



PENGARUH VARIASI DIAMETER INTI BETON POROUS TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS PAVING BLOCK KOMPOSIT BERBASIS *SELF-COMPACTING CONCRETE*

MUHAMMAD RAFANI^{1*}, CATUR ANUGRAHWAN², GUSTI SAPUTRA³, IIN ARIANTI⁴, IKHWAN ARIEF PURNAMA⁵

¹ Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak, Kalimantan Barat

² Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak, Kalimantan Barat

³ Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak, Kalimantan Barat

⁴ Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak, Kalimantan Barat

⁵ Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak, Kalimantan Barat

*Corresponding Author: r4f4n1@yahoo.com

Naskah diterima: 13 April 2026. Disetujui: 21 Mei 2026. Diterbitkan: 31 Juli 2026

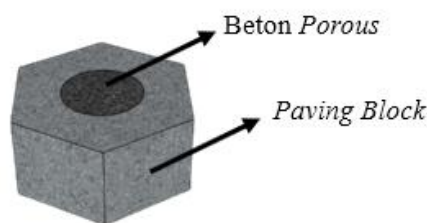
ABSTRAK

Pertumbuhan pesat infrastruktur perkotaan telah secara signifikan mengurangi kemampuan infiltrasi air alami sehingga meningkatkan limpasan permukaan dan risiko banjir perkotaan. Penelitian ini mengembangkan paving block komposit berbasis *Self-Compacting Concrete* (SCC) dengan inti beton porous untuk meningkatkan kapasitas struktural sekaligus kemampuan infiltrasi air. Penelitian bertujuan mengevaluasi pengaruh variasi diameter inti beton porous terhadap kuat tekan dan permeabilitas paving block komposit. Benda uji berbentuk heksagonal dengan ketebalan 100 mm dan variasi diameter inti beton porous sebesar 1½", 2", 2½", dan 3" serta benda uji beton normal SCC dan porous. Penelitian menggunakan 6 variasi benda uji dengan masing-masing 3 sampel sehingga total benda uji sebanyak 18 spesimen. Perancangan campuran beton porous mengacu pada ACI 522R, sedangkan campuran SCC mengacu pada ACI 211 dan EFNARC. Pengujian meliputi densitas, permeabilitas, dan kuat tekan pada umur 28 hari. Variasi diameter 1½" menunjukkan keseimbangan performa terbaik dengan kuat tekan sebesar 44,88 MPa dan permeabilitas sebesar 2,66 mL/s. Secara umum, paving block komposit berbasis SCC mampu mengintegrasikan kapasitas struktural dan kemampuan infiltrasi air sehingga berpotensi diterapkan sebagai material perkerasan berkelanjutan di kawasan perkotaan.

Kata kunci : beton porous, kuat tekan, paving block komposit, perkerasan berkelanjutan, permeabilitas.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan pembangunan infrastruktur di kawasan perkotaan menyebabkan berkurangnya area resapan air dan meningkatnya limpasan permukaan. Kondisi ini berkontribusi terhadap terjadinya genangan dan banjir perkotaan (Al-Attar & Al-Hadithi, 2020). Salah satu solusi yang dikembangkan adalah penggunaan material perkerasan berpori yang memungkinkan infiltrasi air ke dalam tanah (Chandrappa & Biligiri, 2016; Deo & Neithalath, 2010). Beton porous dikenal memiliki permeabilitas yang tinggi, namun memiliki kelemahan utama berupa kuat tekan yang rendah sehingga penggunaannya terbatas pada beban ringan (Deo & Neithalath, 2010; Chandrappa & Biligiri, 2016). Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, dikembangkan konsep paving block komposit (Gambar 1) yang menggabungkan kekuatan beton konvensional dengan kemampuan infiltrasi beton porous (Putri et al., 2019).



Gambar 1. Paving Block Komposit.

Namun, hingga saat ini masih terbatas penelitian yang mengkaji hubungan antara parameter geometrik beton porous terhadap performa mekanik dan hidrolik secara simultan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi diameter beton porous terhadap kuat tekan dan permeabilitas paving block komposit. Self-Compacting Concrete (SCC) digunakan sebagai material matriks paving block karena memiliki workability tinggi sehingga mampu mengisi cetakan secara merata tanpa memerlukan proses pemadatan mekanis. Penggunaan SCC juga membantu menghasilkan distribusi material yang lebih homogen pada sistem paving block komposit (EFNARC, 2005; Okamura & Ouchi, 2003).

Beton porous kurang efektif digunakan sebagai lapisan perkerasan karena memiliki kuat tekan yang relatif rendah (Chandrappa & Biligiri, 2016; Deo & Neithalath, 2010). Untuk mempertahankan kualitas beton porous tanpa mengurangi kemampuannya dalam mengalirkan air, dikembangkan suatu inovasi dengan menggabungkan dua tipe lapisan perkerasan, yaitu paving block dan beton porous. Inovasi ini dikenal sebagai paving block komposit, di mana beton porous ditempatkan pada bagian inti paving block. Paving block berfungsi sebagai elemen pengikat yang menahan beban kendaraan, sehingga beton porous tidak mengalami kerusakan akibat beban tersebut. Sementara itu, beton porous yang berada di bagian tengah tetap mampu meloloskan air hujan, sehingga dapat mengurangi genangan air pada permukaan jalan. Spesifikasi paving block mengacu pada standar yang berlaku (SNI 03-0691-1996, 1996). Konsep paving block komposit yang menggabungkan beton konvensional dan beton porous ditunjukkan pada Gambar 1.

Penelitian ini memiliki kebaruan pada pengembangan paving block komposit berbasis Self-Compacting Concrete (SCC) dengan inti beton porous berbentuk sirkular yang divariasikan diameternya. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya mengevaluasi beton porous secara monolitik, penelitian ini mengkaji hubungan antara kapasitas struktural dan kemampuan infiltrasi air dalam satu sistem komposit. Selain itu, penelitian

ini mengevaluasi keseimbangan performa kuat tekan dan permeabilitas untuk menentukan variasi dimensi inti beton porous yang paling efektif pada aplikasi perkerasan berkelanjutan.

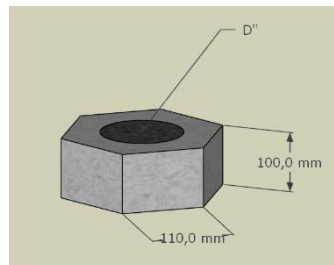
2. METODE PENELITIAN

2.1. Pengujian Karakteristik Agregat

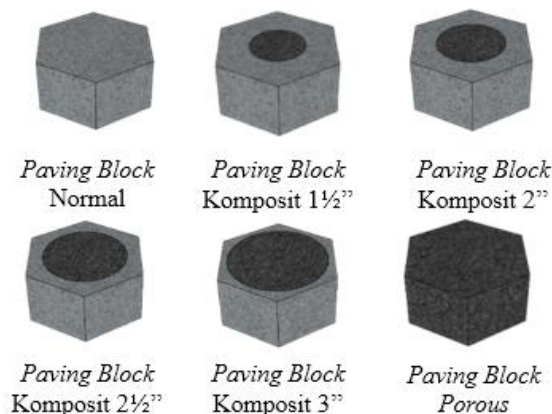
Pengujian karakteristik agregat penelitian ini adalah agregat kasar dan agregat halus yang berguna untuk mengetahui sifat dan karakteristik material. Penggunaan agregat kasar pada beton porous menghasilkan struktur dengan rasio rongga yang lebih tinggi sehingga kuat tekan cenderung menurun seiring meningkatnya kemampuan infiltrasi air (Kevern et al., 2009). Agregat kasar berasal dari daerah Sungai Purun, Kalimantan Barat. Pengujian yang dilakukan antara lain analisa saringan, kadar air, berat volume, berat jenis, dan pengujian abrasi menggunakan mesin Los Angeles. Agregat halus berupa pasir diperoleh dari sungai di daerah Arang Limbung, Kalimantan barat. Pengujian yang dilakukan antara lain analisa saringan, kadar air, berat volume, berat jenis, pemeriksaan kadar lumpur.

2.2. Ukuran dan Variasi Benda Uji

Benda uji berbentuk segi enam (hexagonal) dengan panjang setiap sisi 110 mm, ketebalan 100 mm, dengan 6 variasi benda uji yaitu *paving block* normal, *paving block* komposit 1½", *paving block* komposit 2", *paving block* komposit 2½", *paving block* komposit 3" dan *paving block* porous. Setiap variasi benda uji terdiri atas 3 spesimen sehingga total benda uji yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 18 sampel. Dimensi paving block komposit disajikan pada Gambar 2, sedangkan variasi benda uji yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Dimensi *Paving Block* Komposit



Gambar 3. Variasi Benda Uji

2.3. Perencanaan Campuran Benda Uji

Perancangan campuran beton porous mengacu pada ACI 522R (ACI Committee 522R-10, 2010), sedangkan campuran Self-Compacting Concrete (SCC) mengacu pada ACI 211 (ACI Committee 211.1-91, 2002) dan EFNARC (2005). Penggunaan SCC bertujuan memperoleh workability tinggi sehingga campuran mampu mengisi cetakan paving block komposit secara homogen tanpa proses pemadatan mekanis. Bahan tambah berupa Sika Viscocrete 3115N digunakan sebesar 1% dari berat semen pada setiap variasi campuran. Target kuat tekan beton porous direncanakan sebesar 17 MPa, sedangkan paving block SCC sebesar 40 MPa. Tabel 1 menunjukkan rincian komposisi campuran paving block komposit.

Tabel 1. Rincian Komposisi Campuran Paving Block Komposit

No	Bahan	Beton Porous	Paving Block
1	Semen	18,84 kg	51,88 kg
2	Agregat Halus	8,02 kg	89,48 kg
3	Agregat Kasar	53,45 kg	103,95 kg
4	Air	5,47 liter	19,22 liter
5	Sika Viscocrete 1%	0,19 liter	0,53 liter

2.4. Pelaksanaan Pembuatan Benda Uji

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Penelitian dilakukan untuk mengamati pengaruh penambahan beton porous terhadap perilaku mekanik (kuat tekan) dan laju permeabilitas pada paving block berumur 28 hari. Pengujian slump flow dilakukan untuk memastikan campuran memenuhi karakteristik SCC berdasarkan EFNARC (2005). Proses pembuatan benda uji paving block komposit dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pembuatan Benda Uji

2.5. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan dengan menyelimuti benda uji menggunakan karung/goni yang telah dibasahkan setelah benda uji berumur 24 jam. Ketika kering goni/karung dibasahkan kembali agar keadaan benda uji tetap lembab. Perawatan benda uji ini dilakukan selama 28 hari. Proses perawatan benda uji ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Perawatan Benda Uji

2.6. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Benda Uji

- 1) Pengujian Densitas mengacu pada ASTM C1688 (ASTM, 2010)

Prosedur pengujian densitas dilakukan dengan cara menimbang massa benda uji, menentukan volumenya, kemudian menghitung rasio antara massa dan volume tersebut.

- 2) Pengujian laju permeabilitas dilakukan berdasarkan ASTM C1701 (ASTM, 2017)

Pengujian laju permeabilitas dilakukan dengan mengacu pada ASTM C1701 dengan penyesuaian pada skala laboratorium. Air dituangkan pada permukaan benda uji melalui silinder uji, kemudian waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan volume tertentu dicatat menggunakan stopwatch. Pengujian permeabilitas dihitung berdasarkan rasio volume air terhadap waktu aliran menggunakan Persamaan:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Dengan:

Q = laju permeabilitas (mL/s)

V = volume air (mL)

t = waktu aliran (s)

Pengujian laju permeabilitas dilakukan seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengujian Laju Permeabilitas

3) Pengujian Kuat Tekan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin kuat tekan digital di laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Pontianak. Benda uji ditempatkan secara terpusat pada bidang tekan alat, sehingga proses pembebanan diterapkan secara bertahap hingga spesimen beton mengalami keruntuhan struktural. Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan mesin uji tekan seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengujian Kuat Tekan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Uji Agregat

Pengujian karakteristik agregat campuran paving block komposit dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak adalah sebagai berikut:

1) Hasil Pengujian Agregat Kasar

Hasil pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar			
No	Jenis Pengujian	Hasil	Standar Spesifikasi
1	Kadar Air (%)	1,28	0-10
	Berat Jenis (g/cm ³)		
	a. Berat Jenis Bulk	2,75	2,3-2,9
2	b. Berat Jenis SSD	2,75	2,3-2,9
	c. Berat Jenis APP.	2,79	2,3-2,9
	d. Penyerapan	0,44	0,5-4 %
	Berat Isi (g/cm ³)		
3	Kondisi Padat	1,56	1,28-1,92
	Kondisi Lepas	1,48	1,28-1,92
4	Ketahanan Aus (%)	20,79	<40
5	Modulus Kehalusan	2,50	-

2) Hasil Pengujian Agregat Halus

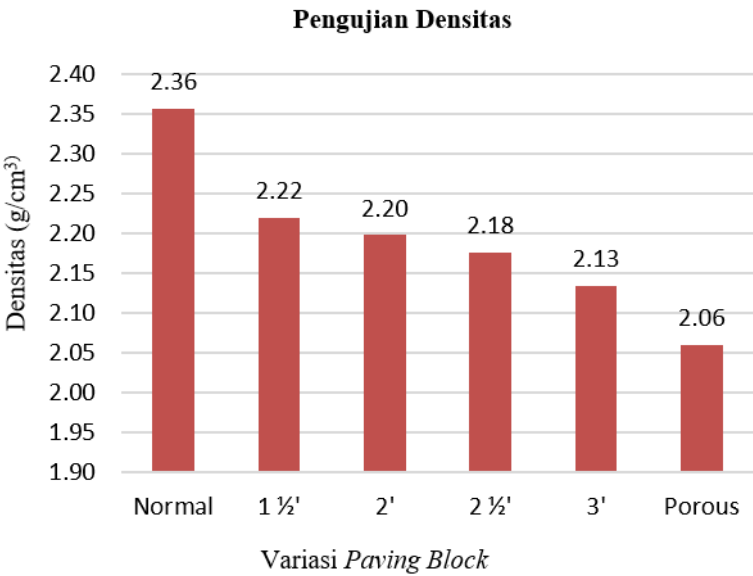
Hasil pengujian agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil	Standar Spesifikasi
1	Kadar Air (%)	3,21	0-2
	Berat Jenis (g/cm ³)		
	a. Berat Jenis Bulk	2,63	2,3-2,9
2	b. Berat Jenis SSD	2,63	2,3-2,9
	c. Berat Jenis APP.	2,69	2,3-2,9
	d. Penyerapan	0,88	0,5-4 %
	Berat Isi (g/cm ³)		
3	Kondisi Padat	1,69	1,28-1,92
	Kondisi Lepas	1,57	1,28-1,92
4	Modulus Kehalusan	3,28	-

3.2 Hasil Pengujian Densitas

Pengujian densitas memberikan informasi mengenai tingkat kepadatan paving block. Nilai densitas berkaitan erat dengan karakteristik mekanik, khususnya kuat tekan dan porositas material. Hasil pengujian densitas untuk setiap variasi paving block komposit ditunjukkan pada Gambar 8.

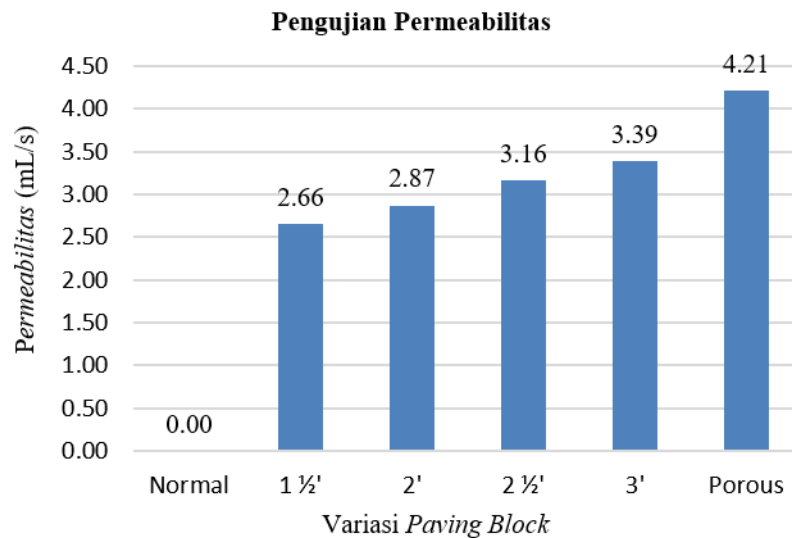


Gambar 8. Hasil Pengujian Densitas

Hasil pengujian densitas pada Gambar 8 menunjukkan bahwa paving block normal memiliki nilai densitas tertinggi sebesar 2,36 g/cm³, sedangkan paving block porous memiliki nilai densitas terendah sebesar 2,06 g/cm³. Secara umum, nilai densitas mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya diameter beton porous pada paving block komposit.

3.3 Hasil Pengujian Laju Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan beton porous dalam mengalirkan air. Parameter ini penting dalam penerapan perkerasan jalan dan konstruksi yang dirancang untuk mengurangi genangan air, laju permeabilitas dihitung menggunakan persamaan (1). Hasil pengujian permeabilitas ditunjukkan pada Gambar 9.



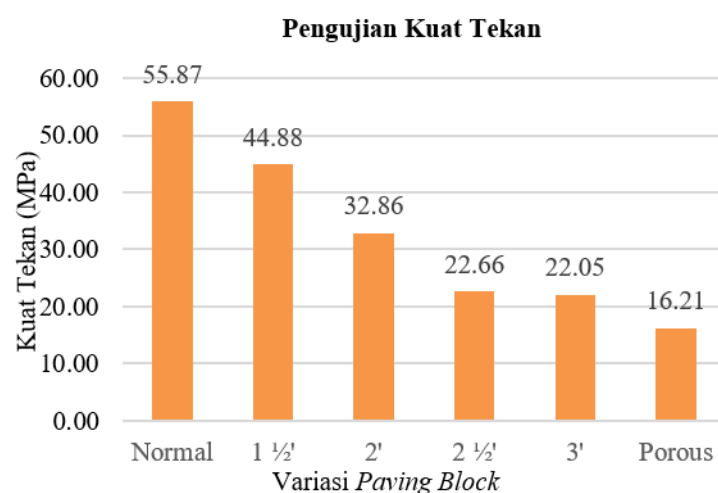
Gambar 9. Hasil Pengujian Permeabilitas

Hasil pengujian laju permeabilitas pada Gambar 9 menunjukkan bahwa paving block porous memiliki nilai permeabilitas tertinggi sebesar 4,21 mL/s, sedangkan variasi paving block dengan diameter porous 1½ inci memiliki nilai terendah sebesar 2,66 mL/s. Peningkatan permeabilitas pada paving block komposit dipengaruhi oleh terbentuknya rongga saling terhubung pada inti beton porous, yang memperbesar jalur infiltrasi air di dalam material. Fenomena ini sejalan dengan penelitian Kevern et al. (2005) yang menyatakan bahwa struktur void pada beton porous sangat menentukan kemampuan aliran air.

3.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Uji kuat tekan beton dilakukan menggunakan mesin uji tekan di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Pontianak. Benda uji ditempatkan secara terpusat pada bidang tekan alat, kemudian beban diberikan secara bertahap hingga spesimen mengalami keruntuhan.

Hasil pengujian kuat tekan pada Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan rata-rata tertinggi diperoleh pada variasi paving block normal sebesar 55,87 MPa, sedangkan nilai terendah terdapat pada variasi porous sebesar 16,21 MPa. Penurunan kuat tekan terjadi akibat meningkatnya volume rongga pada inti beton porous sehingga luas penampang efektif dalam menahan beban tekan menjadi lebih kecil. Kondisi ini menyebabkan distribusi tegangan pada struktur paving block komposit menjadi tidak merata dan mempercepat terjadinya keruntuhan lokal.



Gambar 10. Hasil Pengujian Kuat Tekan

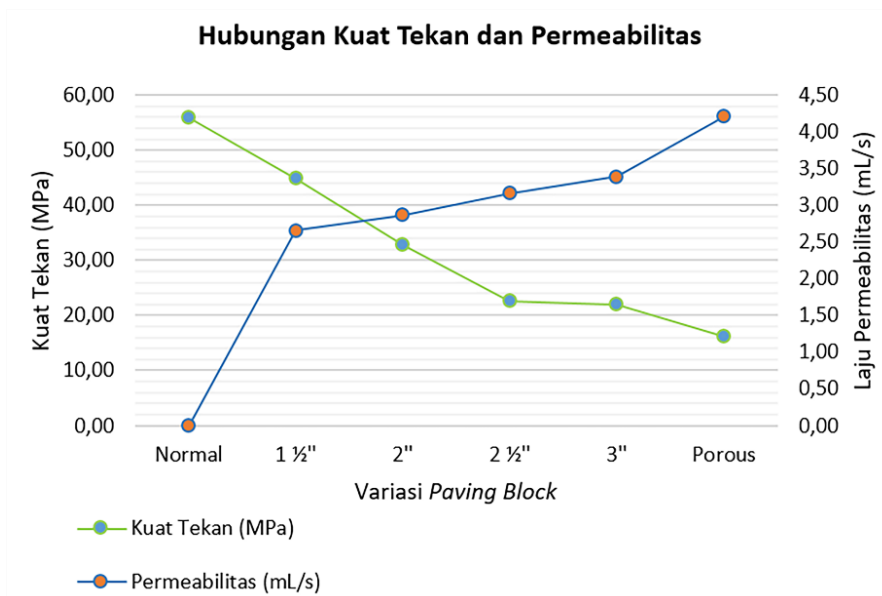
3.5 Hubungan Kuat Tekan dan Laju Permeabilitas

Nilai kuat tekan dan permeabilitas bisa dilihat pada tabel 4. Mengacu pada SNI 03-0691-1996, klasifikasi penggunaan paving block ditentukan berdasarkan nilai kuat tekan. Dalam penelitian ini, variasi paving block komposit dengan diameter porous 1½ inci memiliki nilai permeabilitas sebesar 2,66 mL/s dan berpotensi digunakan untuk perkerasan jalan dengan tetap memenuhi persyaratan kuat tekan. Variasi dengan diameter 2 inci dan 2½ inci, dengan nilai permeabilitas masing-masing 2,87 mL/s dan 3,16 mL/s, dapat diaplikasikan pada area parkir. Sementara itu, variasi dengan diameter 3 inci memiliki nilai permeabilitas sebesar 3,39 mL/s dan lebih sesuai untuk area pejalan kaki. Paving block porous dengan nilai permeabilitas tertinggi sebesar 4,21 mL/s lebih cocok digunakan pada area dengan beban ringan seperti taman.

Tabel 4. Nilai Kuat Tekan dan Permeabilitas

Variasi	Kuat Tekan (MPa)	Permeabilitas (mL/s)
Normal	55,87	0,00
1½"	44,88	2,66
2"	32,86	2,87
2½"	22,66	3,16
3"	22,05	3,39
Porous	16,21	4,21

Gambar 11 menunjukkan hubungan antara kuat tekan dan laju permeabilitas pada setiap variasi paving block komposit. Analisis hubungan antara kuat tekan dan permeabilitas menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara kedua parameter tersebut. Peningkatan diameter inti beton porous meningkatkan kemampuan infiltrasi air, namun menurunkan kapasitas struktural paving block komposit. Variasi diameter 1½" menunjukkan keseimbangan performa terbaik dengan kuat tekan sebesar 44,88 MPa dan permeabilitas sebesar 2,66 mL/s.



Gambar 11. Hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas

Semakin besar volume rongga pada beton porous maka kemampuan infiltrasi air meningkat, namun kapasitas mekanik material cenderung menurun akibat berkurangnya luas efektif penampang dalam menahan beban tekan (Kevern et al., 2005)

3.6 Klasifikasi Paving Blok Komposit

Klasifikasi paving block komposit dilakukan berdasarkan SNI 03-0691-1996 yang mengelompokkan penggunaan paving block berdasarkan nilai kuat tekan untuk aplikasi jalan, area parkir, trotoar, dan taman, sebagaimana disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi Paving Block Komposit

Variasi	Kuat Tekan (MPa)	Permeabilitas (mL/s)	Keterangan
Normal	55,87	0,00	Jalan
1½"	44,88	2,66	Jalan
2"	32,86	2,87	Lapangan Parkir
2½"	22,66	3,16	Lapangan Parkir
3"	22,05	3,39	Trotoar
Porous	16,21	4,21	Taman

Mengacu pada SNI 03-0691-1996, paving block komposit dengan diameter porous 1½ inci memiliki kuat tekan sebesar 44,88 MPa dan laju permeabilitas sebesar 2,66 mL/s. Berdasarkan nilai kuat tekan tersebut, paving block komposit ini dapat diklasifikasikan untuk aplikasi perkerasan jalan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan diameter beton porous menyebabkan penurunan densitas dan kuat tekan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya rasio porositas dalam struktur beton, yang secara langsung mengurangi luas efektif penampang dalam menahan beban tekan (Deo & Neithalath, 2010; Chandrappa & Biligiri, 2016). Penurunan kuat tekan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa beton porous memiliki hubungan terbalik antara kekuatan mekanik dan permeabilitas akibat peningkatan *void ratio* (Neithalath et al., 2006; Zhong & Wille, 2015). Semakin besar rongga yang terbentuk, semakin tinggi kemampuan infiltrasi air, namun kekuatan struktural menjadi berkurang.

Sebaliknya, peningkatan diameter beton porous terbukti meningkatkan laju permeabilitas secara signifikan, yang menunjukkan bahwa struktur pori sangat mempengaruhi kemampuan aliran air (Kevern et al., 2009; Sonebi & Bassuoni, 2013). Hasil ini menunjukkan bahwa sistem komposit yang dikembangkan mampu meningkatkan kapasitas infiltrasi air secara efektif, sehingga berpotensi digunakan sebagai solusi pengendalian limpasan permukaan di kawasan perkotaan (Al-Attar & Al-Hadithi, 2020; Chandrappa & Biligiri, 2016).

Variasi diameter inti beton porous menunjukkan adanya kombinasi performa terbaik antara kapasitas struktural dan kemampuan infiltrasi air. Hal ini memperkuat bahwa penggunaan material komposit merupakan pendekatan yang lebih efektif dibandingkan beton porous tunggal, terutama dalam aplikasi perkerasan yang membutuhkan kombinasi antara kapasitas struktural dan fungsi hidrolis (Putri et al., 2019; Zhong & Wille, 2015).

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan diameter beton porous menyebabkan penurunan kuat tekan dan densitas, namun meningkatkan laju permeabilitas. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada paving block normal sebesar 55,87 MPa, sedangkan nilai terendah pada paving block porous sebesar 16,21 MPa. Sebaliknya, nilai permeabilitas tertinggi diperoleh pada paving block porous sebesar 4,21 mL/s. Hubungan antara kuat tekan dan permeabilitas menunjukkan adanya keseimbangan performa antara kapasitas struktural dan kemampuan infiltrasi air. Variasi diameter inti beton porous 1½” memberikan kombinasi performa terbaik dengan kuat tekan sebesar 44,88 MPa dan permeabilitas sebesar 2,66 mL/s. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa paving block komposit mampu mengintegrasikan kapasitas struktural dan kemampuan infiltrasi air, sehingga berpotensi sebagai material perkerasan berkelanjutan di kawasan perkotaan. Dengan demikian, paving block komposit berbasis SCC berpotensi menjadi alternatif material perkerasan permeabel yang mampu mendukung sistem drainase berkelanjutan di kawasan perkotaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih dari kami tim peneliti kepada Politeknik Negeri Pontianak atas segala bantuan dan kerjasamanya sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan sampai selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 211.1-91. (2002). *Standard practice for selecting proportions for normal concrete*.
ACI Committee 522R-10. (2010). *Report on pervious concrete*. American Concrete Institute.
Al-Attar, S. A. A., & Al-Hadithi, M. H. (2020). Sustainable urban drainage systems and permeable pavements: A review. *Journal of Cleaner Production*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123072>
ASTM International. (2010). ASTM C1688: *Standard test method for density and void content of freshly mixed pervious concrete*.
ASTM International. (2017). ASTM C1701: *Standard test method for infiltration rate of in-place pervious concrete*.
Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 03-0691-1996: *Bata beton (paving block)*.
Chandrappa, A. K., & Biligiri, K. P. (2016). Pervious concrete as a sustainable pavement material. *Construction and Building Materials*, 111, 262–274. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.054>

- Deo, O., & Neithalath, N. (2010). Compressive behavior of pervious concretes and a quantification of the influence of random pore structure features. *Materials Science and Engineering:A*, 528(1), 402–412. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.09.024>
- EFNARC. (2005). *The European guidelines for self-compacting concrete*.
- Huang, B., Wu, H., Shu, X., & Burdette, E. G. (2010). Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 24(5), 818–823. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.025>
- Kevern, J. T., Wang, K., & Schaefer, V. R. (2009). Effect of coarse aggregate on the freeze-thaw durability of pervious concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Volume 22(5), 469–475. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000049](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000049)
- Kevern, J., Wang, K., Suleiman, M. T., & Schaefer, V. R. (2005). Mix design development for pervious concrete in cold weather climates. *Proceedings of the 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium*, Ames, Iowa, USA.
- Lee, Y. T., Ho, M. C., Chiou Y. S., & Huang, L. L. (2023). Assessing the performance of permeable pavement in mitigating flooding in urban areas. *Water*, 15(20), 3551. <https://doi.org/10.3390/w15203551>
- Neithalath, N., Weiss, J., & Olek, J. (2006). Characterizing enhanced porosity concrete using electrical impedance to predict acoustic and hydraulic performance. *Cement and Concrete Research*, 36(11), 2074–2085. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.09.001>
- Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-compacting concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1), 5–15. <http://dx.doi.org/10.3151/jact.1.5>
- Putri, E. E., Ismeddiyanto, I., & Suryanita, R. (2019). Sifat Fisik Paving Block Komposit sebagai Lapis Perkerasan Bebas Genangan Air (Permeable Pavement). *Jurnal Teknik*, 13(1).
- Sonebi, M., & Bassuoni, M. T. (2013). Investigating the effect of mixture design parameters on pervious concrete properties. *Construction and Building Materials*, 38, 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.044>
- Su, N., Hsu, K., & Chai, H. (2001). A simple mix design method for self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 31(12), 1799–1807. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00566-X](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00566-X)
- Zhong, R., & Wille, K. (2015). Material design and characterization of high performance pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 98, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.027>