



Studi Karakteristik Beton Porous Dengan Menggunakan Agregat Sungai Maulu

Suryanti R. Tonapa¹, Lisa Febriani^{2*}, Desi Sandy³, Pebrinar R. Sangle⁴, Abigail M. Massolo⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar

**Email: lisa@ukipaulus.ac.id*

Abstract: Local aggregate management in a region must be optimized by considering the need for materials that provide sustainable green solutions. Materials sourced from the Maulu River have not been widely explored scientifically and optimally utilized in concrete technology. This research offers novelty through the use of local aggregates originating from the Maulu River as a constituent material for porous concrete and an analysis of the relationship between aggregate characteristics and the physical and mechanical properties of concrete, including pore volume, permeability, and compressive strength. By setting the aggregate dimension number 8, which is in the range of 2.38 mm to 9.5 mm. This study aims to identify the characteristics of porous concrete based on the constituent materials from the Maulu River in Tana Toraja Regency. The duration of the research, which took place from October to December 2024, by applying the ACI 522R-10 porous concrete mix planning, as well as analyzing the characteristics of porous concrete such as pore volume, permeability, and compressive strength. The results of the study showed that the average void ratio was 18.453%, the average permeability was 5.964 mm/second and the average compressive strength at the ages of 7, 21, and 28 days was 6.04 MPa, 7.30 MPa, and 8.32 MPa. By referring to the qualified characteristics, the results of this study are expected to provide a sustainable green connectivity solution for the people of the Sungai Maulu area.

Keywords: Maulu River Aggregate, Porous concrete; Pore volume; Permeability; Compressive strength

1. PENDAHULUAN

Komponen utama dalam penyusunan beton yaitu agregat yang berada pada kisaran 60-75% dari total volume beton, sehingga karakteristik agregat sangat menentukan sifat fisik beton segar dan sifat mekanik beton, serta durabilitas beton (Rajiman, 2020). Potensi agregat yang dimiliki oleh Sungai Maulu, Tana Toraja sebagai material lokal yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyusun beton normal karena ketersediaannya yang memadai dan mudah diperoleh. Agregat Sungai Maulu memiliki karakteristik visual butiran cenderung membulat, yang dapat meningkatkan *workability* beton segar. Karakteristik lainnya seperti berat jenis, penyerapan, berat volume, kadar air, kadar lumpur, kandungan organik, serta gradasi telah diperiksa dan dievaluasi yang semuanya berada dalam interval yang disyaratkan oleh standar (Pilo, 2024).

Menurut istilahnya, beton porous memiliki jumlah pori yang lebih besar dari beton konvensional atau beton normal. Komposisi material yang digunakan pun hampir

sama, yang membedakannya yaitu dari segi penggunaan agregat kasar tanpa atau dengan sedikit konsentrasi agregat halus, seperti yang ditetapkan dalam standar. Beton porous merupakan jenis beton dengan struktur berpori yang tersusun dari semen, agregat kasar, air, dan umumnya menggunakan sedikit atau tanpa agregat halus sehingga menghasilkan rongga-rongga yang saling terhubung. Struktur tersebut memungkinkan air hujan meresap langsung ke dalam tanah sehingga mampu mengurangi limpasan permukaan (*surface runoff*), meningkatkan pengisian kembali air tanah, dan meminimalkan risiko genangan maupun banjir di kawasan perkotaan. Selain memiliki kemampuan drainase yang baik, beton porous juga memberikan manfaat lingkungan berupa pengurangan efek pulau panas (*urban heat island*) dan peningkatan kualitas air melalui proses filtrasi alami (Simanjuntak dkk., 2022).

Parameter utama yang menentukan karakteristik beton porous adalah volume pori. Volume pori pada beton porous menunjukkan persentase ruang kosong yang terdapat di dalam beton terhadap volume benda uji. Kemampuan meloloskan jumlah air yang besar pada beton porous disebabkan oleh volume pori yang besar, namun jumlah volume pori yang besar menyebabkan berkurangnya luas bidang kontak antara gregat dan pasta semen sehingga ikatan antar partikel menjadi lemah (Kurniawan dkk., 2020). Oleh sebab itu, pengendalian volume pori sangat penting dalam mendesain komposisi material beton porous yang mengarahkan pada keseimbangan antara karakteristik hidrolis dan sifat mekanik sesuai rancangan dan kebutuhan. Konsentrasi pori yang syaratkan oleh standar berkisar antara 15%-35% (ACI Committee 522, 2010).

Permeabilitas merupakan karakteristik hidrolis dari beton porous yang mengukur kemampuan mengalirkan air melalui jaringan pori yang saling terhubung. Distribusi pori, ukuran pori, gradasi agregat, faktor air-semen, konektivitas antar rongga serta kualitas pasta semen merupakan faktor yang menentukan angka permeabilitas beton porous (Desmaliana dkk., 2018). Fungsi pengaliran yang optimal dihasilkan melalui angka permeabilitas yang besar, yang memicu aliran air yang cepat. Berdasarkan hal ini, pengujian permeabilitas menjadi salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kinerja beton porous yang diterapkan pada perkerasan kaku jalan, area parkir, trotoar dan sistem drainase berkelanjutan. Angka permeabilitas yang disyaratkan juga tetap mempertimbangkan persyaratan kekuatan sehingga selama masa layan, beton dapat berfungsi baik (Ghilman dkk., 2023).

Indikator kekuatan beton porous dapat dirujuk pada sifat mekanik utama yaitu kuat tekan. Parameter ini menilai kemampuan beton dalam menerima beban aksial tekan sampai batas keruntuhannya. Beton porous memiliki kuat tekan yang cenderung lebih rendah dibandingkan beton konvensional karena struktur internalnya mengandung rongga-rongga berukuran relatif besar yang mengurangi kapasitas menahan beban. Besarnya kuat tekan dipengaruhi oleh beberapa parameter, antara lain kualitas semen, nilai faktor air-semen, karakteristik agregat, tingkat pemadatan, umur beton, serta volume pori yang terbentuk di dalam campuran (Seifeddine et al., 2022). Hubungan antara kuat tekan dan volume pori pada beton porous menunjukkan korelasi negatif,

yaitu semakin besar volume pori yang terbentuk, semakin rendah kemampuan beton dalam menahan beban tekan. Kondisi ini terjadi karena bertambahnya rongga mengurangi luas penampang efektif yang berperan dalam menahan gaya tekan. Oleh sebab itu, perancangan komposisi campuran beton perlu dilakukan secara optimal agar keseimbangan antara tingkat porositas dan kuat tekan dapat tercapai sesuai dengan kebutuhan serta persyaratan konstruksi yang direncanakan (Yu et al., 2019).

Penelitian terdahulu yang berkaitan, dengan menggunakan butiran gradasi yang seragam serta dibagi menjadi tiga kelompok yaitu diameter 5-10 mm (grup 1); diameter 10-20 mm (grup 2) dan diameter 20-30 mm (grup 3). Sifat yang dikontrol yaitu nilai slump dan kuat tekan yang menunjukkan nilai slump dari grup 1 sampai grup 3 adalah 196 mm, 192 mm dan 178 mm, sedangkan rata-rata kuat tekan secara berurutan adalah 6,13 MPa; 5,47 MPa dan 5,00 MPa (Samsul dkk., 2023). Merujuk hasil riset yang telah dilakukan, terdapat research gap yang ditemukan seperti beberapa parameter beton berongga yang belum diperiksa seperti volume pori dan permeabilitas. Hal ini membuka peluang untuk menggunakan agregat lokal Sungai Maulu untuk dirancang dalam kategori beton porous, dengan menetapkan nomor ukuran agregat 8 yang berada dalam rentang 2,38 mm sampai 9,5 mm. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pemanfaatan agregat lokal yang berasal dari Sungai Maulu sebagai bahan penyusun beton porous serta analisis keterkaitan karakteristik agregat terhadap sifat fisik dan mekanik beton, meliputi volume pori, permeabilitas, dan kuat tekan. Pendekatan ini memberikan dasar ilmiah dalam mengevaluasi kelayakan penggunaan agregat Sungai Maulu sebagai material lokal yang berpotensi mendukung pengembangan konstruksi ramah lingkungan dengan tetap memenuhi persyaratan kinerja beton porous.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik beton porous yang menggunakan agregat Sungai Maulu melalui pengujian volume pori, permeabilitas, dan kuat tekan. Selain itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kelayakan agregat Sungai Maulu sebagai material lokal dalam pembuatan beton porous serta mengidentifikasi hubungan antara karakteristik agregat dengan sifat hidrolik dan mekanik beton yang dihasilkan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dalam pengembangan beton porous berbasis material lokal yang ekonomis, berkelanjutan, dan sesuai untuk mendukung pembangunan infrastruktur yang ramah lingkungan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis karakteristik beton porous yang memanfaatkan agregat Sungai Maulu sebagai material utama. Perancangan campuran mengacu pada standar ACI 522R-10 melalui tahap trial mix hingga diperoleh nilai void sesuai rencana. Benda uji berbentuk silinder berdiameter 150 x 300 mm digunakan untuk pemeriksaan berat volume dan kuat tekan, sedangkan silinder berukuran diameter 100 x 200 mm untuk pemeriksaan angka pori dan permeabilitas. Parameter yang diamati meliputi karakteristik beton porous.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar. Pengambilan agregat dilakukan di Sungai Maulu kemudian dilakukan pengujian karakteristik agregat sebelum digunakan dalam pembuatan beton porous. Keseluruhan penelitian berlangsung selama Oktober sampai Desember 2024 yang meliputi tahap persiapan alat dan bahan, pemeriksaan sifat agregat, perancangan campuran, pembuatan benda uji, proses perawatan (*curing*), pelaksanaan pengujian, hingga analisis hasil penelitian.

Data dalam penelitian ini meliputi data primer dan sekunder. Data primer diperoleh secara langsung melalui pengujian laboratorium yang meliputi karakteristik agregat dan beton segar, angka pori, koefisien permeabilitas, serta kuat tekan beton porous pada umur pengujian 7 hari, 21 hari dan 28 hari. Data sekunder diperoleh dari standar ACI 522R-10, literatur ilmiah, jurnal penelitian terdahulu yang relevan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian dan pembahasan hasil.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan hasil dari beton segar terhadap standar dan membandingkan setiap karakteristik beton porous. Nilai volume pori, permeabilitas, dan kuat tekan dihitung berdasarkan hasil pengujian laboratorium, kemudian disajikan dalam grafik untuk mempermudah interpretasi data. Selanjutnya dilakukan analisis hubungan antar parameter guna mengetahui pengaruh penggunaan agregat Sungai Maulu terhadap karakteristik beton porous. Hasil penelitian kemudian dibandingkan dengan persyaratan teknis maupun hasil penelitian terdahulu sehingga dapat diperoleh kesimpulan mengenai kinerja beton porous yang dihasilkan.



Gambar 1. Sampel Pengujian

Untuk memproses data yang diambil pada laboratorium, digunakan rumus berikut:

a. Volume Pori atau Angka pori

$$v = \frac{(B - A)}{(B - C)} \times 100$$

Dari rumus diatas dapat diketahui, v adalah angka pori (%), A adalah berat sampel kondisi kering oven (kg), B adalah berat sampel dalam kondisi basah permukaan (kg), C adalah berat sampel setelah direndam air.

b. Permeabilitas

$$k = \frac{(A)}{t}$$

Dari rumus diatas dapat diketahui, k adalah permeabilitas (mm/detik), (A) adalah angka tetap (0,084 m), t adalah waktu yang dibutuhkan air mengalir (detik).

c. Kuat tekan

$$f_c = \frac{P}{A}$$

Dari rumus diatas dapat diketahui, f_c adalah kuat tekan beton (MPa), A adalah luas penampang benda uji (mm^2), P adalah beban uji maksimum (N).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Beton Segar

Pengamatan dan observasi beton segar yang ditinjau yaitu *bleeding* dan berat volume. Dari observasi yang dilakukan fenomena bleeding pada campuran tidak terjadi. *Bleeding* sendiri merujuk pada pemisahan atau naiknya air yang terkandung dalam campuran beton segar setelah proses pemadatan. Hal ini umumnya dapat mempengaruhi kekuatan dan kualitas beton yang dihasilkan. Namun, pada pengujian kali ini, air tetap terikat dengan material lainnya, sehingga tidak ada tanda-tanda pemisahan antara air dan campuran semen yang dapat mengurangi daya tahan atau kekuatan beton yang sedang diproses.



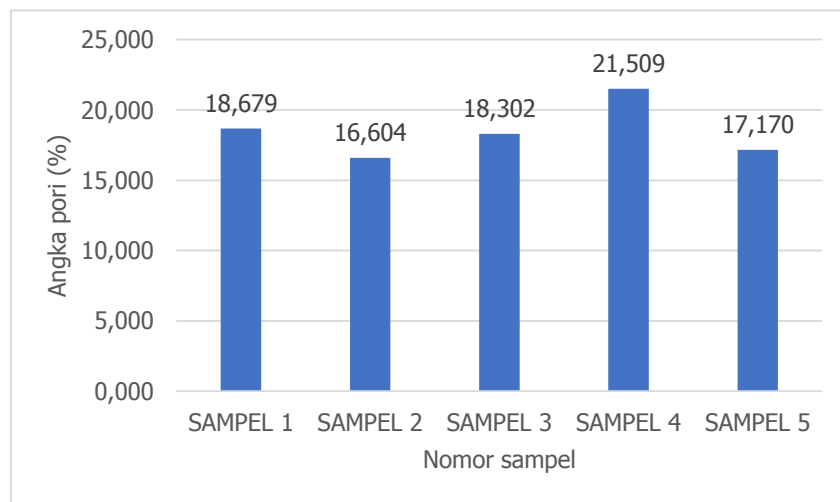
Gambar 2. Pengamatan *Bleeding*

Uji berat volume pada beton segar dilakukan untuk mengukur berat isi beton per unit volume dan kepadatan beton yang dihasilkan, serta untuk mengetahui perbandingan

antara berat dan volume beton segar. Pada pengujian berat volume silinder besar pada beton segar diperoleh berat volume rata-rata adalah $1891,157 \text{ kg/m}^3$, dan pada standar berat volume untuk beton berpori yaitu antara 1600 kg/m^3 sampai 2000 kg/m^3 (Tennis dkk., 2004), sehingga dapat dikatakan bahwa berat volume beton segar memenuhi referensi yang ada.

3.2. Karakteristik Beton Keras

Pengujian volume pori, permeabilitas dan kuat tekan dilakukan saat beton dalam kondisi keras, dalam penelitian ini diambil saat masa perawatan beton 28 hari. Observasi volume pori dilakukan untuk memeriksa volume pori rencana yang ditetapkan saat tahapan perencanaan campuran beton porous. Volume pori yang dihitung melalui perbandingan antara selisih volume total silinder dan volume pori awal, dengan volume total beton (ACI Committee 522, 2010). Dari hasil pengujian dari sampel, angka pori dapat dideskripsikan sebagai berikut:



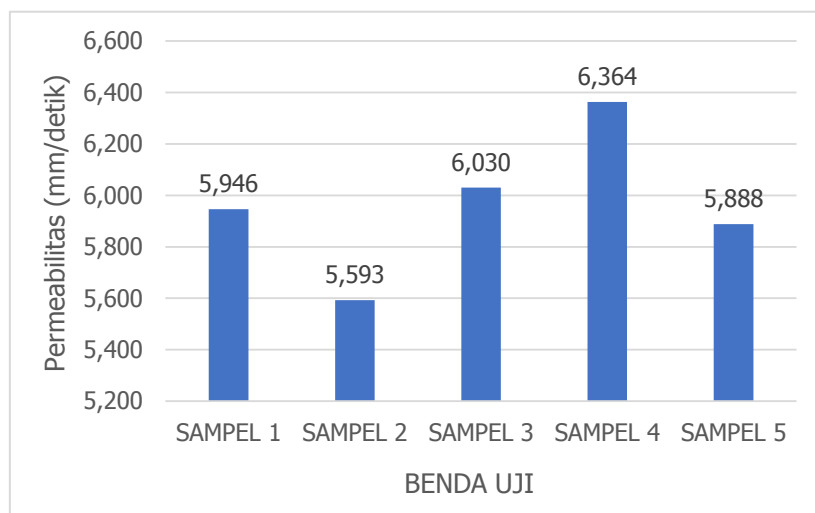
Gambar 3. Bar Chart Angka Pori

Dari gambar diatas, didapatkan bahwa hasil uji volume pori pada beton berpori setelah berumur 28 hari menunjukkan nilai persentase ialah, sampel 1 sebesar 18,679%, sampel 2 sebesar 16,604%, sampel 3 sebesar 18,302%, sampel 4 sebesar 21,509%, dan sampel 5 sebesar 17,170%. Volume pori yang diperoleh pada beton porous dengan menggunakan agregat Sungai Maulu menunjukkan bahwa rongga yang terbentuk masih berada dalam kisaran yang sesuai dengan karakteristik beton porous. Besarnya nilai volume pori dipengaruhi oleh susunan butiran agregat kasar yang membentuk rongga-rongga saling terhubung, ditambah tanpa penggunaan agregat halus yang menyebabkan ruang kosong di antara agregat tidak terisi secara sempurna. Selain itu, pasta semen yang berfungsi sebagai pengikat antarbutiran agregat tanpa menutup seluruh rongga dan mengisi sebagian celah antaragregat, sehingga beton tetap memiliki kemampuan untuk meloloskan air.

Ukuran agregat Sungai Maulu juga memberikan pengaruh yang baik terhadap besarnya volume pori beton porous. Dengan penggunaan agregat dengan ukuran 2,38 mm sampai 9,5 mm cenderung menghasilkan rongga antarbutir yang cukup baik

sehingga menghasilkan nilai volume pori rata-rata 18,543% telah memenuhi persentase volume pori rencana yaitu antara 18%-25,359%, dan kisaran volume pori yaitu 15%-35%. Selain ukuran agregat, bentuk permukaan dan gradasi agregat turut memengaruhi pola penyusunan butiran sehingga menentukan besarnya rongga yang terbentuk di dalam beton porous (ACI Committee 522, 2010). Sehingga dapat dikatakan bahwa beton porous yang menggunakan agregat yang berasal dari Sungai Maulu, Kabupaten Tana Toraja ini memenuhi interval atau standar yang ditetapkan untuk karakteristik tersebut.

Permeabilitas diuji untuk mengetahui kemudahan air melewati beton yang berpori. Dari hasil pengujian semakin besar presentasi pori yang ada pada benda uji maka semakin besar pula hasil permeabilitas air. Berikut dibawah ini adalah grafik permeabilitas yang diperoleh melalui pengujian:



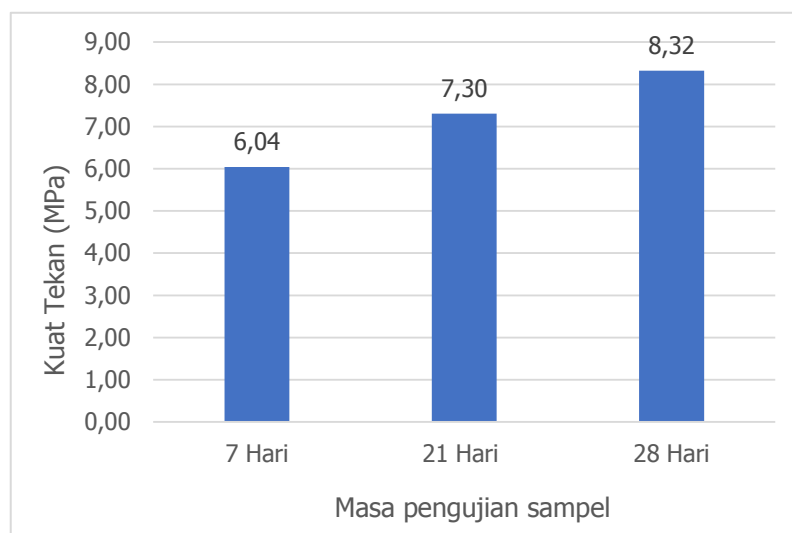
Gambar 4. Bar Chart Permeabilitas

Gambar diatas menunjukkan permeabilitas beton porous setelah umur 28 hari menunjukkan bahwa, sampel 1 memiliki nilai permeabilitas sebesar 5,946, sampel 2 sebesar 5,593, sampel 3 sebesar 6,030, sampel 4 sebesar 6,364, sampel 5 sebesar 5,888 dan nilai permeabilitas beton berpori rata-rata adalah 5,964 mm/detik, dan nilai permeabilitas rencana yaitu 5,927 mm/detik. Dari hasil tersebut menunjukkan keduanya terdapat selisih nilai 0,037 mm/detik, atau 0,627%, nilai ini mencerminkan seberapa besar kemampuan beton dalam mengalirkan air atau cairan lainnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton dapat merilis air lebih cepat dari yang direncanakan, yang berarti semakin cepat beton merilis air, maka semakin baik fungsi drainasenya (ACI Committee 522, 2010).

Karakteristik beton keras berikut adalah kuat tekan yang merupakan kapasitas dari luasan benda dalam menerima beban aksial tekan. Sampel yang telah berada pada masa perawatan 7, 21 dan 28 hari diuji untuk mencatat kapasitas beban maksimum yang terbaca pada alat uji *compression*.



Gambar 5. Deskripsi Uji Kuat Tekan



Gambar 6. Bar Chart Kuat Tekan

Berdasarkan gambar yang ditunjukkan di atas, terdapat informasi mengenai nilai kuat tekan rata-rata beton pada umur 7, 21, dan 28 hari menunjukkan hasil yang berbeda, pada umur 7 hari, kuat tekan rata-rata tercatat sebesar 6,04 MPa, sementara itu, pada umur 21 hari, nilai kuat tekan rata-rata meningkat menjadi 7,30 MPa, dan pada umur 28 hari, nilai kuat tekan rata-rata mencapai 8,32 MPa. Dapat diketahui bahwa persentasi kenaikan kuat tekan beton berpori berdasarkan pengujian yaitu, umur beton 7 hari ke 21 hari ada peningkatan 21%, dan umur 7 hari ke 28 hari terjadi peningkatan 38%, sehingga dapat diketahui bahwa di setiap masa umur uji yang tercatat ada peningkatan serta memenuhi standar mutu beton porous (ACI Committee 522, 2010).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton porous dengan menggunakan agregat Sungai Maulu menghasilkan kuat tekan sebesar 8,32 MPa. Nilai tersebut tergolong lebih rendah dibandingkan beton normal, namun masih sesuai dengan karakteristik beton porous yang memang dirancang untuk memiliki rongga terbuka sebagai media infiltrasi air. Kuat tekan yang relatif rendah disebabkan oleh struktur beton yang tidak

padat karena sebagian volume beton terdiri atas pori-pori yang saling terhubung. Selain itu, penggunaan agregat kasar sebagai komponen utama diiringi tanpa penggunaan agregat halus yang menyebabkan ikatan antar butiran agregat hanya bergantung pada pasta semen. Kondisi ini mengurangi luas bidang kontak yang mampu menahan beban tekan sehingga kapasitas beton dalam menerima gaya tekan menjadi terbatas (Deo dkk., 2011). Faktor lain yang turut memengaruhi adalah karakteristik agregat Sungai Maulu, kualitas ikatan pasta semen terhadap agregat, faktor air-semen, serta tingkat pemadatan selama proses pembuatan benda uji.

Besarnya porositas memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan kuat tekan beton porous. Semakin tinggi porositas atau volume rongga yang terbentuk, semakin kecil luas penampang efektif yang berfungsi menahan beban sehingga tegangan yang diterima oleh struktur beton menjadi lebih besar pada setiap titik kontak antar agregat. Hubungan tersebut telah dibuktikan melalui penelitian eksperimental maupun pemodelan matematis yang menunjukkan bahwa kuat tekan menurun seiring bertambahnya porositas beton porous (Zhong dkk., 2016). Akibatnya, retak akan lebih mudah berkembang ketika beton menerima beban tekan hingga akhirnya mengalami keruntuhan. Sebaliknya, apabila porositas lebih rendah, susunan agregat menjadi lebih rapat dan jumlah bidang kontak antar butiran meningkat sehingga distribusi beban berlangsung lebih merata dan kuat tekan beton menjadi lebih tinggi (Deo dkk., 2011). Oleh karena itu, peningkatan kemampuan infiltrasi air melalui penambahan pori umumnya akan diikuti oleh penurunan nilai kuat tekan.

Hasil kuat tekan sebesar 8,32 MPa masih berada dalam kisaran nilai yang banyak ditunjukkan pada penelitian beton porous. Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kuat tekan beton porous umumnya berada pada rentang sekitar 5–20 MPa (Xie et al., 2019), bergantung pada ukuran agregat, gradasi, faktor air-semen, kadar pasta semen, metode pemadatan, dan tingkat porositas yang dihasilkan (Elango et al., 2021). Dibandingkan dengan penelitian yang menggunakan agregat bergradasi lebih rapat atau kadar pasta semen yang lebih tinggi, nilai kuat tekan pada penelitian ini cenderung lebih rendah karena struktur beton memiliki rongga yang lebih besar untuk mendukung kemampuan meloloskan air. Meskipun demikian, nilai kuat tekan sebesar 8,32 MPa masih memenuhi karakteristik beton porous yang lebih mengutamakan fungsi drainase dibandingkan kapasitas menahan beban tinggi, sehingga berpotensi diterapkan pada konstruksi ringan seperti trotoar, jalur pejalan kaki, area parkir kendaraan ringan dan taman (Zhong dkk., 2016).

4. KESIMPULAN

Secara keseluruhan, evaluasi terhadap hubungan karakteristik agregat Sungai Maulu dengan volume pori, permeabilitas, dan kuat tekan memberikan gambaran mengenai tingkat kelayakan agregat lokal sebagai material penyusun beton porous. Agregat tersebut mampu menghasilkan keseimbangan antara porositas yang memadai, permeabilitas yang baik, dan kuat tekan yang memenuhi standar, sehingga agregat Sungai Maulu dapat direkomendasikan sebagai alternatif material lokal yang layak

digunakan dalam pembangunan konstruksi ramah lingkungan. Pemanfaatan material lokal ini tidak hanya mendukung efisiensi ekonomi melalui pengurangan biaya pengadaan material, tetapi juga berkontribusi terhadap penerapan prinsip pembangunan berkelanjutan dengan memanfaatkan sumber daya daerah secara optimal tanpa mengurangi kinerja beton porous.

REFERENSI

- ACI Committee 522. (2010). *Report on Pervious Concrete (ACI 522R-10)*. Michigan: American Concrete Institute.
- Deo, O., & Neithalath, N. (2011). Compressive response of pervious concretes proportioned for desired porosities. *Construction and Building Materials*, 25(11), 4181 - 4189.
- Desmaliana, E., Herbudiman, B., & Lesmana, R. (2018). KAJIAN EKSPERIMENTAL SIFAT MEKANIK BETON POROUS DENGAN VARIASI FAKTOR AIR SEMEN. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 19 - 29.
- Elango, K. S., Gopi, R., Saravanakumar, R., Rajeshkumar, V., Vivek, D., & Raman, S. V. (2021). Properties of pervious concrete – A state of the art review. *Materials Today: Proceedings*, (pp. 2422 – 2425).
- Ghilman, R. M., & Walujodjati, E. (2023). Pengujian Kuat Lentur dan Permeabilitas Terhadap Beton Porous dengan Agregat Kasar Cilopang. *Jurnal Konstruksi*, 21(2), 224 - 229.
- Kurniawan, A., Ardi Pranata, D., Mada, G., Sekolah Vokasi, D., & Gadjah Mada, U. (2020). Performa Mekanik Beton Berpori Untuk Aplikasi Perkerasan. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 18(1), 1 - 6.
- Pilo, S. B. (2024). *Pengaruh Penggunaan Agregat Sungai Maulu, Kabupaten Tana Toraja Terhadap Sifat Mekanis Beton*. Makassar : Universitas Kristen Indonesia Paulus.
- Rajiman. (2020). *Agregat Beton: Substitusi Pasir Besi dalam Agregat Halus dengan Agregat Kasar Batu Basalt Scoria* (S. Apriyanto, Ed.). Yogyakarta: CV. Sulus Pustaka.
- Samsul, S., Mustakim, M., & Kasmaida, K. (2023). Pengaruh Ukuran Butir Agregat Kasar Terhadap Kapasitas Kuat Tekan Dan Nilai Slump Beton Porous. *Jurnal Karajata Engineering*, 3(2), 124 - 127.
- Seifeddine, K., Amziane, S., & Toussaint, E. (2022). State of the art on the mechanical properties of pervious concrete. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 26(15), 7727 - 7755.

- Simanjuntak, I. V., & Tampubolon, S. P. (2022). Pengaruh Variasi Agregat Kasar Penyusun Beton Porous Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas Beton. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Dan Lingkungan - CENTECH*, 3(1), 1 - 10.
- Tennis, P. D., Leminy, M. L., & Akers, D. J. (2004). *Pervious Concrete Pavements*. Maryland: National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA).
- Xie, N., Akin, M., & Shi, X. (2019). Permeable concrete pavements: A review of environmental benefits and durability. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1605 - 1621.
- Yu, F., Sun, D., Wang, J., & Hu, M. (2019). Influence of aggregate size on compressive strength of pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 209, 463 - 475.
- Zhong, R., & Wille, K. (2016). Compression response of normal and high strength pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 109, 177 - 187.
- Zhong, R., & Wille, K. (2016). Linking pore system characteristics to the compressive behavior of pervious concrete. *Cement and Concrete Composites*, 70, 130 - 138.