

KUAT TEKAN, POROSITAS DAN PERMEABILITAS *PERVIOUS CONCRETE* DENGAN CAMPURAN AGREGAT LIMBAH GERABAH

Herna Puji Astutik¹⁾, Sholihin As'ad²⁾, Achmad Basuki,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: herna.pujiastutik@yahoo.com

Abstract

One of an effort to reduce water runoff and increase infiltration into the soil is environment-based pervious concrete drainage technologies. As a mixture of aggregate, the waste of burned clay fraction in the pervious concrete had its own advantages. The waste of burned clay aggregate is good in a strength, and bigger pores than concrete. This study aims to determine the compressive strength, porosity, permeability recycle of waste of burned clay ; the relationship between compressive strength and porosity; and the relationship between porosity and permeability of the pervious concrete with a mixture. This research was in laboratory experimental method. Samples were cylinder pervious concrete with of coarse gravel aggregate with burned clay fraction by 0%, 44.6%, 50.9% and 100%. Each mixture consisted of three test specimens. Specimens of compressive strength test was cylinder form in 15 cm diameter and 30 cm height, while the specimen test of permeability and porosity test were a cylinder in 10 cm diameter and 6.3 cm height. The compressive strength test was conducted in the age of 7, 14, 21, and 28 days, while porosity and permeability test at 28 days of age concrete. The concrete porosity were tested with VIM (Void in Mix) method, Add permeability with falling water permeability test method which were also done in the age of 28 days. Replacement of gravel with the burned clay fraction aggregate had increased the porosity and the permeability coefficient of concrete. However this replacement decreased compressive strength. Pervious concrete compressive strength test results generated from the mixing of the aggregate fraction of burned clay waste 0%, 44.6%, 50.9%, and 100% were 5,662 MPa; 5,473 MPa; 3,963 MPa; 2,925 MPa respectively. Pervious concrete porosity test resulted that the average porosity of sample were 29.048%, 30.33%, 31.941%, 39.317% for 0%, 44.6%, 50.9%, and 100% of burned clay aggregate respectively. While their, permeability specimens contained cement as a binding substance were 0.758 cm/sec, 0.1203 cm/sec, 0.1343 cm/sec; 0.2487 cm/sec and without cement were 18.4798 cm/sec; 21.0162 cm/sec; 21.7312 cm/sec; 25.9522 cm/sec. Those data showed that the greater concrete porosity, the greater coefficient permeability consequently the compressive strength decreased.

Keywords: Waste, Pervious Concrete, Burned Clay, Compressive Strength, Permeability, Porosity.

Abstrak

Perubahan fungsi lahan yang terus meningkat yang salah satunya diakibatkan dari pembangunan baru berdampak terhadap perubahan tata air alamiah sehingga memperluas lapisan kedap air. Salah satu upaya mengurangi limpasan air dan menambal infiltrasi kedalam tanah merupakan teknologi drainase *pervious concrete* berwawasan lingkungan. Sebagai agregat campuran, limbah pecahan gerabah pada *pervious concrete* memiliki kelebihan tersendiri. Limbah pecahan gerabah memiliki nilai kuat patah, sifat mudah menyerap air, dan memiliki pori-pori material yang lebih besar dibanding batu sehingga mudah meneruskan dan meluluskan aliran air ke dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan, porositas, permeabilitas, hubungan antara kuat tekan dengan porositas dan mengetahui hubungan antara porositas dan permeabilitas pada *pervious concrete* dengan campuran agregat limbah gerabah. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di laboratorium. Variasi penggantian agregat kasar kerikil dengan agregat pecahan limbah gerabah sebesar 0%, 44.6%, 50.9% dan 100%. Pada masing-masing variasi terdiri dari 3 benda uji. Benda uji kuat tekan adalah silinder beton diameter 15 cm tinggi 30 cm, sedangkan benda uji permeabilitas dan porositas adalah silinder diameter 10 cm dan tinggi 6,3 cm. Pengujian kuat tekan dengan umur 7,14,21, dan 28 hari, sedangkan porositas dan permeabilitas beton diuji pada umur beton 28 hari. Uji porositas dengan metode VIM (*Void in Mix*), permeabilitas dengan metode *falling head water permeability test* juga dilakukan pada benda uji umur 28 hari. Penggantian kerikil dengan limbah pecahan gerabah ternyata meningkatkan nilai porositas dan koefisien permeabilitas beton tetapi menurunkan nilai kuat tekan beton. Dari hasil pengujian uji kuat tekan umur 28 hari *pervious concrete* dengan variasi 0%, 44.6%, 50.9%, 100% campuran pecahan agregat limbah gerabah memberikan hasil 5.662 MPa; 5.473 MPa; 3.963 MPa; 2.925 MPa. Pengujian nilai porositas *pervious concrete* yang dihasilkan dari pencampuran pecahan agregat limbah gerabah 0%, 44.6%, 50.9%, dan 100% adalah 29.048%; 30.33 %; 31.941 %; 39.317 %. Nilai uji permeabilitas menggunakan bahan pengikat semen dengan variasi 0%, 44.6%, 50.9%, 100% campuran pecahan agregat limbah gerabah memberikan hasil 0,0758 cm/dtk; 0,1203 cm/dtk; 0,1343 cm/dtk; 0,2487 cm/dtk dan hasil tanpa semen adalah 18.4798 cm/dtk; 21.0162 cm/dtk; 21.7312 cm/dtk; 25.9522 cm/dtk. Dari data tersebut menunjukkan hubungan kuat tekan terhadap porositas adalah bahwa semakin besar nilai kuat tekan maka nilai porositas semakin sedikit. Sedang semakin besar nilai porositas semakin besar pula nilai permeabilitas yang dihasilkan.

Kata kunci: Limbah, Pervious Concrete, Gerabah, Kuat Tekan, Permeabilitas, Porositas.

PENDAHULUAN

Perubahan fungsi lahan yang terus meningkat yang salah satunya diakibatkan dari pembangunan baru, mengakibatkan perubahan fungsi lahan dari kawasan lindung, budidaya pertanian, tangkapan air menjadi kawasan hunian yang berdampak terhadap perubahan tata air alamiah. Perubahan lahan tersebut telah memperluas lapisan kedap air, sehingga berkurangnya kesempatan air untuk berinfiltrasi kedalam tanah dan memperbesar limpasan permu-

kaan air yang jatuh ke bawah. Sebagai upaya mengurangi limpasan air dan menambah infiltrasi kedalam tanah maka teknologi drainase berwawasan lingkungan seperti beton lulus (*pervious concrete*). *Pervious concrete* memungkinkan lolos air pada beton atau disebut *porous concrete*. Limbah pecahan gerabah memiliki sifat mudah menyerap air, memiliki pori-pori material yang lebih besar dibanding batu sehingga mudah meneruskan dan meluluskan jalannya air ke dalam tanah. Sebagaimana pada beton konvensional, bahan utama penyusun *pervious concrete* adalah semen portland, agregat, air dan bahan tambah lainnya dengan komposisi tertentu. Yang berbeda pada *pervious concrete* adalah agregat yang digunakan hanya agregat kasar saja atau dengan sedikit sampai tidak ada 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, kuat lentur, porositas, dan permeabilitas yang sesuai dengan karakteristik *pervious concrete*. *Replacement* agregat pada campuran beton sangat sering terjadi yang bertujuan meningkatkan mutu beton tersebut.

LANDASAN TEORI

Sebagai agregat campuran, limbah pecahan gerabah pada *pervious concrete* memiliki kelebihan tersendiri. Penelitian tentang tinjauan kuat tekan porositas dan permeabilitas untuk mendapatkan komposisi material yang baik dari *pervious concrete* dengan campuran agregat limbah gerabah sebagai bahan konstruksi diperlukan sebagai material alternatif pada lapisan permukaan tanah.

Dalam hal ini Gerabah memiliki nilai kuat patah. Kuat patah adalah ukuran daya tahan badan keramik terhadap gaya pematah yang diberikan. Agregat tersebut memiliki angka pori yang lebih tinggi dibandingkan dengan agregat kerikil. *Replacement* agregat dalam *pervious concrete* disini bertujuan untuk meningkatkan mutu beton tersebut.

Kegiatan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian di laboratorium maka disiapkan alat dan bahan. Melakukan uji pendahuluan untuk mencari komposisi beton berpori. Rencana proporsi komposisi variasi campuran pecahan limbah gerabah pada *pervious concrete* adalah 0%; 44,6%; 50,9%; 100%. Membuat adukan beton. Membuat benda uji tekan, porositas dan benda uji permeabilitas. Perawatan benda uji. Melakukan pengujian kuat tekan, permeabilitas, dan porositas. Melakukan analisis data hasil pengujian untuk mendapatkan kesimpulan hubungan antara variabel-variabel yang diteliti pada penelitian. Pada tahap akhir dilakukan pengambilan kesimpulan dan saran dari analisis pengujian yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

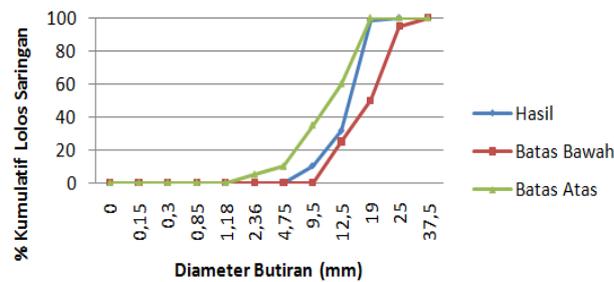
Pengujian terhadap agregat kasar seragam ukuran 4,75-20 mm (kerikil alami) yang dilaksanakan dalam penelitian ini meliputi pengujian berat jenis (*specific gravity*), keausan (*abrasion*) dan gradasi agregat kasar. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 7, 14, 21 dan 28 hari dengan menggunakan *Compression Testing Machine* untuk mendapatkan beban maksimum yaitu beban pada saat beton hancur ketika menerima beban tersebut (P_{max}). Pengujian permeabilitas pada penelitian ini menggunakan prinsip *falling head permeability*. Benda uji yang dipakai untuk pengujian permeabilitas adalah *pervious concrete* ukuran diameter 10 dan tinggi 6,3 cm dan campuran agregat tanpa semen dengan cetakan ukuran diameter 10 dan tinggi 6,3 cm. Variasi benda uji yaitu berdasarkan persentase agregat limbah pecahan gerabah 0%, 44,6%, 50,9%, 100% dengan jumlah 3 sampel tiap variasi.

Hasil Pengujian Bahan Dasar

Bahan dasar yang di uji dalam penelitian ini adalah agregat kasar kerikil alami dan agregat kasar pecahan limbah gerabah dan semen PCC. Pada Tabel 1 menyajikan hasil pengujian agregat kasar.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat kasar kerikil

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
<i>Bulk specific gravity</i>	2,542 gr/cm ³	-	-
<i>Bulk specific SSD</i>	2,605 gr/cm ³	2,5-2,7	Memenuhi Syarat
<i>Apparent specific gravity</i>	2,714 gr/cm ³	-	-
<i>Absorbtion</i>	2,5 %	-	-
Abrasi	38,22 %	Maksimum 50 %	Memenuhi syarat
Modulus Halus	7,597	5-8	Memenuhi syarat
Kandungan Lumpur	0,8%	Maksimum 5 %	Memenuhi syarat
Absorsi Lapis Semen	2,2 %	-	-



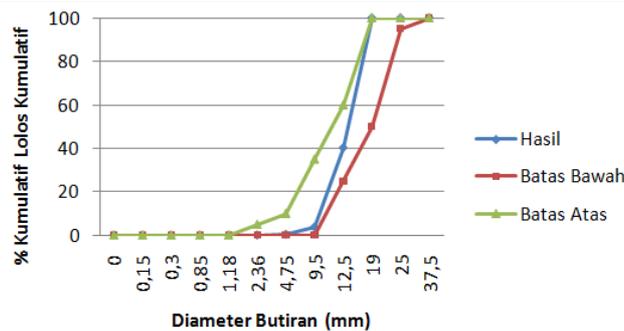
Gambar 1. Gradasi Agregrat Kerikil

Gambar 1 menyajikan hasil pengujian gradasi agregrat kasar kerikil yang digunakan dan memenuhi syarat batas dari ASTM C-33.

Tabel 2 menyajikan hasil pengujian agregrat kasar limbah gerabah.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregrat Kasar Gerabah

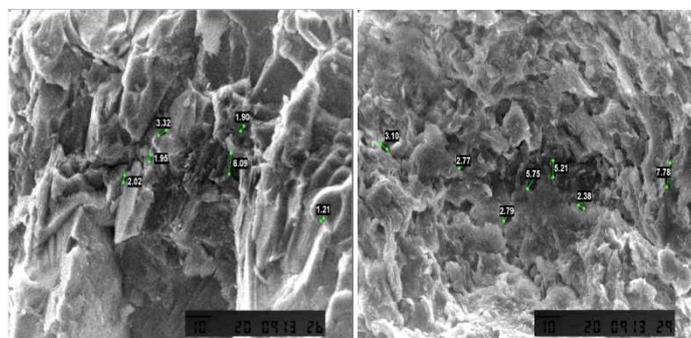
Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
<i>Bulk specific gravity</i>	2,215 gr/cm ³	-	-
<i>Bulk specific SSD</i>	2,512 gr/cm ³	2,5-2,7	Memenuhi syarat
<i>Apparent specific gravity</i>	3,418 gr/cm ³	-	-
<i>Absorbtion</i>	13,36 %	-	-
Abrasi	47,66 %	Maksimum 50 %	Memenuhi syarat
Modulus Halus	7,555	5-8	Memenuhi syarat
Kandungan Lumpur	3,4 %	Maksimum 5 %	Memenuhi syarat
Absorsi Lapis Semen	10,248 %	-	-



Gambar 2. Grafik Gradasi Agregrat Gerabah

Gambar 2 menyajikan hasil analisis saringan agregrat kasar gerabah yang memenuhi syarat batas ASTM C-33.

Pembuatan *pervious concrete* digunakan agregrat kasar(kerikil dan gerabah) dengan gradasi 4,75-20 mm yang diharapkan dapat memberi rongga yang cukup untuk membuat pori yang saling terhubung. Sehingga *pervious concrete* mempunyai karakteristik *pervious concrete* yaitu porositas dan permeabilitas yang baik. Hasil Pengujian Scan Electronic Microscope (SEM) terhadap agregrat batu alam dan agregrat gerabah dapat dilihat dalam Gambar 3, dimana dalam gambar tersebut dapa terlihat perbandingan antara batu dan gerabah. Agregrat gerabah memiliki jumlah , ukuran pori lebih banyak dan pori lebih besar dibanding agregrat batu.



Gambar 3. Pori agregrat batu (kiri) dan gerabah (kiri)

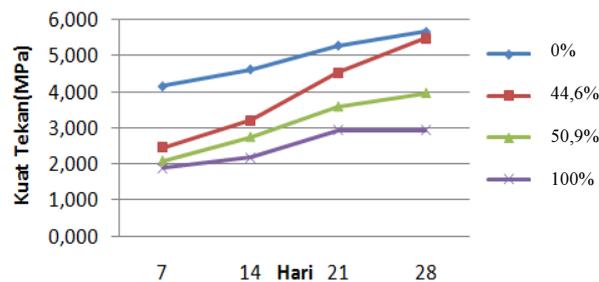
Hasil Uji dan Analisa

Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat di Tabel 3.

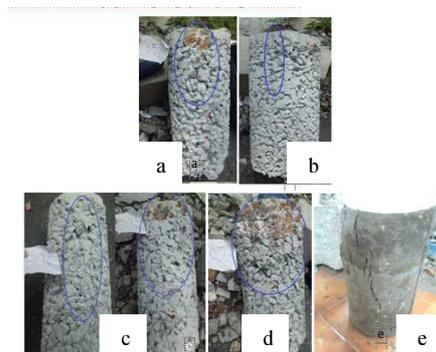
Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Pervious Concrete* Umur 7, 14, 21 dan 28 hari

Variasi	7	14	21	28
0%	4,152	4,624	5,284	5,662
44,6%	2,453	3,208	4,529	5,473
50,9%	2,076	2,736	3,586	3,963
100%	1,887	2,170	2,925	2,925



Gambar 4. Pengaruh Variasi Kandungan Agregat Gerabah *Pervious Concrete* Terhadap Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan *pervious concrete* pada benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 3. Dari Tabel 3 dan Gambar 4 diatas dapat dilihat bahwa variasi campuran gerabah terhadap kuat tekan *pervious concrete*. Kuat tekan *pervious concrete* yang memakai variasi campuran gerabah 0% didapat kuat tekan yang lebih tinggi dari pada variasi campuran gerabah 44,6%, 50,9% dan 100%. Yang masing-masing diantara variasi pengujian mengalami bentuk kerusakan benda uji pasca pengujian yang berbeda.



Gambar 5. Pola Kerusakan Setelah Pengujian Kuat Tekan; (a) Variasi 0%, (b) Variasi 44,6%, (c) Variasi 50,9%, (d) Variasi 100%, (e) Beton Konvensional

Gambar 5 memperlihatkan pola bentuk kerusakan setelah pengujian kuat tekan. Pada Gambar 5.a variasi 0 % kerusakan benda uji berupa retak garis dan benda uji masih dalam keadaan nyaris utuh. Pada Gambar 5.b variasi 44,6 % kerusakan benda uji pasca pengujian mengalami keretakan dan sedikit mengalami pelepasan material pada ujung pengujian. Pada Gambar 5.c variasi 50,9% kerusakan benda uji berupa retak disertai pelepasan material pada benda uji. Dan pada Gambar 5.d variasi 100% benda mengalami kehancuran hampir 50,9% dari bentuk benda uji.

Perbedaan pola kerusakan antara beton konvensional dengan *pervious concrete* adalah pada *pervious concrete* terjadi pelepasan material pada ujung tumpu beban dan terjadi retakan halus pada benda uji, dan sedangkan pada beton konvensional retakan terlihat jelas tanpa menimbulkan retakan halus dan pelepasan material pada benda uji. Retakan halus dapat dilihat pada Gambar 5.c kiri, sedang pola kerusakan beton konvensional dapat dilihat pada Gambar 5.e.

Porositas

Porositas (*Void In Mix*) merupakan volume pori dalam campuran yang telah dipadatkan atau banyaknya rongga udara yang berada dalam campuran beton porus. Adapun komposisi berat tiap masing-masing agregrat dapat dilihat dalam Tabel 4

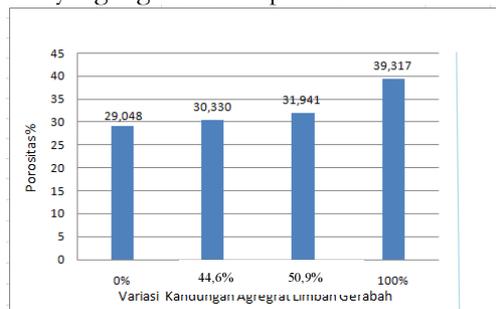
Tabel 4 Komposisi *Pervious Concrete* Silinder Tinggi 6,3 Cm

% Gerabah	Gerabah	Berat (kg)		Total	W. Agg kerikil (%)	W. Agg geabah (%)	W.semen (%)
		Kerikil	Semen				
0	0	0,1854	0,0464	0,2318	79,994	0,000	20,006
44,6	0,0452	0,1405	0,0461	0,2317	60,654	19,490	19,856
50,9	0,0898	0,0932	0,0458	0,2288	40,726	39,269	20,006
100	0,1807	0	0,0452	0,2259	0,000	80,006	19,994

Tabel 5. Hasil Pengujian Porositas Berdasarkan Metode Perhitungan Porositas VIM

No	Variasi	Porositas
1	0%	29,048
2	44,6%	30,330
3	50,9%	31,941
4	100%	39,317

Dari data pada Tabel 5 diperoleh grafik nilai porositas dengan variasi penggantian agregrat kasar kerikil dengan gerabah pada campuran *pervious concrete* yang digambarkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Porositas Metode VIM Pada *Pervious Concrete* dengan Berbagai Kadar Limbah Gerabah

Dari data pada hasil pengujian porositas dengan metode VIM (*Void In Mix*) diperoleh hubungan antara variasi pencampuran agregrat gerabah dan porositas yang terjadi pada *pervious concrete* seperti Gambar 6. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa hubungan yang terjadi antara variasi pencampuran agregrat limbah gerabah dan porositas yang terjadi. Semakin besar variasi penggunaan agregrat limbah gerabah maka semakin besar porositas yang terjadi dari variasi pencampuran agregrat limbah gerabah yang telah ditentukan yaitu 0%, 44,6%, 50,9%, dan 100%. *Pervious Concrete* mempunyai kecenderungan berisi rongga akibat tidak menggunakannya agregrat halus dalam rancang campur beton tersebut.

Permeabilitas

Hasil pengujian permeabilitas disajikan dalam Tabel 6 dan Tabel 7

Tabel 6. Hasil Pengujian Permeabilitas Dengan Semen

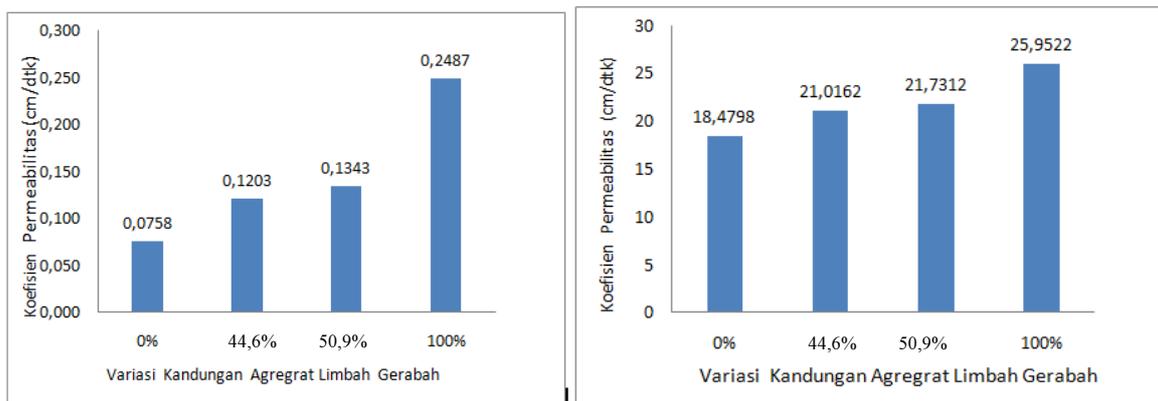
No	Variasi	Koefisien Permeabilitas
1	0%	0,0758
2	44,6%	0,1203
3	50,9%	0,1343
4	100%	0,2487

Dari hasil perhitungan diatas dapat dibandingkan nilai permeabilitas yang menggunakan variasi agregrat campuran limbah gerabah dengan semen dan tanpa semen.

Tabel 7. Hasil Pengujian Permeabilitas Tanpa Semen

No	Variasi	Koefisien Permeabilitas
1	0%	18,4798
2	44,6%	21,0162
3	50,9%	21,7312
4	100%	25,9522

Dari Tabel 6 dan Tabel 7 dapat dilihat perbandingan nilai koefisien permeabilitas yang didapat dengan semen maupun tanpa semen. Pengaruh semen pada campuran terhadap nilai koefisien permeabilitas yang sangat besar. Semen sebagai bahan pengikat sekaligus berfungsi mengisi ruang-ruang kosong dalam sela-sela agregrat tersebut. Penggunaan agregrat pecahan limbah gerabah sangat berpengaruh terhadap nilai permeabilitas, Semakin banyak variasi campuran maka nilai permeabilitas semakin tinggi. Perbandingan nilai permeabilitas tersebut disajikan pada Gambar 7.

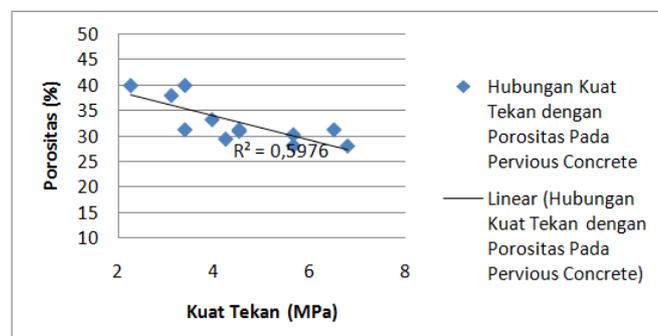


Gambar 7. Hubungan Permeabilitas dengan Variasi Penggunaan Agregrat Gerabah; (a) dengan semen, (b) tanpa semen

Nilai permeabilitas menggunakan semen pada *pervious concrete* menunjukkan peningkatan nilai permeabilitas pada setiap variasi campuran limbah gerabah. Pada pengujian permeabilitas pada *pervious concrete* didapat hasil bahwa semakin besar variasi penggunaan agregrat gerabah maka akan didapat permeabilitas yang tinggi hal ini dapat terjadi lebih banyak penggunaan gerabah maka angka pori dalam beton tersebut semakin besar. Gerabah memiliki angka pori lebih besar dibanding kerikil. Penggunaan variasi yang lebih tinggi akan mempengaruhi nilai permeabilitas beton tersebut.

Hubungan Antara Nilai Kuat Tekan Beton dan Nilai Porositas

Hubungan antara nilai kuat tekan beton dan koefisien permeabilitas dalam *pervious concrete* ditunjukkan pada Gambar 8.

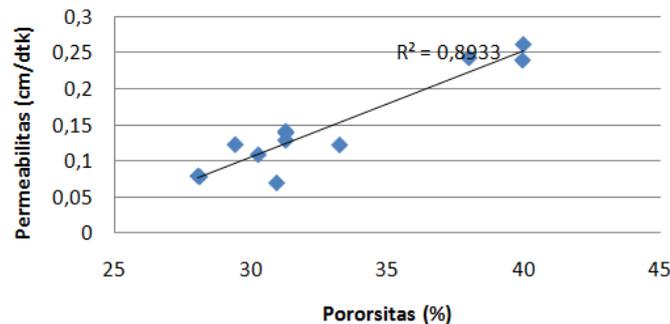


Gambar 8. Hubungan kuat tekan dan nilai porositas *pervious concrete* menggunakan berbagai variasi campuran agregrat gerabah

Hubungan antara kuat tekan dan porositas berbanding terbalik, artinya semakin tinggi porositas pada *pervious concrete* maka nilai kuat tekan akan semakin kecil. Hal ini terjadi karena semakin tinggi porositas diakibatkan dari tingginya angka pori yang ditimbulkan, angka pori mempengaruhi nilai kuat tekan beton tersebut, semakin besar angka pori maka kuat tekan beton tersebut semakin rendah.

Hubungan Antara Nilai Porositas dan Koefisien Permeabilitas Beton

Hubungan nilai porositas dan koefisien permeabilitas pada *pervious concrete* dapat dilihat dalam Gambar 8.



Gambar 9. Hubungan Permeabilitas dan Porositas

Semakin tinggi porositas maka beton akan semakin besar pula nilai permeabilitas yang dihasilkan. Hal ini karena semakin besar koefisien porositas maka ruang kosong atau pori yang dihasilkan semakin besar sehingga mempermudah jalanya air untuk melewati beton tersebut, sehingga nilai permeabilitas semakin besar,

SIMPULAN

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

1. Nilai uji kuat tekan umur 28 hari *pervious concrete* dengan variasi 0%, 44,6%, 50,9%, 100% campuran pecahan agregrat limbah gerabah memberikan hasil 5,662 MPa; 5,473 MPa; 3,963 MPa; 2,925 MPa. Porositas *pervious concrete* dengan campuran tersebut adalah 29,048%; 30,33 %; 31,941 %; 39,317 %. Permeabilitas menggunakan uji semen berkontribusi pada nilai permeabilitas beton *pervious*. Hasil pengujian permeabilitas benda uji dengan kandungan agregrat limbah gerabah 0%, 44,6%, 50,9%, 100% adalah 0,0758 cm/dtk; 0,1203 cm/dtk; 0,1343 cm/dtk; 0,2487 cm/dtk dan nilai uji permeabilitas tanpa semen dengan variasi 0%, 44,6%, 50,9%, 100% campuran pecahan agregrat limbah gerabah memberikan hasil 18,4798 cm/dtk; 21,0162 cm/dtk; 21,7312 cm/dtk; 25,9522 cm/dtk. Nilai ini jauh lebih besar dibandingkan dengan hasil pengujian pada benda uji beton *pervious concrete*.
2. Pengaruh penggunaan berbagai variasi campuran pecahan limbah gerabah terhadap *pervious concrete* terhadap hubungan nilai kuat tekan dan porositasnya adalah semakin besar nilai porositas pada benda uji maka nilai kuat tekan semakin rendah, begitu pula sebaliknya semakin kecil nilai porositas maka nilai kuat tekan semakin besar. Porositas dan permeabilitas berbanding lurus, dimana semakin besar nilai permeabilitas maka nilai porositas akan semakin besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Dr.Tech.Ir. Sholihin As'ad, MT dan Achmad Basuki, ST, MT yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- ACI 522-010. (2010). Report On Pervious Concrete. American Concrete Institute Committee 522
- Amerikan Society for testing and materials.1918. Concrete And Material Agregates (Including Manual Of Agregates And Concrete Testing). ASTM. Philadelphia.
- Chopra, Manoj Wanielista Marty, Craig Ballock, and Josh Spence. 2007. Construction and Maintenance Assessment of Pervious Concrete Pavements. Stormwater Management Academy. University of Central Florida Orlando, FL 32816.
- Immanuel, Roy. 2008. Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Lentur pada Pervious Concrete. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Mughofil, M Sony. 2008. Studi Pemanfaatan Silika Dari Abu Jerami Padi Sebagai Tambahan Untuk Meningkatkan Kualitas Sifat Fisis Gerabah. Tugas Akhir. Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sebelas Maret Surakarta

- National Ready Mixed Concrete Association 888-84nrmca.2004. ,Pervious Concrete. Concrete in practice. 888-84NRMCA
- Obla, Kartthik H. 2010 .The Indian Concrete Journal
- Paul D. Tennis, Michael L. Leming, and David J. Akers. . 2004. *Pervious Concrete Pavements*. Portland Cement Association
- Prabowo, Daryanto Ari. 2013. *Desain Beton Berpori Untuk Perkerasan Jalan Yang Ramah Lingkungan*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Roziafanto, Achmad Nandang. 2008. *Studi Pemanfaatan Silika Dan Ampas Tebu Sebagai Bahan Aditif Pada Pembuatan Gerabah*. Tugas Akhir. Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sebelas Maret Surakarta
- Tjokrodimuljo, K. 2009. *Teknologi Beton*. Teknik Sipil Universitas Gajah Mada; Yogyakarta.
- Wanielista, M., M. Chopra, J. Spence, and C. Ballock. 2007. *Hydraulic Performance Assessment of Pervious Concrete Pavements for Stormwater Management Credit*. Final Report. Florida Department of Transportation, Tallahassee.