete: Porous Concrete, Pelajaran dari LKTB 2008*.
- Badan Standarisasi Nasional, 2011. SNI 1974:2011; *Cara uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*
- Crouch, L.K., Pitt, J., Hewitt, R., 2007. *Aggregate effects on pervious Portland cement concrete static modulus of elasticity, Journal of Materials Civil Engineering*.
- Diterjemahkan oleh : Suryoatmono, Bambang, Refika Aditama, . Bandung.
- Ginting, Arusmalem, Romanus Lanang Latuan, Lukas Samun, 2018. *Perbedaan Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous Akibat Pemadatan*.
- Ginting, Arusmalem., 2015. *Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous dengan Bahan Pengisi Styrofoam*.
- Harber, P.J., 2005. *Applicability of No-Fines Concrete as a Road Pavement*, Research Project, Bachelor of Engineering, Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland.
- Made, A. M., and S. Rogge., 2013. *Development of High Quality Pervious Concrete Specifications for Maryland Conditions*. 9-12.
- Mulyono, Tri., 2003. *Teknologi Beton*, Penerbit ANDI Yogyakarta.
- Nawy, G. Edward., 1998. *Beton Bertulang: Suatu pendekatan dasar*, PT. Eresco, Bandung.
- Neville, A. M., 1995. *Properties of Concrete (4th ed.)*. Pearson Education Ltd. Harlow, Essex, England.
- NRMCA, 2004. *“What, Why, and How? Pervious Concrete,” Concrete in Practice series, CIP 38, Silver Spring, Maryland*.
- TechBrief, 2012. *Pervious Concrete, FHWA-HIF-13-00, 2-3*.
- Tennis, P., Leming, M., & Kiefer, C., 2004. *Pervious Concrete Pavements*.
- Tjokrodinuljo, K. 1992. *Beton Non-Pasir Dengan Agregat Dari Pecahan Genteng Keramik*. Laporan Penelitian. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 2007. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Wang, Chu-Kia., Salmon, Charles G., 1993. *Disain Beton Bertulang*, Erlangga, Jakarta.

Halaman ini sengaja dikosongkan