

PERBANDINGAN KUAT TEKAN BETON POROUS MENGGUNAKAN AGREGAT ALAMI DAN AGREGAT BATU PECAH

Ayu Saputri^{1a*}, Mustakim^{1b}, Andriyani^{1c}

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Parepare

*ayusptr192@gmail.com

Abstrak: Beton porous atau dikenal sebagai porous concrete adalah inovasi dalam konstruksi jalan yang ramah lingkungan. Material ini memiliki rongga udara di permukaannya yang memungkinkan air permukaan mengalir ke dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi ukuran agregat alami dan agregat batu pecah terhadap kuat tekan dan porositas beton porous. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare. Pengujian kuat tekan dilakukan setelah proses curing beton dengan perendaman selama 7, 14, dan 28 hari, sedangkan pengujian porositas dilakukan pada beton berumur 28 hari. Pada pengujian kuat tekan beton porous diperoleh nilai tertinggi pada agregat berukuran 0,5-1 cm pada kedua jenis agregat. Semakin kecil ukuran agregat maka semakin besar kuat tekan yang dihasilkan. Untuk pengujian porositas diperoleh nilai tertinggi pada batu alami ukuran 1-2 cm sebesar 3,28% dan porositas terendah diperoleh pada agregat batu pecah ukuran 0,5-1 cm sebesar 0,88%.

Kata kunci: Beton Porous, Batu Alami, Batu Pecah, Porositas, Kuat Tekan

Abstract: Porous concrete, also known as porous concrete, is an innovation in environmentally friendly road construction. This material has air cavities on its surface that allow surface water to flow into the ground. This study aims to determine the effect of variations in the size of natural aggregates and crushed stone aggregates on the compressive strength and porosity of porous concrete. This study uses a quantitative experimental method conducted at the Structure and Materials Laboratory of the Muhammadiyah University of Parepare. Compressive strength testing was carried out after the concrete curing process by soaking for 7, 14, and 28 days, while porosity testing was carried out on 28-day-old concrete. In the compressive strength test of porous concrete, the highest value was obtained for aggregates measuring 0.5–1 cm for both types of aggregates. The smaller the aggregate size, the greater the compressive strength produced. For porosity testing, the highest value was obtained for natural stone measuring 1-2 cm at 3.28%, and the lowest porosity was obtained for crushed stone aggregates measuring 0.5–1 cm at 0.88%.

Keywords: Porous Concrete, Natural Stone, Crushed Stone, Porosity, Compressive Strength

I. PENDAHULUAN

Beton berpori, juga dikenal sebagai *pervious concrete*, adalah jenis beton dengan nilai slump nol yang tersusun dari portland cement, agregat kasar, sedikit atau tidak ada agregat halus, admixture, dan air [1]. Kombinasi komposisi ini menghasilkan bahan yang keras dan berpori, sehingga memungkinkan cairan mengalir dengan mudah melalui rongga-rongga beton tersebut. Beton ini biasanya digunakan pada struktur dengan kuat tekan terbatas, seperti jalan perumahan, area parkir dengan beban terbatas, lapangan olahraga, jogging tracks, dan trotoar, dengan mutu beton sampai dengan K-225 [2].

Penggunaan beton porous paling umum adalah untuk lapisan perkerasan jalan dengan lalu lintas rendah, lapangan parkir, tempat pejalan kaki, dan taman, agar air tidak lama tergenang dan dapat terserap ke dalam tanah. Contoh lain penggunaannya adalah untuk sumur resapan. Karena kemampuannya dalam melewatkan air, beton porous tidak dapat diberi tulangan

(karena air dapat merusak tulangan). Selain itu, kuat tekannya juga cenderung rendah, sehingga beton porous tidak bisa diaplikasikan pada elemen struktur yang vital [3]. Keunggulan utama beton ini adalah kemampuan meneruskan air, bobot lebih ringan dari beton biasa, rendahnya penyusutan (*low shrinkage*), serta kemampuan meredam suara dan panas lebih baik karena adanya rongga dalam beton. Kekurangannya termasuk kuat tekan yang rendah dan ketidakmampuannya untuk diberi tulangan, sehingga penggunaannya masih sangat terbatas [4].

Beton porous, yang juga merupakan produk konstruksi hijau ramah lingkungan, berfungsi sebagai area resapan karena memiliki 15–20% celah. Saat hujan, air dapat langsung meresap ke tanah di bawahnya. Tiga fungsi utama beton porous adalah sebagai perkerasan beton, daerah resapan air, dan estetika [5]. Di seluruh dunia, beton porous memiliki konsep *ground recharge water*, yaitu membantu menjaga ketersediaan air tanah di sekitar perkerasan beton melalui mekanisme drainase terpadu antara drainase vertikal dan drainase horisontal. Metode *charger water* ini bertujuan untuk mengembalikan fungsi air ke dalam tanah, bukan untuk dialirkan ke sungai atau laut semata [6].

Beton berpori dibuat menggunakan agregat tunggal (berukuran sama), atau disebut juga beton non-pasir, dengan ukuran 5mm sampai 10mm. Beton berpori memiliki celah dalam agregatnya yang memungkinkan air untuk lulus melalui beton tersebut. Beton porous adalah aplikasi penting dalam konstruksi sipil untuk pembangunan berkelanjutan, mengatasi persoalan air dan banjir. Dengan teknik pengembangan yang tepat, aplikasi beton porous juga dapat melindungi kualitas air tanah yang menjadi sumber air terjamin karena sirkulasi yang baik [7]. Porositas tinggi tercapai karena rongga yang saling berhubungan. Biasanya, beton porous menggunakan sedikit atau tanpa agregat halus dan memiliki cukup pasta semen untuk melapisi permukaan agregat kasar serta menjaga interkoneksi pori. Untuk mengatasi endapan di bagian dasar beton porous akibat aliran pasta semen, diperlukan bahan pengisi pori antar agregat kasar yang masih memungkinkan air untuk menembus beton, serta penggunaan faktor air semen (FAS) yang sekecil mungkin [8].

Penelitian sebelumnya mengenai beton porous yang menggunakan dua jenis agregat kasar dengan ukuran nominal maksimum 12,5 mm dan 6,7 mm sebagai batuan split, dengan bobot masing-masing 1,123 kg/m³ dan 2,63 kg/m³. Faktor air semen (FAS) yang digunakan adalah 0,35 dengan volume air sebesar 0,35 kg, serta semen Portland tipe 1 dengan kuantitas 389,6 kg/m³ [9]. Kuat tekan beton porous yang menggunakan agregat kasar batu pecah dari Handil Bakti dan direndam dengan air PDAM mencapai 6,22 MPa. Pola retakan yang terjadi disebabkan oleh penyebaran tegangan pada benda uji, yang dipengaruhi oleh proses ikat pegangan dan homogenitas agregat penyusun beton [10]. Kuat tekan beton porous tertinggi menggunakan ukuran agregat kecil (1-2 cm) dengan abu batu 7,47 MPa. dengan infiltrasi 0,28 cm/s dan permeabilitas 2,81 cm/s. Peningkatan kuat tekan menggunakan abu batu ukuran agregat 1-2 cm sebesar 40,83 % dan ukuran agregat 2-3 cm sebesar 62,30% [11].

Sungai di Desa Bojo, Kabupaten Barru, memiliki deposit material yang melimpah dan mudah diakses, sehingga banyak digunakan oleh masyarakat setempat meskipun mutu beton yang dihasilkan belum diketahui. Oleh karena itu, material ini perlu diteliti lebih lanjut di laboratorium untuk memahami sifat dan karakteristiknya guna meningkatkan kualitas beton. Secara umum, agregat kasar terbagi menjadi dua jenis: agregat buatan dan agregat alami. Agregat buatan berasal dari agregat alami yang diolah dengan alat pemecah batu, memiliki permukaan kasar dan bersudut, sementara agregat alami berbentuk bulat dengan permukaan lebih halus akibat pengikisan oleh air. Gradasi agregat, yang mencakup distribusi ukuran butiran, sangat mempengaruhi volume pori dan kepadatan beton. Gradasi seragam memiliki ukuran butiran yang sama, menghasilkan pori yang lebih besar, sedangkan gradasi menerus memiliki berbagai ukuran butiran yang terdistribusi dengan baik, sehingga porinya lebih kecil dan kepadatannya lebih tinggi.

II. METODOLOGI

2.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen kuantitatif yaitu penelitian yang banyak menekankan pada penggunaan angka mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data, serta penampilan dari hasilnya disertai gambar, tabel, grafik dan tampilan lainnya. Kemudian dilakukan dengan mengadakan suatu percobaan secara langsung yang dilakukan di laboratorium untuk mendapatkan data-data dan hasil dari variabel-variabel yang diteliti.

2.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dimulai sejak minggu pertama bulan Mei hingga akhir bulan Juli 2024. Penelitian ini terdiri dari beberapa rangkaian kegiatan mulai dari persiapan benda uji, perhitungan, pembuatan, pemeliharaan, dan pengujian yang secara keseluruhan dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare, Jl. Jend. Ahmad Yani Km. 6, Bukit Harapan, Kec. Soreang, Parepare.

2.3. Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan alat saringan dengan lubang saringan sebesar 19.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, dan 0.60 mm. Timbangan untuk menimbang bahan-bahan benda uji. Oven untuk mengeringkan benda uji. *Concrete Mixer*/ mesin pencampur digunakan untuk mencampur semua bahan-bahan benda uji. Kerucut Abram digunakan untuk mengetahui nilai slump sebelum beton dimasukkan ke dalam cetakan. Cetakan Beton (cetakan silinder ukuran 15 cm x 30 cm). Mesin uji tekan benda uji beton (*Universal Testing Machine*).

Bahan yang digunakan yaitu semen Portland Composite Cement (PCC), air yang bersih berasal dari Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare, agregat kasar berasal dari desa Bojo Kabupaten Barru dengan variasi ukuran butir 0,5 – 1 cm dan 1 – 2 cm.

2.4. Teknik Pengumpulan Data

2.4.1. Data Primer

Data primer adalah data yang secara langsung didapat dari lapangan atau lokasi penelitian dengan dokumentasi menggunakan kamera untuk mengumpulkan data secara visual yang ada pada lokasi.

2.4.2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh melalui studi literatur sebagai penunjang dan referensi untuk memperkuat dalam penelitian yang akan dilakukan seperti data-data yang bersumber dari Lembaga atau peneliti sebelumnya. Misalnya data SNI (Standar Nasional Indonesia), PBI (Peraturan Beton Indonesia), dan internet.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat kasar dilakukan untuk menentukan karakteristik agregat kasar sesuai dengan ketentuan dalam SNI 8198:2015. Hasil dari pengujian tersebut ditunjukkan dalam rekap percobaan yang telah dilaksanakan di Laboratorium, seperti yang tercantum berikut ini:

3.1.1. Agregat Kasar

Tabel I. Rekap Pengujian Agregat Kasar Batu Pecah

No	Karakteristik Agregat	Spesifikasi	Hasil
1	Kadar lumpur	Maks 5%	0.60%
2	Keausan	50%	28.4%
3	Kadar air	2% - 5%	0,68%
4	Berat volume		
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/ltr	1.61
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/ltr	1.83
5	Absorpsi	0,2% - 2%	3.76%
6	Berat jenis spesifik	1,6 - 3,3	2,80
7	Modulus kehalusan	6,0 – 8,0	7,11

Tabel II. Rekap Pengujian Agregat Kasar Batu Alami

No	Karakteristik Agregat	Spesifikasi	Hasil
1	Kadar lumpur	Maks 5%	0.25%
2	Keausan	50%	10.3%
3	Kadar air	2% - 5%	1,91%
4	Berat volume		
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/ltr	1.62
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/ltr	1.82
5	Absorpsi	0,2% - 2%	3.94%
6	Berat jenis spesifik	1,6 - 3,3	2,74
7	Modulus kehalusan	6,0 – 8,0	6,95

3.2. Perencanaan Campuran Beton Porous (*Mix Design*)

Mix desain beton porous dihitung berdasarkan metode ACI 522 R *Pervious Concrete* dengan hasil data sebagai berikut.

Tabel III. Kebutuhan Bahan Beton Porous Agregat Batu Pecah 0,5-1

W Bahan	Kebutuhan 1 m3	Kebutuhan 1 Silinder	Kebutuhan 9 Silinder
W Semen	425.76 kg	2,60 kg	23,36 kg
W Kerikil	1930.35 kg	11,37 kg	105,92 kg
W Air	127.73 kg	0,78 kg	7,01 kg

Tabel IV. Kebutuhan Bahan Beton Porous Agregat Batu Alami 0,5-1

W Bahan	Kebutuhan 1 m3	Kebutuhan 1 Silinder	Kebutuhan 9 Silinder
W Semen	425,76 kg	2,60 kg	23,36 kg
W Kerikil	1924,00 kg	11,73 kg	105,57 kg
W Air	127,73 kg	0,78 kg	7,01 kg

Tabel V. Kebutuhan Bahan Beton Porous Agregat Batu Pecah 1-2

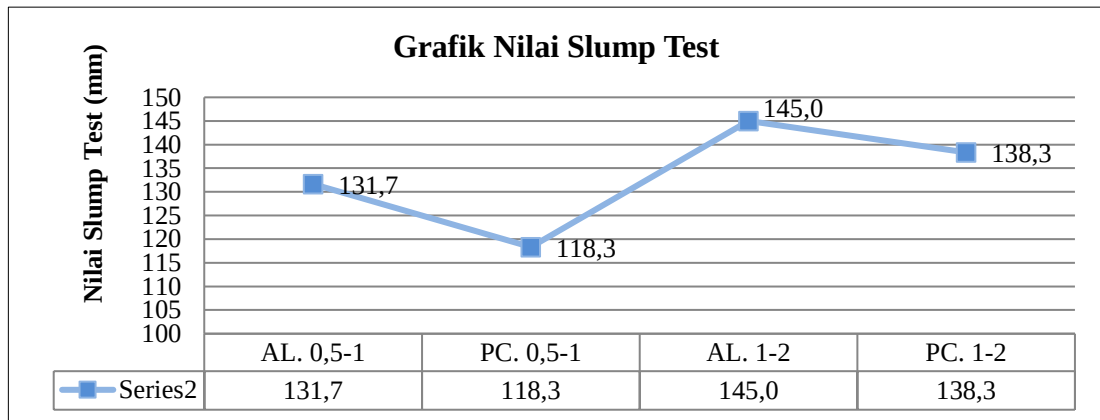
W Bahan	Kebutuhan 1 m3	Kebutuhan 1 Silinder	Kebutuhan 9 Silinder
W Semen	425,76 kg	2,60 kg	23,36 kg
W Kerikil	1898,03 kg	11,57 kg	104,14 kg
W Air	127,73 kg	0,78 kg	7,01 kg

Tabel VI. Kebutuhan Bahan Beton Porous Agregat Batu Alami 1-2

W Bahan	Kebutuhan 1 m3	Kebutuhan 1 Silinder	Kebutuhan 9 Silinder
W Semen	425,76 kg	2,60 kg	23,36 kg
W Kerikil	1888,91 kg	11,52 kg	103,64 kg
W Air	127,73 kg	0,78 kg	7,01 kg

3.3. Nilai Slump

Pengujian *slump* dilakukan dengan kerucut Abrams, yang diisi dengan beton segar dalam tiga lapisan. Setiap lapisan ditusuk 25 kali, kemudian kerucut diangkat perlahan. Nilai *slump* diukur dengan menghitung selisih tinggi beton setelah kerucut diangkat dibandingkan dengan tinggi kerucut asli.

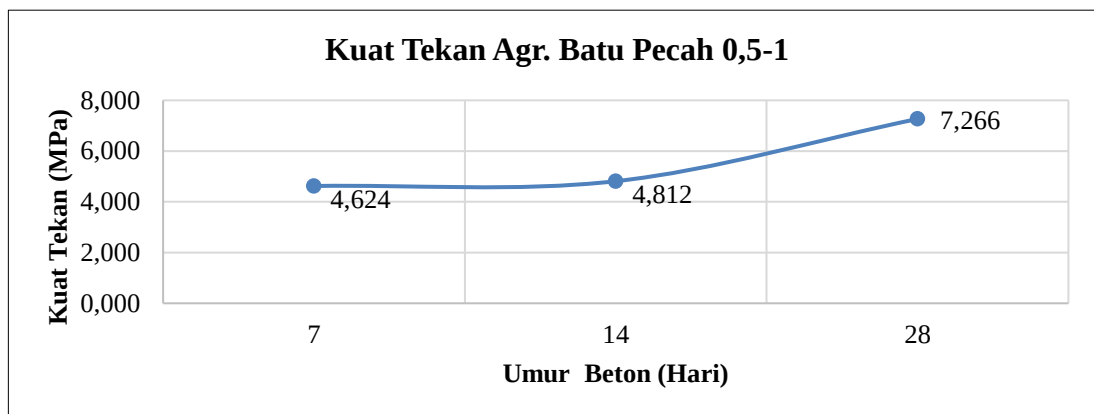


Gambar 1. Grafik Nilai Slump Test Pada Setiap Variasi

Pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa pada saat uji slump, bentuk keruntuhan dari masing-masing agregat berbeda-beda. Untuk agregat batu alami ukuran 1-2 cm memiliki nilai slump tertinggi yakni sebesar 145,0 mm sedangkan slump terendah diperoleh pada agregat batu pecah ukuran 0,5-1 cm sebesar 118,3 mm. Keadaan ini disebabkan karena interlocking atau bidang kontak agregat dan permukaannya berbeda-beda. Hal ini menyebabkan keruntuhan slump untuk agregat batu alami terjadi lebih cepat pada saat kerucut abrams diangkat dibandingkan dengan agregat batu pecah.

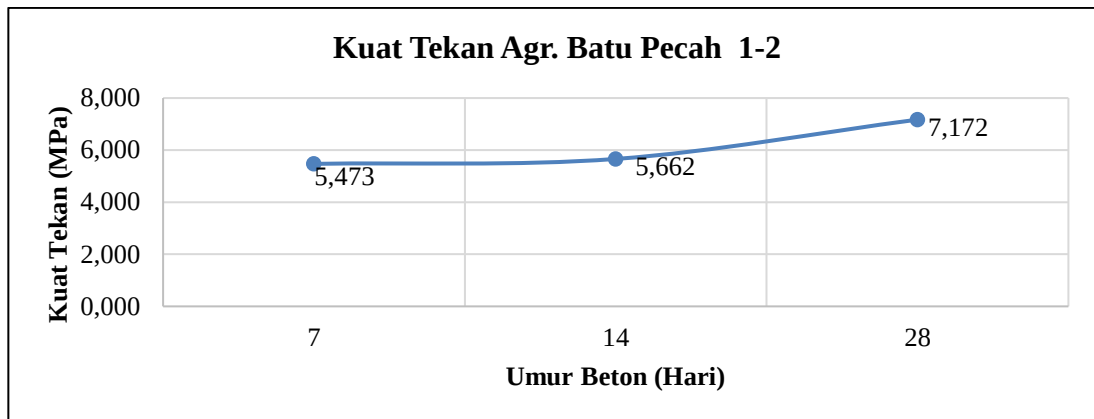
3.4. Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada beton porous setelah perawatan selama 7, 14, dan 28 hari. Sampel terdiri dari 4 variasi: beton porous dengan agregat batu pecah ukuran 0,5-1 cm dan 1-2 cm, serta beton porous dengan agregat alami ukuran 0,5-1 cm dan 1-2 cm. Setiap variasi campuran memiliki 9 sampel berbentuk silinder berukuran 150 x 300 mm. Sebelum pengujian kuat tekan, setiap sampel ditimbang terlebih dahulu.



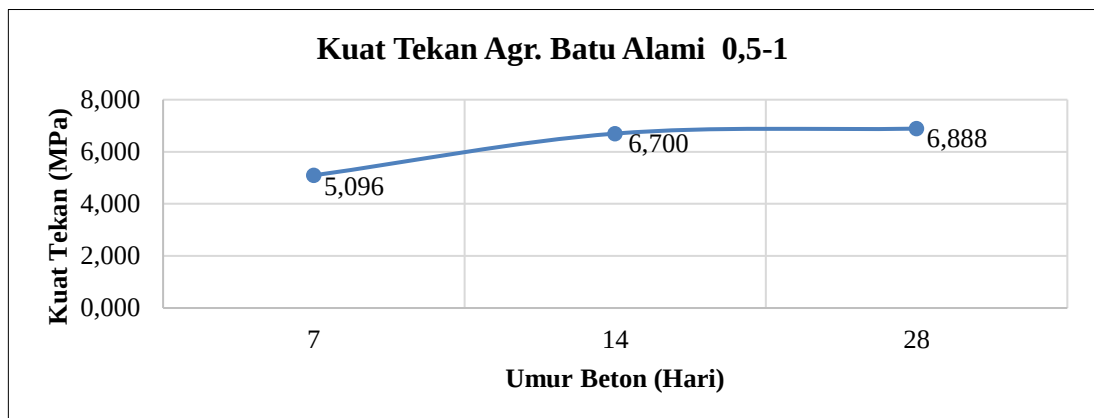
Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Agregat Batu Pecah 0,5-1

Pada Gambar 2, grafik di atas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton porous agregat batu pecah ukuran butir 0,5-1 cm mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 0,188 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 2,454 MPa.



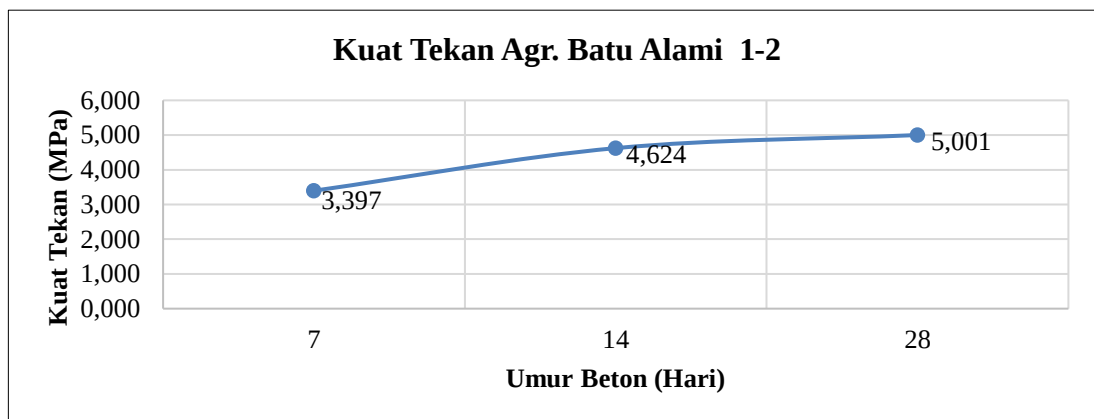
Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Agregat Batu Pecah 1-2

Pada Gambar 3, grafik di atas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton porous agregat batu pecah ukuran butir 1-2 cm mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 0,189 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 1,51 MPa.



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Agregat Batu Alami 0,5-1

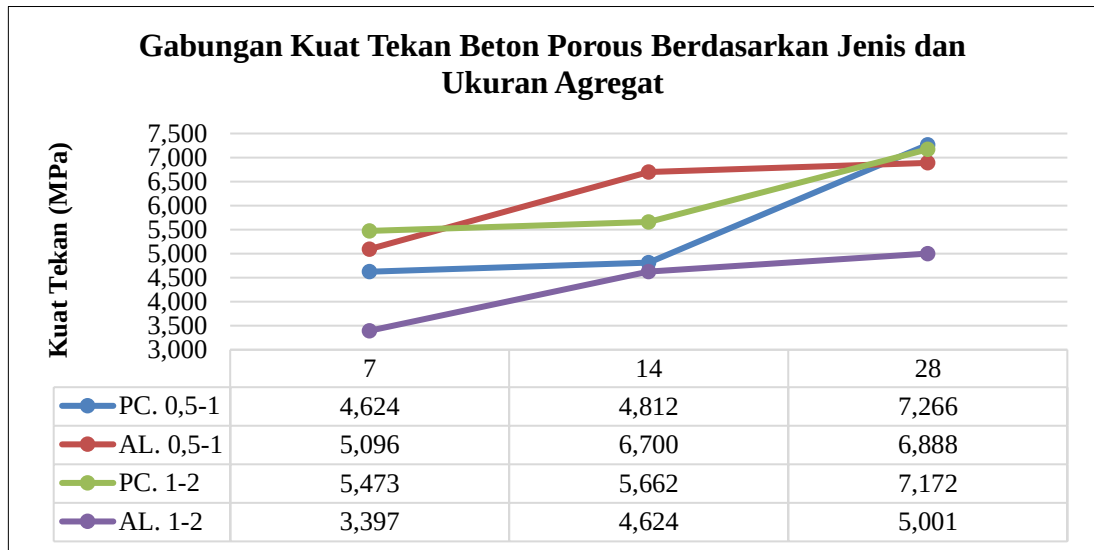
Pada Gambar 4, grafik di atas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton porous agregat alami ukuran butir 1-2 cm mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 1,604 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 0,188 MPa.



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Agregat Batu Alami 1-2

Pada Gambar 5, dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton porous agregat alami ukuran butir 1-2 cm mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 1,227 MPa

sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 0,337 MPa.

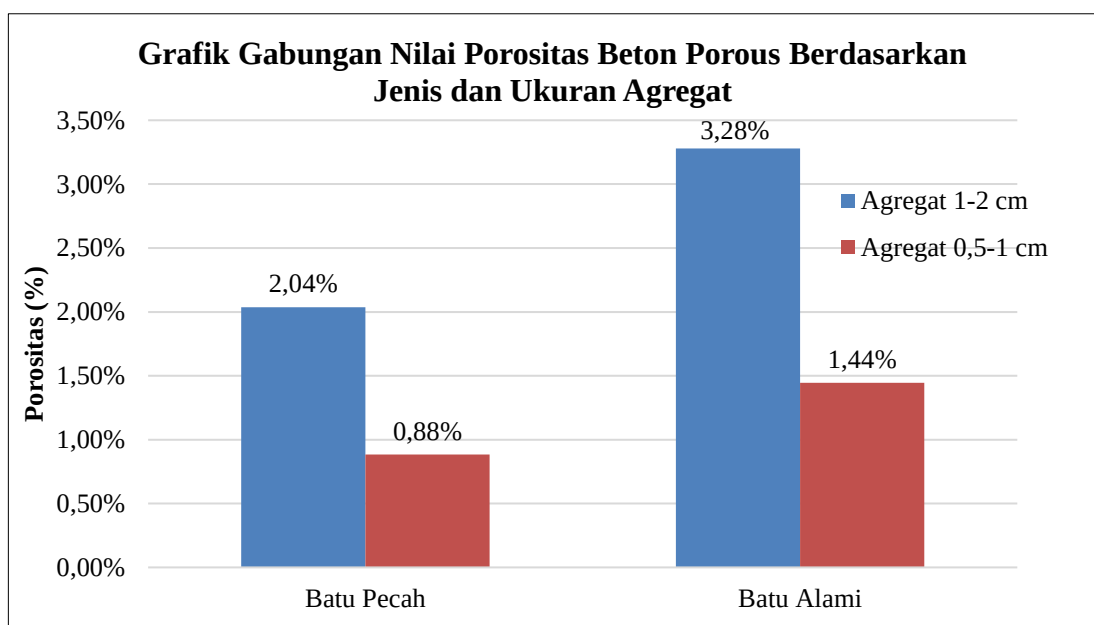


Gambar 6. Grafik Gabungan Kuat Tekan Beton Porous Berdasarkan Jenis dan Ukuran Agregat

Grafik menunjukkan bahwa kuat tekan beton porous bervariasi berdasarkan jenis dan ukuran agregat. Untuk agregat batu pecah ukuran 0,5-1 cm, kuat tekan meningkat dari 4,624 MPa pada 7 hari, menjadi 4,812 MPa pada 14 hari, dan mencapai 7,266 MPa pada 28 hari. Beton porous dengan agregat batu alami ukuran 0,5-1 cm menunjukkan peningkatan kuat tekan dari 5,096 MPa pada 7 hari, menjadi 6,700 MPa pada 14 hari, dan 6,888 MPa pada 28 hari. Untuk agregat batu pecah ukuran 1-2 cm, kuat tekan bertambah dari 5,473 MPa pada 7 hari, menjadi 5,662 MPa pada 14 hari, dan 7,172 MPa pada 28 hari. Sedangkan untuk agregat batu alami ukuran 1-2 cm, kuat tekan meningkat dari 3,397 MPa pada 7 hari, menjadi 4,624 MPa pada 14 hari, dan 5,001 MPa pada 28 hari.

3.5. Porositas

Adapun hasil dari pengujian porositas beton porous agregat alami dan agregat batu pecah dengan ukuran butir agregat 0,5-1 cm dan 1-2 cm sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik Gabungan Nilai Porositas Beton Porous Berdasarkan Jenis dan Ukuran Agregat

Grafik tersebut menunjukkan nilai porositas beton porous berdasarkan jenis dan ukuran agregat, yaitu agregat batu pecah dan batu alami. Setiap jenis agregat memiliki dua ukuran, yaitu 0,5-1 cm dan 1-2 cm. Batu pecah dengan ukuran agregat 1-2 cm memiliki nilai porositas sebesar 2,04%, sedangkan ukuran 0,5-1 cm memiliki nilai porositas sebesar 0,88%. Batu alami dengan ukuran agregat 1-2 cm memiliki nilai porositas sebesar 3,28%, sementara ukuran 0,5-1 cm memiliki nilai porositas sebesar 1,44%. Dari grafik ini terlihat bahwa batu alami dengan ukuran 1-2 cm memiliki nilai porositas tertinggi sebesar 3,28%, sementara batu pecah dengan ukuran 0,5-1 cm memiliki nilai porositas terendah sebesar 0,88%.

IV. KESIMPULAN

Agregat batu pecah berukuran kecil (PC 0,5-1) memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kuat tekan beton porous dibandingkan dengan agregat batu pecah berukuran besar. Semakin kecil ukuran agregat batu pecah, semakin tinggi kuat tekan beton porous. Agregat batu alami berukuran kecil (AL 0,5-1) memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kuat tekan beton porous dibandingkan dengan agregat batu alami berukuran besar. Semakin kecil ukuran agregat batu alami, semakin tinggi kuat tekan beton porous. Perbandingan nilai porositas beton porous berdasarkan jenis dan ukuran agregat disimpulkan bahwa agregat ukuran 1-2 cm memiliki nilai porositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan agregat ukuran 0,5-1 cm pada kedua jenis batu, baik batu alami maupun batu pecah. Nilai porositas tertinggi didapat pada agregat batu alami ukuran 1-2 cm sebesar 3,28% sedangkan porositas terendah pada agregat batu pecah ukuran 0,5-1 cm sebesar 0,88%. Hal ini disebabkan karena agregat yang lebih besar memiliki lebih banyak ruang kosong antar partikel, yang menyebabkan pori-pori lebih banyak dan nilai porositas menjadi lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Parepare yang telah memberikan dukungan moril dalam penelitian ini serta dosen dan keluarga yang selalu memberi semangat dan doa demi kelancaran penelitian ini. Tidak lupa ucapan terima kasih kepada mahasiswa Program Studi Teknik Sipil yang juga ikut terlibat dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] A. C. I. Committee, *ACI 522R-06 In Concrete Construction - World of Concrete*. American: Technical Documents, 2006.
- [2] S. P. Tampubolon, *Struktur Beton I Civil Engineering*. Jakarta: Universitas Kristen Indonesia, 2022.
- [3] E. J. Elizondo Martinez, V. C. Andres Valeri, J. Rodriguez Hernandez, and D. Castro Fresno, "Proposal of a New Porous Concrete Dosage Methodology for Pavements," vol. 12, no. 19, pp. 1–16, 2019.
- [4] M. R. Zalalludin and M. Ryanto, "Kajian Beton Porous Dengan Menggunakan Varian Gradasi Agregat Kasar Dan Silica Fume Untuk Pengujian Kuat Tekan Dan Tarik Belah Beton," *Sist. Infrastruktur Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, p. 281, 2022.
- [5] M. Zulham, L. Liliana, and F. Frieda, "Sifat Mekanik Beton Berpori Dengan Material Agregat Buatan Dari Limbah Plastik PET," *Media Ilm. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 2, pp. 145–154, 2022.
- [6] I. Agus, "Desain Beton Berongga (Porous Concrete) Dengan Variasi Faktor Air Semen (FAS) Sebagai Beton Ramah Lingkungan," *J. Media Inov. Tek. Sipil UNIDAYAN*, vol. 11, no. 1, pp. 18–24, 2022.
- [7] S. Samsul, M. Mustakim, and K. Kasmaida, "Pengaruh Ukuran Butir Agregat Kasar Terhadap Kapasitas Kuat Tekan Dan Nilai Slump Beton Porous," *J. Karajata Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 124–127, 2023.
- [8] M. Zulham, L. Liliana, and F. Frieda, "Porosity of Porous Concrete With Artificial Aggregate

- From Pet Plastic Waste,” *J. TRANSUKMA*, vol. 5, no. 2, pp. 168–174, 2023.
- [9] I. V. Simanjuntak and S. P. Tampubolon, “Pengaruh Variasi Agregat Kasar Penyusun Beton Porous Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas Beton,” *J. Rekayasa Tek. Sipil dan Lingkung. - CENTECH*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2022.
- [10] E. Purnamasari and F. Handayani, “Beton Porous Dengan Menggunakan Agregat Lokal Di Kalimantan Selatan,” *J. Kacapuri J. Keilmuan Tek. Sipil*, vol. 3, no. 1, p. 139, 2020.
- [11] E. Riyanto, A. Setiawan, and M. Taufik, “Pengaruh Ukuran Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Infiltrasi dan Permeabilitas Beton Porous,” *J. Ilmu Tek. Sipil*, vol. 7, no. 1, pp. 61–71, 2023.