

Analisis Laju Infiltrasi Dan Kekuatan Porous Paving Block Substitusi Fly Ash Dan Cangkang Kerang Darah

Devita Mayasari^{1*)}; Tri Yuhanah¹; Yulisya Zuriatni¹

1. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan,
Institut Teknologi PLN, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11750, Indonesia

^{*)}Email: devita@itpln.ac.id

Abstract

Inundation control in an area can be done by maximizing the absorption of water into the soil. Porous paving blocks have high porosity due to their higher ability to pass water, but lower strength compared to conventional paving blocks. Blood clams (Anadara Granosa) with hard shells can be used as building materials. Fly ash as a waste of power plant used as cement substitute. This research uses a porous paving block made using fly ash (FA) as cement and Anadara Granosa shells (CK) as coarse aggregate. The ratio of the materials for making porous paving blocks is 4; 3; 2.5; 2 and 1.5 with cement substituted with 30% FA. This research purpose is to determine the effect on the compressive strength and infiltration rate of porous paving blocks by knowing the coefficient of permeability. The compressive strength of the porous paving block obtained are V_1 14,83 MPa, V_2 1,5 MPa, V_3 4,66 MPa, V_4 4,58 MPa, V_5 8,75 MPa, V_6 4,50 MPa. While the average coefficient of permeability are V_1 0,0045 cm/s, V_2 0,0048 cm/s, V_3 0,0040 cm/s, V_4 0,0038 cm/s, V_5 0,0051 cm/s, and V_6 0,005 cm/s. The use of Anadara Granosa shells with ratio 1(0.7PC + 0.3 FA) : 2 CK reaches the optimum permeability.

Keywords: porous paving block, compressive strength, coefficient of permeability, Anadara Granosa shells, fly ash

Abstrak

Pengendalian genangan di suatu kawasan salah satunya dapat dilakukan dengan mengoptimalkan penyerapan air ke dalam tanah. Porous paving block memiliki nilai porositas tinggi karena memiliki kemampuan meloloskan air yang lebih tinggi namun kekuatannya lebih rendah dibandingkan dengan paving blok konvensional. Limbah cangkang kerang darah yang keras dimanfaatkan menjadi material penyusun bahan bangunan. Limbah PLTU berupa fly ash dimanfaatkan sebagai substitusi semen. Pembuatan porous paving block dengan bahan limbah fly ash (FA) sebagai semen dan cangkang kerang darah (CK) sebagai agregat kasar. Perbandingan bahan pembuatan paving block porous adalah 4; 3; 2,5; 2 dan 1,5 dengan semen disubstitusi 30 % FA. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan umur beton 7, 14, dan 28 hari. Laju infiltrasi porous paving block diuji pada umur 28 hari melalui koefisien permeabilitas. Penelitian memberikan hasil kuat tekan porous paving block, yaitu V_1 14,83 MPa, V_2 1,5 MPa, V_3 4,66 MPa, V_4 4,58 MPa, V_5 8,75 MPa, V_6 4,50 MPa. Sedangkan nilai koefisien permeabilitas rata-rata porous paving block masing-masing V_1 0,0045 cm/s, V_2 0,0048 cm/s, V_3 0,0040 cm/s, V_4 0,0038 cm/s, V_5 0,0051 cm/s, V_6 0,0050 cm/s. Penggunaan perbandingan cangkang kerang darah 1(0,7PC + 0,3FA) : 2 CK mencapai koefisien permeabilitas yang optimum.

Kata kunci: porous paving block, kuat tekan, koefisien permeabilitas, cangkang kerang darah, fly ash

1. PENDAHULUAN

Curah hujan tinggi yang terjadi di suatu kawasan dapat menyebabkan genangan karena adanya perubahan fungsi lahan dari terbuka hijau menjadi wilayah pengembangan. Pengendalian genangan dapat dilakukan dengan memaksimalkan penyerapan air ke dalam tanah [1]. *Porous paving block* merupakan paving block menggunakan agregat kasar sehingga banyak terdapat rongga di dalamnya.

Paving block juga disebut bata beton (*concrete block*) atau *cone block* dengan salah satu komponen penyusun semen. Di bidang konstruksi, kebutuhan semen cukup besar sehingga mendorong perlunya bahan pengganti bahan baku yang memiliki kandungan senyawa kimia menyerupai semen. Salah satunya dengan cara memanfaatkan produk samping dari hasil industri batu bara, yaitu *fly ash*. *Fly ash* merupakan material padat hasil PLTU dari pembakaran batubara. Geografis Indonesia memiliki garis pantai yang panjang serta kekayaan biota laut dan pantai. Kerang darah (*Anadara Granosa*) sebagai sumber protein yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat umum [2], namun limbah cangkang kerang belum dimanfaatkan secara optimal. Cangkang kerang dapat digunakan sebagai alternatif *aggregate* kasar [3] karena bersifat keras.

Penelitian Firdaus dan Andaryati [4] bahwa berdasarkan hasil pengujian, substitusi persentase cangkang kerang darah 0%, 5%, 10%, dan 15% memiliki nilai kuat tekan tertinggi pada presentase 10% yaitu sebesar 37,57 MPa dengan nilai kuat tarik belah tertinggi pada presentase 10% yaitu sebesar 3,55 MPa dan nilai kuat tekan terendah yaitu sebesar 34,44 MPa pada persentase 15%, dengan nilai kuat tarik belah terendah yaitu sebesar 2,70 MPa pada persentase 0%.

Penelitian Andika dan Safarizki [5] menghasilkan pengujian dengan penambahan cangkang kerang darah pada presentase 0%, 5%, 7,5%, komplemen 7,5% memiliki nilai optimum pada presentase 5% yaitu sebesar 30,9 MPa, dengan presentase terendah pada presentase komplemen 7,5% yaitu dengan nilai sebesar 16,3 MPa. Penambahan cangkang kerang dara mengalami peningkatan dari beton normal sebesar 7%. Safirah Zuaridah, et.al [6] bahwa hasil pengujian dengan penambahan cangkang kerang pada presentase 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% dan 5% memiliki nilai terendah yaitu sebesar 16,608 MPa pada umur beton 28 hari, dari rencana f_c' 25 MPa.

Penelitian Setiawati [7] menggunakan substitusi *fly ash* variasi 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% pada pembuatan beton. Dengan hasil kuat tekan tiap variasinya pada umur beton 28 hari sebesar 31,021 MPa, 31,451 MPa, 34,085 MPa, 37 MPa, 39,69 MPa. Nilai optimum terjadi pada substitusi 12,5% yaitu sebesar 39,69 MPa pada umur 28 hari.

Menurut Suarnita [8] penggunaan *fly ash* sebagai bahan utama pada pembuatan beton dengan menggunakan variasi *fly ash* 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% memberikan hasil kuat tekan beton sebesar 32,2718 MPa, 33,9137 MPa, 35,3291 MPa, 36,1783 MPa, 36,8011 MPa dan 37,2541 MPa. Nilai optimum terjadi pada substitusi 25% yaitu sebesar 37,2541 MPa pada umur 28 hari.

Menurut Umboh A.H et.al [9] yang juga menggunakan variasi *fly ash* 0%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% pada pembuatan beton menghasilkan kuat tekan beton umur 28 hari berturut-turut sebesar 24,83 MPa, 24,18 MPa, 15,3 MPa, 12,28 MPa, 8,02 MPa, dan 4,79 MPa. Nilai kuat tekan beton yang optimum terjadi pada substitusi 30% yaitu sebesar 24,18 MPa pada umur 28 hari.

Penelitian ini memanfaatkan limbah *fly ash* (FA) dan cangkang kerang darah (CK) sebagai material pengganti semen dan kerikil. Limbah tersebut harus diuji terhadap kuat tekan apakah bisa masuk digunakan untuk *porous paving block*. Komposisi yang digunakan adalah *fly ash* 30%, sebagai substitusi semen. Menambahkan *fly ash* menaikkan kualitas semen dengan meningkatkan ikatan kimia, kekuatan tekan, dan mengurangi retak dan ekspansi semen [10]. Beberapa variasi perbandingan cangkang kerang darah sebagai agregat kasar dipakai dalam penelitian ini. Tujuan penelitian adalah mengetahui nilai perbandingan prosentase cangkang kerang darah substitusi agregat kasar dengan 30% *fly ash* substitusi semen pada *porous paving block* yang menghasilkan kuat tekan dan koefisien permeabilitas optimum. Pemanfaatan cangkang kerang darah dan *fly ash* sebagai material yang ramah lingkungan diharapkan dapat menjadi material yang memiliki nilai lebih sebagai pengganti agregat kasar dan semen sehingga perlu untuk mengetahui perbandingan kekuatan tekan dan koefisien permeabilitas dengan *porous paving block* konvensional.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Proporsi Porous Paving Block

Campuran yang digunakan untuk mix desain dengan menggunakan perbandingan 1 semen (PC) : 4 kerikil (KR) dengan beberapa variasi perbandingan cangkang kerang darah (CK) yaitu, 4; 3; 2,5; dan 1,5 dengan 30% *fly ash* (FA) sehingga digunakan 6 variasi dengan variasi 1 merupakan *porous paving block* konvensional dan 5 variasi campuran. Benda uji *porous paving block* yang digunakan adalah segiempat berukuran $20 \times 10 \times 6 \text{ cm}^3$. Terdapat 72 sampel benda uji dengan 7, 14, dan 28 hari umur perawatan. Jumlah kebutuhan benda uji dan material yang digunakan untuk penelitian terdapat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Jumlah Sampel Benda Uji

Variasi Benda Uji	Komposisi Variasi Benda Uji	Pengujian Hari Ke-			Jumlah Benda Uji
		7	14	28	
V ₁ (<i>Porous Paving Block</i> Konvensional)	1 PC : 4 KR	3	3	6	12
V ₂	1 (0,7PC + 0,3FA) : 4 CK	3	3	6	12
V ₃	1 (0,7PC + 0,3FA) : 3 CK	3	3	6	12
V ₄	1 (0,7PC + 0,3FA) : 2,5 CK	3	3	6	12
V ₅	1 (0,7PC + 0,3FA) : 2 CK	3	3	6	12
V ₆	1 (0,7PC + 0,3FA) : 1,5 CK	3	3	6	12
Jumlah Benda Uji		18	18	36	72

Tabel 2. Kebutuhan Material untuk Semua Variasi *Paving Block*

Sampel	Material	7 Hari (kg)	14 Hari (kg)	28 Hari (kg)	Total (kg)
V ₁ (Normal)	Kerikil	5,7720	5,7720	11,5440	23,0880
	Semen	2,3607	2,3607	4,7214	9,4428
V ₂	Kerikil	5,7720	5,7720	11,5440	23,0880
	Semen	1,6524	1,6524	3,3048	6,6096
	Fly Ash	0,6084	0,6084	1,2168	2,4336
V ₃	Kerang	2,6883	2,6883	5,3766	10,7532
	Semen	2,0655	2,0655	4,1310	8,2620
	Fly Ash	0,7605	0,7605	1,5210	3,0420
V ₄	Kerang	2,5605	2,5605	5,1210	10,2420
	Semen	2,3607	2,3607	4,7214	9,4428
	Fly Ash	0,8691	0,8691	1,7384	3,4764
V ₅	Kerang	2,3898	2,3898	4,7796	9,5592
	Semen	2,7540	2,7540	5,5080	11,0160
	Fly Ash	1,0140	1,0140	2,0280	4,0560
V ₆	Kerang	2,1507	2,1507	4,3014	8,6028
	Semen	3,3048	3,3048	6,6096	13,2192
	Fly Ash	1,2168	1,2168	2,4336	4,8672

2.2. Proses Penelitian

Hal yang ditinjau dalam penelitian ini adalah mengetahui nilai korelasi antara penggunaan 30% *fly ash* (FA) sebagai substitusi semen dengan variasi perbandingan cangkang kerang darah (CK) sebagai substitusi gradasi kasar pada pembuatan *porous paving block* termasuk *porous paving block* konvensional. Proses penelitian memiliki beberapa tahap, antara lain tahap persiapan, pengujian material, pembuatan sampel, pengujian sampel, analisis data berdasarkan hasil uji kuat tekan dan laju infiltrasi melalui koefisien permeabilitas, dan penarikan kesimpulan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

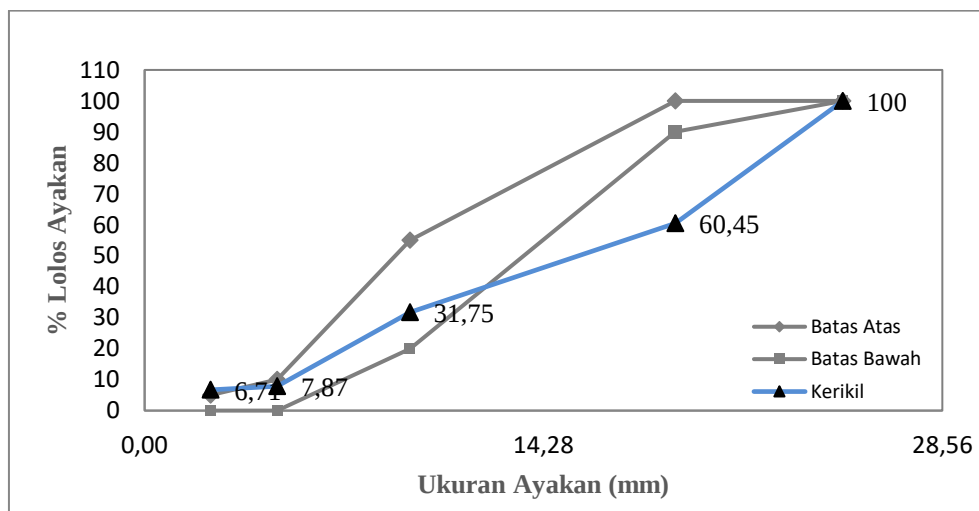
Material campuran *porous paving block* pada benda uji dilakukan pengujian fisis di laboratorium untuk mendapatkan parameter proporsi campuran. Kemudian melakukan uji kuat tekan pada *porous paving block* normal dan beberapa variasi campuran substitusi cangkang kerang darah dan *fly ash* yang dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari serta pengujian koefisien permeabilitas sebagai laju infiltrasi *porous paving block* dilakukan pada umur 28 hari.

3.1. Hasil Pengujian Laboratorium

Uji laboratorium terhadap material agregat kasar kerikil, cangkang kerang darah sebagai substitusi agregat kasar, semen, dan *fly ash*. Pengujian pada agregat kasar antara lain analisis gradasi dan berat satuan, sedangkan pada semen dan *fly ash* dilakukan pengujian berat jenis.

3.1.1. Pengujian Analisis Gradasi Kerikil

Pengujian analisis gradasi pada agregat kasar kerikil dilakukan untuk mengetahui variasi bentuk ukuran kerikil [11]. Hasil pengujian analisis gradasi terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Hasil Analisis Gradasi Kerikil

Pengujian gradasi kerikil menghasilkan bahwa kerikil mempunyai variasi ukuran dengan nilai maksimal sebesar 25 mm dan berada di bawah batas bawah. Hasil perhitungan untuk modulus kehalusan diperoleh sebesar 6,01 sehingga kerikil ini memenuhi syarat agregat kasar [12] sebagai material utama *porous paving block*.

3.1.2. Pengujian Berat Satuan Kerikil

Pengujian berat satuan kerikil bertujuan untuk mendapatkan nilai berat satuan, yaitu perbandingan antara berat dan volume agregat kasar kerikil. Hasil pengujian berat satuan tersaji pada Tabel 3.

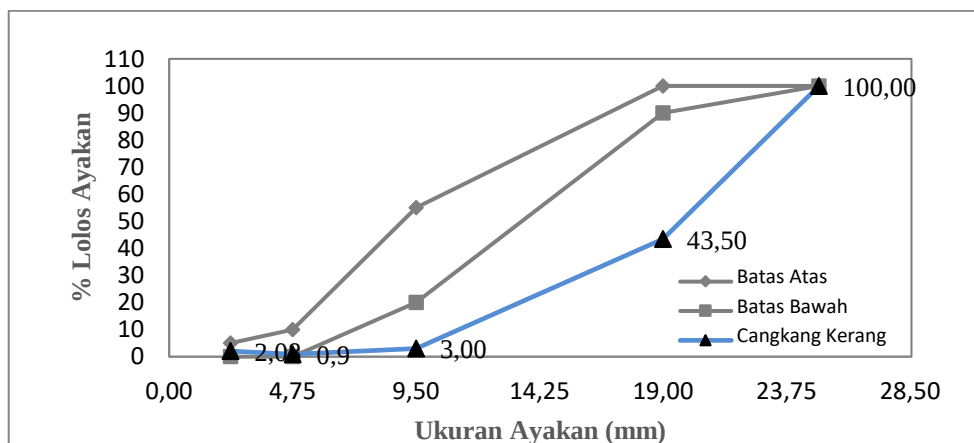
Tabel 3. Hasil Uji Berat Satuan Kerikil di Laboratorium

No	Keterangan	Hasil Uji
1	Berat wadah kosong (B_1)	1,542 kg
2	Berat wadah ditambah kerikil (B_2)	3,903 kg
3	Berat kerikil (B_3)	2,361 kg
4	Volume wadah baja (V)	0,001178 m ³
5	Berat Satuan kerikil (γ) $\gamma = \frac{B_3}{V}$	2004,2 kg/m ³

Dari hasil pengujian, berat satuan kerikil adalah sebesar 2004,2 kg/m³.

3.1.3. Pengujian Analisis Gradasi Cangkang Kerang Darah

Penggunaan cangkang kerang darah sebagai substitusi agregat kasar perlu dilakukan dan untuk mengetahui variasi ukuran pada cangkang kerang darah (CK), dilakukan analisis gradasi [11] dengan hasil seperti pada Gambar 2.

**Gambar 2.** Hasil Pengujian Analisis Gradasi Cangkang Kerang Darah

Pengujian gradasi cangkang kerang darah menghasilkan cangkang kerang memiliki ukuran bervariasi, 25 mm ukuran maksimal dan berada di bawah batas bawah. Hasil untuk modulus kehalusan yang didapat sebesar 7,51. Cangkang kerang darah ini memenuhi syarat [12] sebagai material utama campuran *porous paving block* sebagai pengganti agregat kasar.

3.1.4. Pengujian Berat Satuan Limbah Cangkang Kerang Darah

Pemeriksaan berat satuan CK dengan membandingkan berat cangkang kerang darah dengan volume. Hasil uji berat satuan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Berat Satuan Cangkang Kerang Darah

No	Keterangan	Hasil Uji
1	Berat wadah kosong (B_1)	1,542 kg
2	Berat wadah + cangkang kerang (B_2)	2,715 kg
3	Berat cangkang kerang (B_3)	1,173 kg
4	Volume wadah baja (V)	0,001178 m ³
5	Berat Satuan cangkang kerang (γ) = $\frac{B_3}{V}$	995,7 kg/m ³

Dari hasil pengujian berat satuan cangkang kerang darah adalah sebesar 995,7 kg/m³.

3.1.5. Pengujian Berat Jenis Semen

Semen Gresik yang digunakan mempunyai nilai berat jenis [13] sebesar 3,2786 gr/ml dengan data pengujian seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Berat Jenis Semen

No	Pengujian	Hasil Uji
1	Berat semen (W)	60 gr
2	Volume minyak tanah (V_1)	1,0 ml
3	Volume minyak tanah + semen (V_2)	19,3 ml
4	Berat jenis semen = $\frac{W}{V_2 - V_1}$	3,2786 gr/ml

3.1.6. Pengujian Berat Jenis Fly Ash (FA)

Fly ash yang diujikan memberikan hasil nilai berat jenis [13] sebesar 2,8169 gr/ml dengan data tersaji pada Tabel 6.

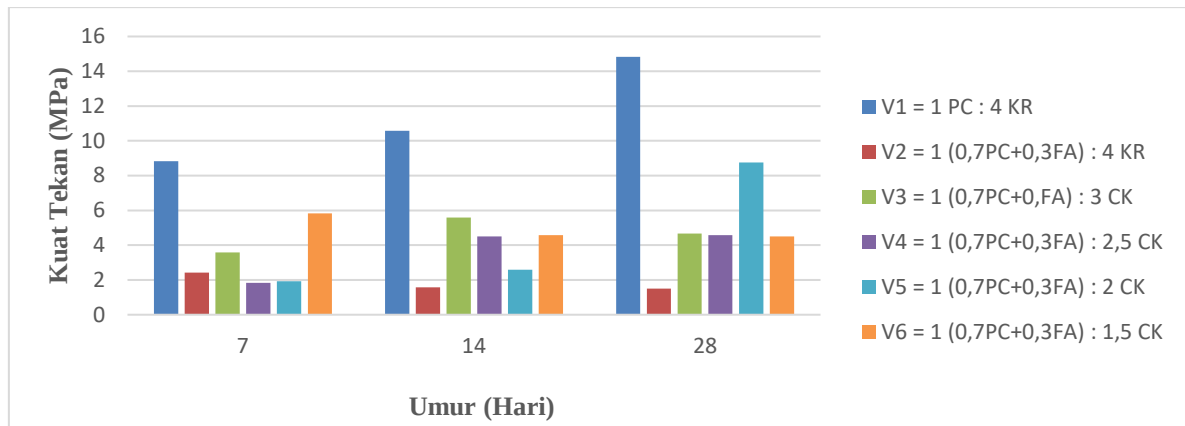
Tabel 6. Hasil Uji Berat Jenis Fly Ash

No	Pengujian	Hasil Uji
1	Berat fly ash (W)	60 gr
2	Volume minyak tanah (V_1)	0,7 ml
3	Volume minyak tanah + fly ash (V_2)	22 ml
4	Berat jenis fly ash = $\frac{W}{V_2 - V_1}$	2,8169 gr/ml

3.2. Hasil Uji Kuat Tekan Porous Paving Block

Setelah uji fisis pada material penyusun paving block dilakukan, dilanjutkan dengan mix design dan pembuatan sampel sesuai variasi dan jumlah yang dibutuhkan. Sampel benda uji dibuat pada cetakan paving block kemudian pada umur 7, 14, dan 28 hari dilakukan uji laboratorium

menggunakan alat uji kuat tekan[14]. Hasil uji kuat tekan tiap variasi *porous paving block* tersaji pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Uji Nilai Kuat Tekan Variasi *Porous Paving Block*

Dari data di atas, nilai kuat tekan *porous paving block* yang menggunakan campuran dengan komposisi $V_5 = 1 (0,7PC + 0,3FA) : 2 CK$ tertinggi sebesar 8,75 MPa. Sedangkan untuk variasi yang lain terdapat penurunan kekuatan di umur 28 hari, hal ini dipengaruhi kondisi sampel selain susunan hasil pemadatan cangkang kerang yang tidak beraturan dengan perekatnya sehingga mengurangi kekuatan.

Dari hasil pengujian kuat tekan terlihat sampel yang baik dari segi permukaan yang rata termasuk susunan hasil pemadatan cangkang kerang darah maupun kerikil yang padat, hal ini dapat dilihat dengan hasil V_1 dan V_5 .

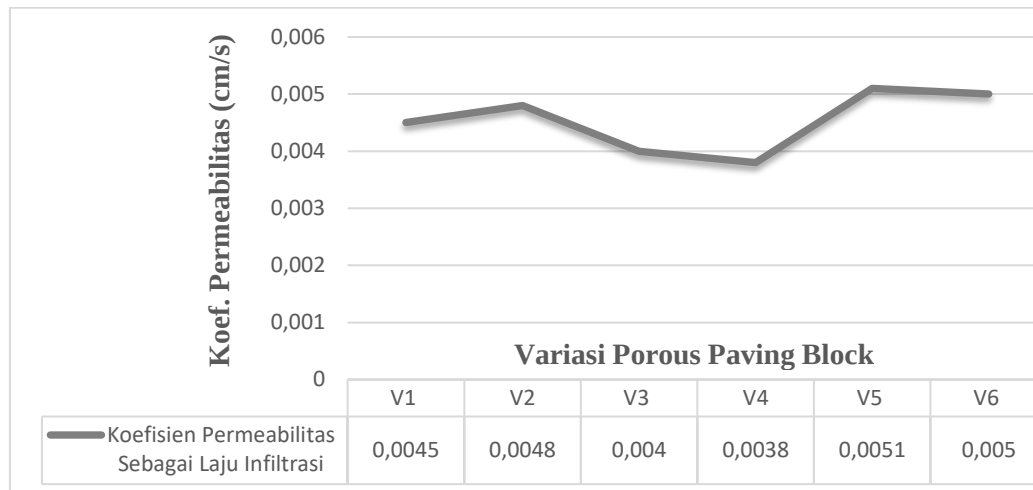
3.3. Hasil Pengujian Koefisien Permeabilitas *Porous Paving Block*

Pengujian koefisien dilakukan sebagai laju infiltrasi *porous paving block* yang dilakukan pada 3 sampel untuk setiap variasi sehingga masing-masing variasi mempunyai nilai koefisien permeabilitas rata-rata. Hasil uji koefisien permeabilitas pada V_1 sampel 1 terdapat pada Tabel 7 dan grafik hasil uji koefisien permeabilitas rata-rata untuk semua variasi *porous paving block* tercantum pada Gambar 4.

Tabel 7. Hasil Uji Koefisien Permeabilitas *Porous Paving Block* Variasi 1

Sample 1 / Benda uji 1	1	2	3
Water level at t_1 h_1 cm	40 cm	30 cm	20 cm
Water level at t_2 h_2 cm	30 cm	20 cm	10 cm
h_1/h_2	1,333	1,5	2
$\log_{10} (h_1/h_2)$	0,124	0,176	0,301
$a \times L$	30,8 cm ²	30,8 cm ²	30,8 cm ²
Diameter of standpipe	1,4 cm		
Section area of standpipe (a)	1,54 cm ²		
Length of sample (L)	20 cm		
Width of sample	12 cm		
Height of sample	6 cm		
Section area of sample (A)	240 cm ²		
Volume	1440 cm ³		
t_1	0 sec	15,18 sec	35,36 sec
t_2	15,18 sec	35,36 sec	51,76 sec
$a \times L / A$	0,1283 cm	0,1283 cm	0,1283 cm

Lanjutan Tabel 7			
Sample 1 / Benda uji 1	1	2	3
2,3 / (t ₂ - t ₁)	0,151 / sec	0,113 / sec	0,140 / sec
$k_T = \frac{aL \times 2,3}{A(t_2 - t_1)} \log \frac{h_2}{h_1}$	0,0024 cm/sec	0,0025 cm/sec	0,0054 cm/sec
T° C	26° C	26°C	26°C
$\frac{UT}{U_{20^0C}}$	0,867	0,867	0,867
$k_{20} = k \frac{UT}{U_{20^0C}}$	0,0021 cm/sec	0,0022 cm/sec	0,0046 cm/sec
Coeff of Permeability	0,0030 cm/sec		



Gambar 4. Koefisien Permeabilitas Rata-Rata Variasi *Porous Paving Block*

Berdasarkan data di atas, diperoleh nilai koefisien permeabilitas *porous paving block* yang telah diuji semua variasi di bawah ACI 522R-10 sebesar 0,14 - 1,22 cm/detik [15]. Rata-rata koefisien permeabilitas sebagai laju infiltrasi *porous paving block* tertinggi sebesar 0,0051 cm/dt pada variasi V₅ dan koefisien terendah pada variasi V₄ sebesar 0,0038 cm/dt. Nilai koefisien mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar perekat (0,7PC + 0,3FA) yang digunakan. Hal ini dikarenakan semakin banyak perekat yang menutupi pori-pori pada *porous paving block*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan ditarik beberapa kesimpulan, antara lain nilai kuat tekan pada *Porous Paving Block* yang menggunakan campuran dengan komposisi V₅ = 1(0,7PC + 0,3FA) : 2 CK tertinggi sebesar 8,75 MPa. Sedangkan untuk variasi yang lain terdapat penurunan kekuatan di umur 28 hari, hal ini dipengaruhi kondisi sampel yang baik permukaan kurang rata maupun susunan pemadatan cangkang kerang yang tidak beraturan sehingga mengurangi kekuatan. Untuk hasil pengujian kuat tekan yang permukaan dan susunan campuran baik, pada sampel V₅ dan V₁. Nilai koefisien permeabilitas *Porous Paving Block* semua variasi di bawah ACI 522R-10 sebesar 0,14 - 1,22 cm/detik. Rata-rata koefisien permeabilitas sebagai laju infiltrasi *porous paving block* tertinggi sebesar 0,0051 cm/dt pada variasi V₅ dan koefisien terendah pada variasi V₄ sebesar 0,0038 cm/dt. Nilai Koefisien permeabilitas mengalami kenaikan seiring

dengan perbandingan kadar perekat (0,7PC + 0,3FA) yang digunakan. Hal ini dikarenakan semakin banyak perekat yang menutupi pori-pori pada *porous paving block*.

Saran berdasarkan hasil penelitian ini antara lain semua sampel diusahakan hasil pemadatan di permukaan tertutup oleh bahan perekat serta pemadatan saat pembuatan *porous paving block* perlu dilakukan secara maksimal mengingat susunan cangkang yang tidak beraturan agar dapat mencapai kuat tekan cukup tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor Institut Teknologi PLN untuk hibah penelitian internal dosen pemula, No. SK. 0330/SK/1/A0/11/2021 tanggal 19 November 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasani, A., Mohammad S., Ghoddus P., "Runoff Infiltration Through Permeable Block Pavements," P.I. Civil Eng-Transp, vol. 163, no. 4, pp. 183-190, 2010.
- [2] Esa, D.A., Setiawan A. A., Wulandari G., "Cangkang Kerang Darah (Anadara Granosa) Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran Beton," Jurnal Rancang Bangun, vol. 07, no. 02, pp. 55-61, 2021.
- [3] Vitalis, Samsurizal E., Supriyadi A., "Pengaruh Cangkang Kerang Terhadap Kuat Tekan Beton," Jurnal PWK, Sipil, dan Tambang, vol. 2, no. 2, pp. 1-8, 2016.
- [4] Firdaus, Andaryati, "Pengaruh Penggunaan Cangkang Kerang Simping (Moluska Bivalvia Pectinidae) Sebagai Substitusi Sebagian Agregat Halus Beton Normal," Axial, Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi, vol. 4, no. 2, pp. 197-201, 2019.
- [5] Andika, R., Safarizki, H.A., "Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Darah (Anadara Granosa) Sebagai Bahan Tambah dan Komplemen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal," Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil, vol. 1, pp. 1-6, 2019.
- [6] Zuaridah, Safirah, Adi L.D., Hastanto B., Soemantoro, "Limbah Cangkang Kerang Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran Beton," Jurnal Teknik Sipil Unitomo, 2015.
- [7] Setiawati, Mira, "Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton," Jurnal Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang, pp. 1-8, 2018.
- [8] Suarnita, I Wayan, "Kuat Tekan Beton Dengan Aditif Fly Ash Ex. PLTU Mpanau Tavaeli," Jurnal Fakultas Teknik Universitas Tadulako Palu, pp. 1-10, 2011.
- [9] Umboh A.H., Sumajow M. D. J., Windah R. S., "Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Dari PLTU II Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton," Jurnal Sipil Statik, pp. 352-358, 2014.
- [10] Wijaya, R. A., Wijayanti S., Astuti Y., "Fly Ash Limbah Pembakaran Batubara Sebagai Zat Mineral Tambahan (Additive) untuk Perbaikan Kualitas dan Kuat Tekan Semen," Media Komunikasi Teknik Sipil, vol. 27, no. 1, pp. 127-134, 2021.
- [11] Badan Standar Nasional, ASTM C136-06 Metode Uji Untuk Analisis Saringan Gregat Halus dan Kasar, 2012.
- [12] ASTM International, "ASTM C33-03 Standard Specification for Concrete Aggregates," 2002.
- [13] Badan Standar Nasional, SNI 15-2531-1991 Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland, 1991.
- [14] Badan Standar Nasional, SNI 03-0691-1996: Bata Beton (Paving Block), 1996.
- [15] Commitee ACI, "ACI 522R-10 Report on Pervious Concrete," 2010.