

ANALISIS VARIASI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK PAVING BLOCK BERPORI DENGAN LIMBAH KERAMIK

Rajendra Bayu Pradana¹, Ni Komang Ayu Agustini², Putu Aryastana^{3*}

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Warmadewa
Jl. Terompong No.24, Sumerta Kelod, Kec. Denpasar Timur, Kota Denpasar, Indonesia 80239

*Email: aryastanaputu@warmadewa.ac.id

Diajukan: 02/08/2025 Direvisi: 20/12/2025 Diterima: 21/12/2025

Abstrak

Pengelolaan air hujan merupakan tantangan dalam industri konstruksi karena berpotensi menimbulkan genangan, banjir, dan kerusakan infrastruktur. Salah satu solusi yang dikembangkan adalah paving block berpori yang memiliki porositas tinggi sehingga memungkinkan air meresap ke dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan paving block berpori dengan memanfaatkan limbah keramik sebagai substitusi agregat kasar sebesar 20% serta mengkaji pengaruh variasi proporsi agregat halus terhadap agregat kasar, yaitu 1,5/1,5; 0,15/2,85; 0,3/2,7; 0,45/2,55; 0,6/2,4; dan 0/3. Parameter yang ditinjau meliputi kuat tekan, penyerapan air, berat jenis, dan ketahanan terhadap natrium sulfat. Metode penelitian meliputi pengujian karakteristik material, pembuatan benda uji dengan perbandingan campuran 1:3 (semen:agregat), serta pengujian laboratorium pada umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi 1,5/1,5 dengan substitusi 20% limbah keramik menghasilkan kuat tekan dan ketahanan terhadap natrium sulfat terbaik, sedangkan variasi 0,15/2,85 menghasilkan nilai penyerapan air tertinggi. Pemanfaatan limbah keramik terbukti meningkatkan performa paving block berpori meskipun menyebabkan penurunan berat jenis.

Kata kunci: Kuat Tekan, Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat, Limbah Keramik, Penyerapan Air, Paving Block

Abstract

Rainwater management is a challenge in the construction industry as it has the potential to cause surface ponding, flooding, and infrastructure damage. One solution that has been developed is porous paving blocks, which have high porosity allowing water to infiltrate into the soil. This study aims to develop porous paving blocks by utilizing ceramic waste as a 20% substitution for coarse aggregate and to examine the effect of variations in the proportion of fine aggregate to coarse aggregate, namely 1.5/1.5; 0.15/2.85; 0.3/2.7; 0.45/2.55; 0.6/2.4; and 0/3. The parameters evaluated include compressive strength, water absorption, density, and resistance to sodium sulfate. The research methodology consisted of material characteristic testing, specimen preparation using a 1:3 (cement:aggregate) mix proportion, and laboratory testing at 28 days of curing age. The results indicate that the 1.5/1.5 mixture with 20% ceramic waste substitution produced the highest compressive strength and the best resistance to sodium sulfate, while the 0.15/2.85 mixture exhibited the highest water absorption. The utilization of ceramic waste was proven to enhance the performance of porous paving blocks, although it resulted in a decrease in density.

Keywords: Compressive Strength, Resistance To Sodium Sulfate, Ceramic Waste, Water Absorption, Paving Block

1. PENDAHULUAN

Dalam industri konstruksi, pengelolaan air hujan menjadi tantangan besar karena dapat menyebabkan genangan, banjir, dan kerusakan infrastruktur. Salah satu solusi yang dikembangkan adalah *paving block* berpori, yaitu beton dengan porositas tinggi yang memungkinkan air meresap ke dalam tanah (Astanto, dkk., 2022). Porositas diperoleh dengan menghilangkan agregat halus, menyisakan hanya semen, air, dan agregat kasar. Performa paving berpori sangat dipengaruhi oleh gradasi agregat kasar dan proporsi campurannya, termasuk kekuatan tekan sesuai standar SNI (BSN, 1996).

Namun demikian, penghilangan agregat halus secara penuh dapat menyebabkan penurunan kuat tekan, rendahnya ikatan antar agregat, serta meningkatnya kerentanan terhadap kerusakan mekanis dan kimia, sehingga membatasi penggunaannya pada area dengan beban rendah (Tennis, Leming & Akers, 2004). Beberapa penelitian menyatakan bahwa penambahan agregat halus dalam jumlah terbatas dapat berfungsi sebagai filler yang mengisi sebagian rongga, memperbaiki kontak antar agregat, serta meningkatkan kohesi pasta semen, sehingga meningkatkan kuat tekan dan durabilitas tanpa menghilangkan kemampuan peresapan air secara signifikan (Schaefer, dkk., 2006; ACI Committee 522, 2010). Selain meningkatkan kekuatan mekanis, keberadaan agregat halus juga berkontribusi terhadap kemudahan pemadatan, stabilitas dimensi, serta ketahanan terhadap serangan kimia, termasuk pengaruh larutan sulfat, yang penting untuk meningkatkan umur layanan paving block berpori (ACI Committee 201, 2016).

Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Sultan, Tata & Wanda, 2020) yang memanfaatkan limbah plastik *polypropylene* (PP) sebagai bahan pengikat pada campuran *paving block* menunjukkan bahwa penggunaan limbah plastik daur ulang 5 (PP) *polypropylene* sebagai bahan pengikat pada campuran *paving block* menghasilkan kuat tekan maksimum pada kadar 30% terhadap berat pasir. Mutu *paving* terhadap kuat tekan masuk kedalam mutu C dengan kuat tekan sebesar 13,30 MPa.

Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Rifai, Armandha & Rakhmawati, 2019) yang memanfaatkan limbah keramik

sebagai pengganti agregat kasar menunjukkan bahwa nilai kuat tekan *paving block* tertinggi terdapat pada variasi limbah keramik 50% : 50% agregat halus, daya serap air tertinggi diperoleh pada variasi campuran 100% agregat halus: 0% limbah keramik, nilai ketahanan terhadap natrium sulfat tertinggi pada variasi campuran 100% agregat halus : 0% limbah keramik.

Dalam penelitian, limbah keramik dimanfaatkan sebagai substitusi agregat kasar untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Berdasarkan studi sebelumnya, 20% substitusi limbah keramik merupakan komposisi terbaik (Aldi Setiawan, Saifuddin & Maulana, 2023; Rosbi & Makrifa, 2023). Berdasar dengan studi literatur tersebut penulis ingin melakukan penelitian dengan memanfaatkan penelitian terdahulu yaitu mengunci substitusi limbah keramik yang terbaik yaitu 20% substitusi pada agregat kasar dan melakukan penelitian dengan melakukan variasi dengan penambahan agregat halus yang berbeda-beda sehingga penulis mendapatkan hasil yang paling efektif dari penambahan agregat halus yang berbeda terhadap kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan terhadap natrium sulfat.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan studi literatur terlebih dahulu kemudian persiapan alat dan bahan, pada bahan mencakup beberapa material yang dibutuhkan seperti agregat halus, agregat kasar, limbah keramik, semen dan air. Pada setiap agregat dilakukan beberapa pengujian karakteristik material, pada agregat halus dilakukan pengujian berat jenis, penyerapan air, kadar air, analisa saringan dan berat isi (Suhendra, Yamali & Ningfuri, 2014; Hidayat, Herlina & Nursani, 2021; Suhudi, Ainurahman & Purnama, 2023). Pada agregat kasar dan limbah keramik dilakukan pengujian yang sama seperti agregat halus hanya saja ditambahkan pengujian abrasi untuk agregat kasar.

Beberapa penelitian terdahulu melaporkan bahwa beton berpori umumnya dibuat dengan menghilangkan agregat halus untuk memperoleh porositas tinggi, namun pendekatan tersebut cenderung menghasilkan kuat tekan yang rendah dan ketahanan yang terbatas terhadap beban dan lingkungan agresif

(Tennis, Leming & Akers, 2004; ACI Committee 522, 2010).

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa penambahan agregat halus dalam jumlah terbatas dapat meningkatkan ikatan antar agregat dan pasta semen, memperbaiki kepadatan struktur mikro, serta meningkatkan kuat tekan dan durabilitas tanpa menghilangkan sifat permeabilitas secara signifikan (Schaefer, dkk, 2006; Deo & Neithalath, 2010). Berdasarkan literatur tersebut, variasi agregat halus dalam penelitian ini dipilih untuk mewakili kondisi tanpa agregat halus, agregat halus sangat rendah, hingga agregat halus sedang, sehingga dapat diperoleh keseimbangan optimal antara porositas dan kekuatan mekanis.

Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan tujuh variasi proporsi agregat halus terhadap agregat kasar, yaitu 1,5/1,5; 0,15/2,85; 0,3/2,7; 0,45/2,55; 0,6/2,4; dan 0/3. Variasi tersebut dipilih untuk mengevaluasi pengaruh peningkatan bertahap agregat halus terhadap karakteristik *paving block* berpori. Selain itu, limbah keramik digunakan sebagai substitusi agregat kasar sebesar 20%, mengacu pada penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa persentase tersebut memberikan kinerja optimum pada beton dan *paving block* berbasis limbah keramik (Rifai, Arnandha & Rakhmawati, 2019; Rosbi & Makrifa, 2023).

Perencanaan campuran paving pada penelitian ini menggunakan campuran 1 : 3 yaitu 1 semen dan 3 agregat. Penelitian ini dilakukan dengan meneliti 7 variasi campuran yang berbeda guna mendapatkan hasil variasi yang paling efektif pada setiap pengujian, variasi campuran pada penelitian ini disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Benda Uji

Variasi Benda Uji
A (agregat halus / agregat kasar) 1,5 / 1,5
B (agregat halus / agregat kasar) 1,5 / 1,5 (20 80)
C (agregat halus / agregat kasar) 0,15 / 2,85 (20 80)
D (agregat halus / agregat kasar) 0,3 / 2,7 (20 80)
E (agregat halus / agregat kasar) 0,45 / 2,55 (20 80)

Variasi Benda Uji

F (agregat halus / agregat kasar) 0,6 / 2,4 (20 80)

G (agregat kasar) 3 (20 80)

Pemilihan variasi agregat halus dalam penelitian ini didasarkan pada hasil kajian literatur mengenai beton berpori (*pervious concrete*) dan *paving block* berpori. Secara umum, beton berpori dirancang dengan mengurangi atau menghilangkan agregat halus untuk menghasilkan porositas yang tinggi. Namun, beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan agregat halus dalam jumlah terbatas dapat meningkatkan kuat tekan dan durabilitas tanpa menghilangkan kemampuan peresapan air secara signifikan.

Untuk variasi dengan imbuhan (20 80) berarti pada variasi tersebut menggunakan 20% limbah keramik dan 80% kerikil pada agregat kasarnya. Setelah semua siap selanjutnya dilakukan pencampuran paving dan dilakukan pengujian slump untuk setiap variasi. Dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dengan ukuran benda uji 20cm x 20cm x 8cm, dilanjutkan dengan perawatan benda uji setelah semua benda uji selesai dengan merendam benda uji selama 28 hari. Setelah perawatan benda uji selesai, *paving* dapat dilakukan pengujian yang dimana pada penelitian ini dilakukan 4 pengujian antara lain pengujian kuat tekan, berat jenis, penyerapan air, dan ketahanan terhadap natrium sulfat. Setelah semua data didapatkan dilanjutkan dengan melakukan analisis data, kesimpulan, dan saran.

Rumus pengujian kuat tekan (BSN, 1996):

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{L} \quad (1)$$

dengan :

P = beban tekan, N

L = luas bidang tekan, mm²

Rumus pengujian berat jenis (BSN, 2008) :

$$\text{Berat Jenis} = \frac{N}{m^3} \quad (2)$$

dengan :

N = berat benda uji

m³ = volume benda uji

Rumus pengujian penyerapan air (BSN, 1996) :

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad (3)$$

dengan :

A = Berat bata beton basah

B = Berat bata beton kering

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Perencanaan Universitas Warmadewa. Jalan Terompong No. 24 Sumerta Kelod, Kecamatan Denpasar Timur, Kota Denpasar, Bali, Pada tahun 2025. Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain cawan, timbangan, *oven*, *container*, batang pemadat, keranjang kawat, ember, lap tangan, piknometer, kerucut terpancung, batang penumbuk, saringan, *electrical sieve shaker*, kuas, kerucut abrasi, cetakan *paving*, pemadat *marshall* palu ringan, pemukul *paving*, gelas ukur, sekop. Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain semen portland tipe 1, air, limbah keramik, agregat kasar dan agregat halus dari Desa Sebudi, Kecamatan Selat, Kabupaten Karangasem.

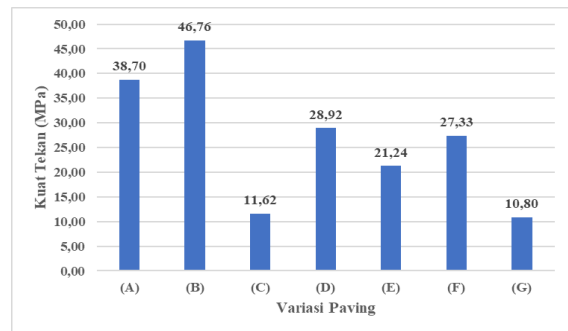
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian masing-masing variasi pada penelitian ini disajikan dalam bentuk gambar sebagai berikut :

3.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Mulyati & Putra, 2021) yang sama-sama menggunakan limbah keramik sebagai substitusi pada agregat kasar mendapatkan nilai kuat tekan tertinggi pada variasi limbah keramik 20% sebesar 30,181 Mpa dan penelitian yang dilakukan oleh (Rosbi & Makrifa, 2023) mendapatkan hasil nilai kuat tekan tertinggi pada variasi limbah keramik 20% sebesar 30,1 MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hasil nilai kuat tekan tertinggi 46,76 MPa terdapat pada variasi 1,5 agregat halus dan 1,5 agregat kasar yang ditambahkan 20% limbah keramik yang dimana hasil nilai kuat tekan yang ditambahkan 20% limbah keramik mendapatkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi normal 1,5 agregat halus dan 1,5 agregat kasar tanpa substitusi limbah keramik pada agregat kasar yang hanya mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 38,70 MPa. Hasil ini bersesuaian

dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penambahan agregat halus dalam jumlah terbatas pada beton berpori dapat meningkatkan ikatan antar agregat dan pasta semen sehingga menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan campuran tanpa agregat halus (Tennis, Leming & Akers, 2004; Schaefer, dkk., 2006).

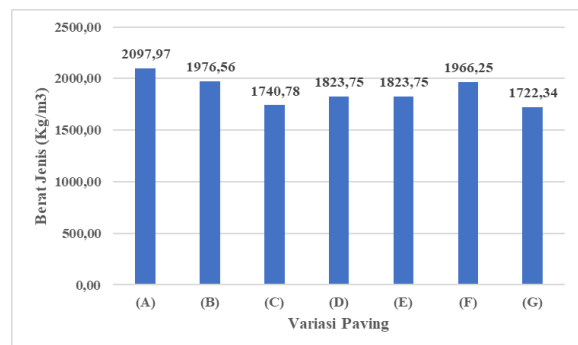


Gambar 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan (Hasil Analisis)

Pada Gambar 1, hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa variasi campuran dengan nilai kuat tekan terbaik dalam penelitian ini adalah 1,5 agregat halus dan 1,5 agregat kasar dengan 20% limbah keramik, yang menghasilkan kuat tekan rata-rata 46,76 MPa, memenuhi Mutu A (kuat tekan ≥ 40 MPa). Sebaliknya, campuran tanpa agregat halus dan 3 agregat kasar dengan 20% limbah keramik menunjukkan hasil terendah, dengan kuat tekan rata-rata hanya 10,80 MPa, termasuk dalam Mutu D (mutu terendah).

3.2 Hasil Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis pada masing - masing benda uji.



Gambar 2. Hasil Pengujian Berat Jenis (Hasil Analisis)

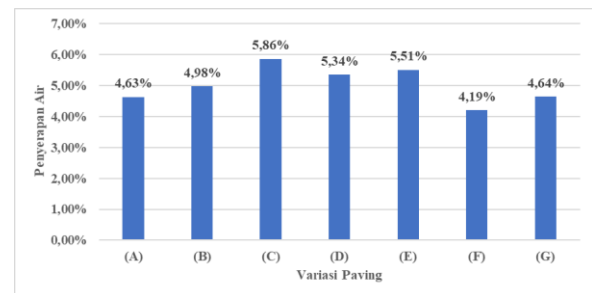
Pada Gambar 2, hasil pengujian berat jenis menunjukkan bahwa variasi 1,5 agregat halus dan 1,5 agregat kasar tanpa substitusi limbah keramik pada komposisinya merupakan variasi yang menunjukkan hasil berat jenis tertinggi yaitu $2097,97 \text{ kg/m}^3$ dan variasi tanpa agregat halus dan 3 agregat kasar yang ditambahkan 20% limbah keramik pada komposisinya merupakan variasi terendah dalam nilai berat jenis sebesar $1722,34 \text{ kg/m}^3$. Hasil ini sesuai dengan penelitian terdahulu, yang menyatakan bahwa beton berpori dengan porositas tinggi dan penggunaan material ringan seperti limbah keramik cenderung memiliki berat jenis yang lebih rendah dibandingkan beton konvensional (Deo & Neithalath, 2010). Penurunan berat jenis ini mengindikasikan peningkatan pori terbuka dalam struktur *paving block*, yang merupakan karakteristik utama beton berpori dan diharapkan dalam sistem perkerasan ramah lingkungan.

3.3 Hasil Pengujian Penyerapan Air

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Rosbi & Makrifa, 2023) mendapatkan nilai penyerapan air tertinggi sebesar 3,674% pada persentase penambahan limbah keramik 26% dan nilai penyerapan air terkecil didapatkan pada penambahan limbah keramik 20% sebesar 2,941 dan pada penelitian yang dilakukan oleh (Aldi Setiawan, Saifuddin & Maulana, 2023) mendapatkan nilai penyerapan air tertinggi 7,78% pada variasi persentase limbah keramik terbanyak sebesar 25% limbah keramik. Pada penelitian yang sudah dilakukan oleh penulis mendapatkan bahwa nilai penyerapan air dengan substitusi limbah keramik pada agregat kasar lebih besar dibandingkan dengan tanpa substitusi limbah keramik. Berdasarkan pada penelitian yang sudah dilakukan oleh penulis dan penelitian terdahulu, dapat dikatakan bahwa substitusi limbah keramik pada agregat kasar dapat mempengaruhi nilai penyerapan air.

Pada Gambar 3, hasil pengujian penyerapan air menunjukkan bahwa variasi 0,15 agregat halus dan 2,85 agregat kasar yang ditambahkan 20% limbah keramik pada

komposisinya merupakan variasi yang menunjukkan performa paling tinggi pada nilai penyerapan air sebesar 5,86% termasuk kedalam Mutu B dan variasi 0,6 agregat halus dan 2,4 agregat kasar yang ditambahkan 20% limbah keramik pada komposisinya merupakan variasi terendah dalam nilai penyerapan air sebesar 4,19% termasuk kedalam Mutu B.



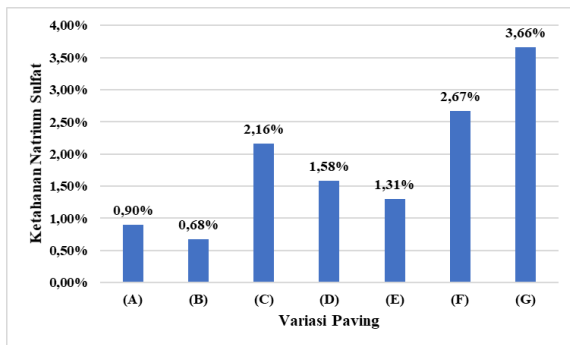
Gambar 3. Hasil Pengujian Penyerapan Air (Hasil Analisis)

Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa peningkatan porositas akibat rendahnya agregat halus dan penggunaan limbah keramik dapat meningkatkan kemampuan serap air paving block (Aldi Setiawan, Saifuddin & Maulana, 2023). Namun demikian, peningkatan agregat halus secara bertahap menyebabkan penurunan nilai penyerapan air (Hidayat & Prasetyaningtiyas). Fenomena ini juga dilaporkan oleh (Schaefer, dkk., 2006), yang menyatakan bahwa agregat halus berfungsi sebagai pengisi rongga sehingga mengurangi volume pori terbuka dan menurunkan laju infiltrasi air.

3.4 Hasil Pengujian Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Rifai, Arnandha & Rakhmawati, 2019) mendapatkan nilai ketahanan terhadap natrium sulfat terbaik sebesar 6,867% dengan variasi 50% agregat halus dan 50% limbah keramik tanpa agregat kasar dan nilai ketahanan terhadap natrium sulfat terendah sebesar 11,967% dengan variasi 100% agregat halus tanpa agregat kasar dan limbah keramik. Pada penelitian yang sudah dilakukan oleh penulis mendapatkan bahwa nilai ketahanan terhadap natrium sulfat dengan substitusi limbah keramik pada agregat kasar mendapatkan nilai lebih baik

(Handayani & Trisnawan, 2023) dibandingkan dengan tanpa substitusi limbah keramik. Berdasarkan dengan penelitian yang sudah dilakukan oleh penulis dan penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa substitusi limbah keramik pada agregat kasar dapat mempengaruhi nilai ketahanan terhadap natrium sulfat.



Gambar 4. Hasil Pengujian Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat

Pada Gambar 4, hasil pengujian ketahanan terhadap natrium sulfat menunjukkan bahwa variasi campuran 1,5 agregat halus dan 1,5 agregat kasar dengan 20% limbah keramik mendapatkan hasil ketahanan terhadap natrium sulfat terbaik, dengan selisih massa hanya 0,68% (tidak cacat). Sebaliknya, campuran tanpa agregat halus dan 3 agregat kasar dengan 20% limbah keramik memiliki ketahanan terendah (Wei, dkk., 2025), dengan selisih 3,66% (cacat), menunjukkan kerusakan akibat paparan natrium sulfat. Hasil ini bersesuaian dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa struktur beton yang lebih padat akibat keberadaan agregat halus mampu meningkatkan ketahanan terhadap serangan sulfat (ACI Committee 201, 2016).

Sebaliknya, campuran tanpa agregat halus menunjukkan ketahanan terendah terhadap natrium sulfat, yang mengindikasikan bahwa porositas tinggi tanpa pengisian rongga yang memadai dapat mempercepat penetrasi larutan agresif. Temuan ini juga dilaporkan oleh (Rifai, Arnandha & Rakhmawati, 2019), yang menyebutkan bahwa beton dengan porositas tinggi lebih rentan terhadap degradasi kimia.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, komposisi *paving block* berpori yang paling optimal dalam

penelitian ini adalah variasi agregat halus : agregat kasar = 1,5 : 1,5 dengan substitusi limbah keramik sebesar 20% pada agregat kasar. Komposisi ini menghasilkan kuat tekan tertinggi, memenuhi kriteria Mutu A, serta menunjukkan ketahanan terbaik terhadap natrium sulfat, sehingga memiliki durabilitas yang baik.

Meskipun variasi dengan agregat halus lebih rendah menghasilkan penyerapan air yang lebih tinggi, penurunan kuat tekan yang terjadi menjadikannya kurang optimal dari sisi struktural. Oleh karena itu, kombinasi 1,5 : 1,5 dengan 20% limbah keramik dinilai paling seimbang dalam memenuhi tujuan penelitian, yaitu menghasilkan *paving block* berpori yang memiliki kemampuan peresapan air, kekuatan mekanis, dan ketahanan yang memadai serta ramah lingkungan.

5. SARAN

Adapun beberapa saran yang dapat disampaikan oleh penulis untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya.

1. Tempat penyimpanan material perlu diperhatikan dengan baik agar terhindar dari paparan air dikarenakan kondisi tersebut dapat meningkatkan kadar air pada material dan dapat mempengaruhi proporsi campuran.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan pengujian dengan variasi umur perawatan yang lebih luas, seperti pada umur paving 7 hari, 21 hari, dan 28 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 201. 2016. Guide to Durable Concrete.
- ACI Committee 522. 2010. ACI 522R-10: Report on Pervious Concrete.
- Aldi Setiawan, Saifuddin, M., & Maulana, R.A. 2023. Pemanfaatan Limbah Pecahan Keramik dan Kapur Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen pada Produksi Paving Blok Ditinjau dari Nilai Kuat Tekan dan Penyerapan Air. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, 6(1), pp. 54–59. Available at: <https://doi.org/10.25139/jprs.v6i1.5680>.
- Astanto, M.M. dkk. 2022. Kuat Tekan dan Kuat Lentur Paving Block Berpori

- Menggunakan Limbah Botol Plastik Tipe Polyethylene Terephthalate. in Prosiding Sentrinov 2022 - Engineering Science. Balikpapan: Indonesian Society of Applied Science (ISAS), pp. 351–358.
- BSN. 1996. SNI 03-0691-1996 tentang Persyaratan Mutu Bata Beton (Paving Block). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN. 2008. SNI 1970-2008 tentang Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- 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), pp. 402–412. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.09.024>.
- Handayani, N.K. & Trisnawan, N.A., 2023. Pemanfaatan Steel Slag sebagai Substitusi Agregat Kasar pada Pembuatan Beton HVFA-SCC Tahan Serangan Sulfat. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 16(2), pp.79-87. Available at: <https://doi.org/10.23917/dts.v16i2.23273>.
- Hidayat, A.M. & Prasetyaningtiyas, G.A., 2023. Evaluation of Pavement Condition Based on the Value of Surface Distress Index and Pavement Condition Index on the Road Section of Gedong Tataan-Kedondong, Pesawaran. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 16(2), pp.68-78. Available at: <https://doi.org/10.23917/dts.v16i2.23271>.
- Hidayat, N.A., Herlina, N. & Nursani, R. 2021. Analisa Karakteristik Kuat Tekan Beton Fc'25 MPa dengan Menggunakan Bahan Tambah Gula Merah. *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 3(1), pp. 1–11.
- Mulyati & Putra, E.H. 2021. Pengaruh Penggunaan Limbah Keramik, Serbuk Arang Briket dan Sikacim Concrete Additive Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Ensiklopedia of Journal*, 3(2), pp. 219–228. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.33559/eoj.v3i2.639>.
- Rifai, A.L., Arnandha, Y. & Rakhmawati, A. 2019. Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Campuran Pembuatan Paving Block. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil*, 1(1), pp. 1–4. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.31002/v1i1.2223>.
- Rosbi & Makrifa, A.I. 2023. Pemanfaatan Limbah Keramik sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar untuk Beton Terhadap Absorpsi, Kuat Tekan, dan Kuat Tarik Belah. *Jurnal Handasah*, 3(1), pp. 1–10.
- Schaefer, V.R. & Wang, K., 2006. Mix Design Development For Pervious Concrete In Cold Weather Climates (No. 2006-01). Iowa. Dept. of Transportation. Highway Division.
- Suhendra, Yamali, F.R. & Ningfuri, T. 2014. Karakteristik Material Bahan Konstruksi di Beberapa Lokasi dalam Kabupaten Muaro Jambi. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 14(4), pp. 145–152.
- Suhudi, K.A., Ainurahman & Purnama, A. 2023. Penelitian Pasir dari Sungai Brantas Desa Padangan Kecamatan Ngantru Kabupaten Tulungagung. *Jurnal Daktilitas*, 2(2), pp. 67–83. Available at: <https://doi.org/10.36563/daktilitas.v2i2.704>.
- Sultan, M.A., Tata, A. & Wanda, A. 2020. Penggunaan Limbah Plastik PP Sebagai Bahan Pengikat Pada Campuran Paving Block. *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), pp. 95–102. Available at: <https://doi.org/10.31849/siklus.v6i2.4552>.
- Tennis, P.D., Leming, M.L. & Akers, D.J. 2004. *Pervious Concrete Pavements*. EB302 ed. Maryland: Portland Cement Association.
- Wei, W., Zhang, Y. & Kong, L., 2025. Study on The Effect of Thermal-Oxygen Aging on The Adhesion Properties of Waste Rubber Powder Modified Asphalt Aggregate Based on Surface Free Energy Theory. *Materials and Technology*, 59(6), pp.811-822.