

Pengaruh Substitusi Limbah Marmer Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air pada Beton Porous

Nadya Adillah Nadir, Mustakim², Kasmaida³

^{1,2,3} Universitas Muhammadiyah Parepare, Indonesia

E-mail: nadyaadillahnadir17@gmail.com¹, mtq2mk@gmail.com², kasmaida80@gmail.com³

Article History:

Received: 17 Agustus 2025

Revised: 20 September 2025

Accepted: 23 September 2025

Keywords: Porous Concrete, Marble Waste, Compressive Strength, Water Absorption

Abstract: Marble waste from the stone-cutting industry is often underutilized and has the potential to pollute the environment. One alternative use is as a substitute in porous concrete, which generally has low compressive strength and high water absorption. The addition of marble waste is expected to fill excess voids, thereby increasing compressive strength and reducing water absorption. This study aims to analyze the effect of marble waste substitution on compressive strength and water absorption in porous concrete using an experimental research method conducted in the Structures and Materials Laboratory of Muhammadiyah University of Parepare. The results showed that 5% marble waste substitution in porous concrete increased compressive strength at 14 and 28 days, from 16.085 MPa to 16.743 MPa and from 21.390 MPa to 21.728 MPa, respectively. Water absorption tended to decrease, from 0.835% to 0.437% at 14 days, although it increased slightly at 28 days, from 0.172% to 0.281%. This indicates that marble waste can be used as an environmentally friendly additive without compromising the quality of the concrete.

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 [5]. Tiga fungsi utama beton porous adalah sebagai perkerasan beton, daerah resapan air, dan estetika. 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 mengenai pemanfaatan limbah marmer pada campuran beton menunjukkan hasil yang cukup konsisten, yaitu mampu meningkatkan kuat tekan sekaligus menurunkan porositas dan daya serap air. Studi pada paving block dengan substitusi limbah marmer 3–12% menghasilkan kuat tekan hingga 15,43 MPa serta penyerapan air yang lebih rendah [9], sementara penelitian lain menemukan bahwa limbah marmer sebagai filler dapat meningkatkan kepadatan, menurunkan absorpsi, serta memperbaiki modulus elastisitas beton [10]. Penggunaan limbah marmer sebagai pengganti agregat kasar juga terbukti berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton [11], bahkan dengan tambahan silica fume, kuat tekan dapat mencapai 33,529 MPa [12]. Selain itu, pada beton geopolimer, substitusi limbah marmer sebesar 10% pada fly ash menghasilkan kuat tekan optimum 27,62 MPa dengan porositas lebih rendah [13]. Secara keseluruhan, pemanfaatan limbah marmer berpotensi meningkatkan kualitas mekanik dan ketahanan beton, meskipun kajian khusus pada beton porous masih terbatas sehingga penelitian lebih lanjut diperlukan.

LANDASAN TEORI

Beton Porous

Beton porous merupakan jenis beton yang memiliki rongga saling terhubung akibat penggunaan agregat kasar dengan sedikit atau tanpa agregat halus. Karakteristik utama beton ini adalah memiliki permeabilitas tinggi sehingga mampu mengalirkan air melalui pori-porinya. Beton porous banyak digunakan pada area resapan air seperti trotoar, jalan lingkungan, dan lahan parkir [7].

Menurut ACI 522R-10, beton porous memiliki porositas antara 15–30% dengan kuat tekan relatif lebih rendah dibandingkan beton normal. Faktor-faktor yang memengaruhi sifat

beton porous meliputi komposisi campuran, gradasi agregat, rasio air-semen (w/c), serta penggunaan bahan tambah atau material substitusi [1].

Limbah Marmer

Limbah marmer merupakan hasil samping industri pemotongan dan pengolahan batu marmer yang umumnya berbentuk serbuk halus. Limbah ini berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan apabila tidak dimanfaatkan dengan baik. Secara kimia, limbah marmer mengandung senyawa utama kalsium karbonat (CaCO_3) yang dapat berperan sebagai filler dalam campuran beton. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah marmer dapat meningkatkan densitas dan mengisi pori-pori beton sehingga berpengaruh terhadap kuat tekan dan daya serap air. Selain itu, pemanfaatan limbah marmer juga dapat mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan dengan mengurangi eksploitasi sumber daya alam [11].

Tabel. 1 Kandungan Kimia Pecahan Marmer

Komposisi Kimia	Kandungan (%)
Silikon Dioksida (SiO_2)	0,13
Aluminium Dioksida (Al_2O_3)	0,31
Besi Oksida (Fe_2O_3)	0,04
Kalsium Oksida (CaO)	55,07
Magnesium Oksida (MgO)	0,36
Potash (K_2O)	0,01
Sulfur Trioksida (SO_3)	0,08



Gambar 2. Material Alternatif (Marmer)

Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan beban atau tekanan per satuan luas hingga batas maksimum sebelum terjadi keruntuhan [14]. Nilai kuat tekan beton biasanya dinyatakan dalam satuan MPa (*megapascal*) atau kg/cm^2 , yang diperoleh melalui uji tekan menggunakan benda uji berbentuk silinder atau kubus [15]. Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan benda uji di mesin tekan dan memberikan tekanan secara bertahap hingga benda uji retak atau hancur [16]. Kuat tekan adalah salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas dan kemampuan beton dalam mendukung beban struktural [17].

Perhitungan kuat tekan beton untuk benda uji silinder ditetapkan dengan persamaan sebagai

berikut :

$$F_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dengan,

F_c = kuat tekan beton (N/mm²)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang menerima beban

Daya Serap Air Beton

Durabilitas beton sangat dipengaruhi oleh tingkat porositasnya. Beton dengan porositas tinggi memiliki banyak rongga terbuka yang memudahkan air, udara, dan bahan kimia agresif seperti *klorida* dan sulfat masuk ke dalam struktur beton. Kondisi ini dapat mempercepat proses kerusakan beton, seperti karbonasi, korosi tulangan, pengelupasan (*spalling*), dan penurunan kekuatan struktural secara signifikan. Sebaliknya, beton dengan porositas rendah memiliki rongga yang lebih sedikit dan lebih kecil, sehingga mampu menghambat penetrasi air dan zat-zat berbahaya, yang pada akhirnya meningkatkan ketahanan beton terhadap lingkungan agresif dan memperpanjang umur layan beton [13].

Oleh karena itu, salah satu indikator utama untuk menilai durabilitas beton adalah melalui pengujian daya serap air (*water absorption test*). Nilai daya serap air berkaitan erat dengan jumlah dan ukuran pori-pori dalam beton [18]. Semakin kecil nilai daya serap air yang dihasilkan, maka menunjukkan bahwa beton memiliki porositas yang rendah, struktur yang lebih rapat, serta kemampuan menahan penetrasi air dan bahan kimia berbahaya menjadi lebih baik [10].

$$\text{Persentase penyerapan air} = \frac{W_b - W_k}{W_k} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan,

W_b = berat beton porous setelah direndam (kg),

W_k = berat beton porous sebelum direndam (kg).

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif, yaitu metode yang melibatkan penggunaan angka mulai dari pengumpulan data hingga penyajian hasilnya, yang biasanya disertai gambar, tabel, atau grafik. Data hasil penelitian kemudian dianalisis sesuai dengan prosedur pengujian laboratorium menggunakan metode eksperimental.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare, Jl. Jend. Ahmad Yani No. Km. 6, Kel. Bukit Harapan, Kec. Soreang kota parepare. Penelitian ini dilakukan selama 3 (Tiga) bulan yaitu dimulai pada tanggal 26 Mei 2025 Sampai dengan 2 Juli 2025.

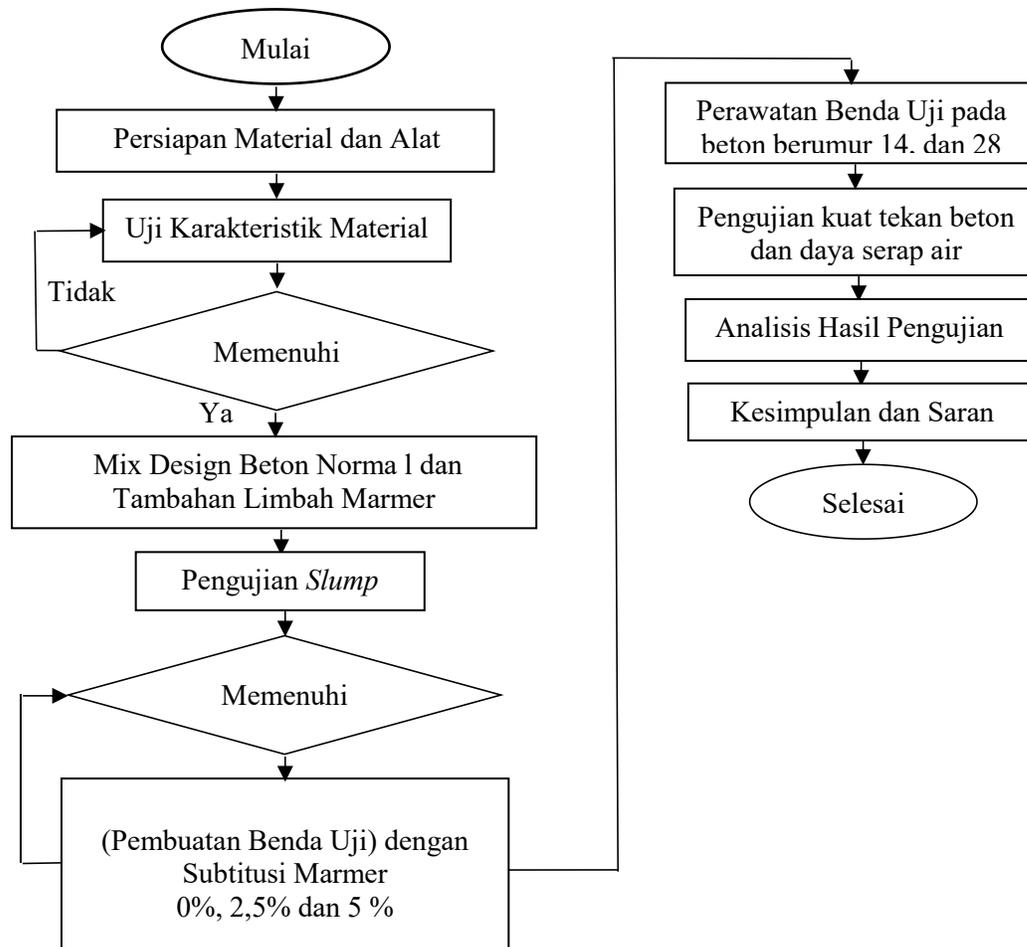
Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian analisis perbandingan kuat tekan beton menggunakan limbah marmer

sebagai substitusi agregat kasar, beberapa alat yang mungkin digunakan di laboratorium struktur teknik sipil antara lain saringan, oven, gelas ukur, timbangan, cetakan beton, Concrete mixer/mesin pencampur, kerucut abrams, alat compression machine. Bahan yang digunakan adalah agregat kasar, agregat halus, limbah marmer, semen portland dan air.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dipakai pada penelitian ini menggunakan analisa parametrik deskriptif. Data hasil uji kuat tekan yang diperoleh dari pembagian antara beban maksimum benda uji dengan luas penampang benda uji, selanjutnya data akan disajikan dalam tabel maupun grafik sehingga kita dapat mengetahui peringkat yang dihasilkan pada umur rencana. Dari analisis ini kita dapat mengetahui substitusi limbah marmer terhadap kuat tekan dan daya serap air pada beton porous.



Gambar 2. Contoh Diagram

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus dan agregat. Hasil pengujian agregat ditunjukkan pada rekapitulasi dari percobaan-percobaan yang dilakukan di Laboratorium, yaitu sebagai berikut:

Hasil Pengujian Agregat**Tabel. 2 Rekapitulasi Pengujian Agregat Marmer**

No.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil
1	Kadar lumpur	Maks 5%	0,25%
2	Keausan	Maks 50%	10,3%
3	Kadar air	2% - 5%	1,19%
4	Berat volume		
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1,60
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1,69
5	Absorpsi	0,2% - 2%	3,94%
6	Berat jenis spesifik		
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,74
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,74
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,57
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	6,95

Tabel. 3 Rekapitulasi Pengujian Agregat Kasar

No.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0,60%
2	Keausan	Maks 50%	28,4%
3	Kadar air	0,5% - 2%	0,68%
4	Berat volume		
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1,60
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1,73
5	Absorpsi	Maks 2%	3,76%
6	Berat jenis spesifik		
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,80
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,52
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,62
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	7,11

Pada Tabel 2 dan Tabel 3, menunjukkan bahwa agregat marmer dan kerikil memenuhi semua spesifikasi yang disyaratkan untuk digunakan sebagai material campuran beton. Dengan karakteristik tersebut, agregat marmer dan kerikil dapat digunakan dengan optimal dalam pembuatan beton yang berkualitas.

Perencanaan Adukan Campuran Beton (*Mix Design*)

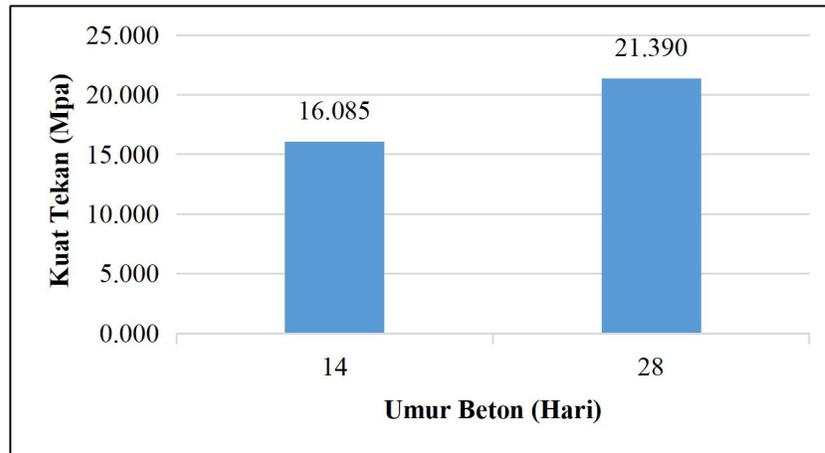
Pada penelitian ini digunakan variasi beton normal, marmer 2,5%, marmer 3% . Rancangan campuran beton dihitung berdasarkan SNI 7656:2012, yaitu sebagai berikut:

Tabel. 4 *Mix Design* Beton

No	Variasi Campuran (%)	Semen (Kg)	Kerikil (Kg)	Marmer (Kg)	Air (Kg)
1	Beton Normal	2,05	10,96	-	0,72
2	2,5%	2,05	8,23	0,21	0,72
3	5,0%	2,05	8,02	0,41	0,72

Kuat Tekan Beton

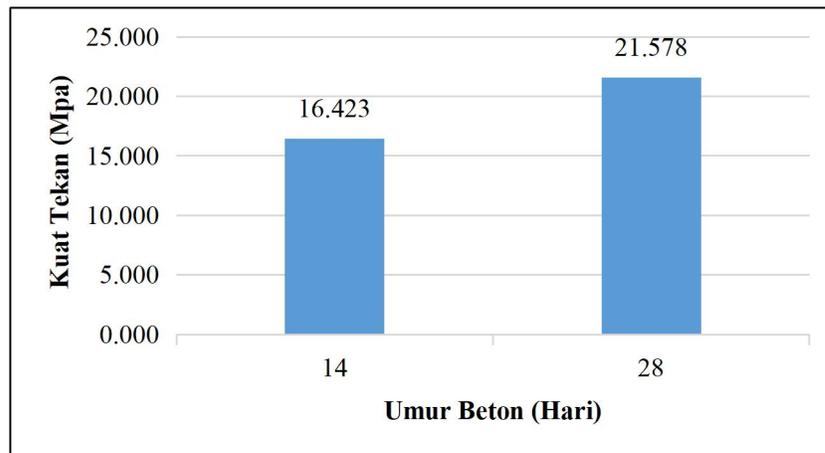
Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah kuat tekan pada silinder ukuran 15 x 30 cm, sehingga benda uji yang telah selesai diberikan perawatan selama 14 dan 28 hari kemudian dilakukan pengujian kuat tekan.



Gambar 3. Kuat Tekan Beton Normal

Pada Gambar 3, dapat diuraikan penjelasan bahwa pada uji kuat tekan beton normal didapatkan nilai kuat tekan rata-rata pada beton berumur 14 hari sebesar 16,085 Mpa, dan untuk umur 28 hari sebesar 21,390 MPa, mencapai kuat tekan yang telah direncanakan yaitu f_c 20 Mpa

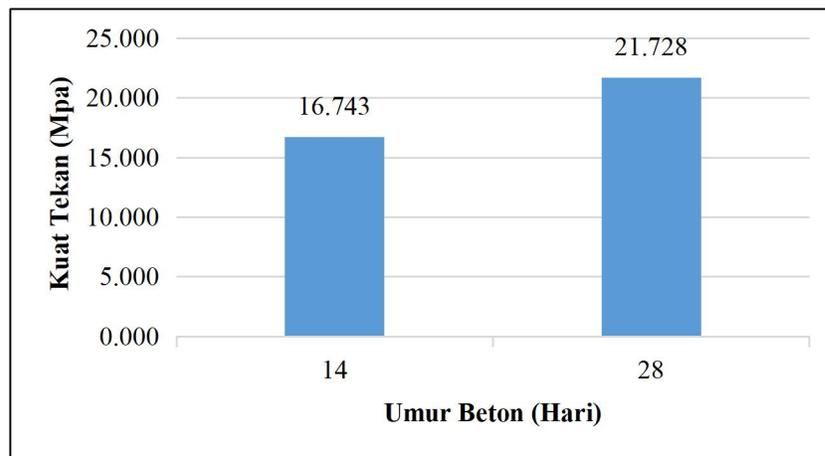
Pada beton normal berumur 14 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 33% dari beton berumur 28 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 5,305 Mpa.



Gambar 4. Kuat Tekan Beton Variasi Marmer 2,5%

Pada Gambar 4, dapat diuraikan penjelasan bahwa pada uji kuat tekan beton untuk beton variasi Marmer 2,5% didapatkan nilai kuat tekan rata-rata pada beton berumur 14 hari sebesar 16,423 Mpa, dan untuk umur 28 hari sebesar 21,578 Mpa, mencapai kuat tekan yang telah direncanakan yaitu f_c 20 Mpa.

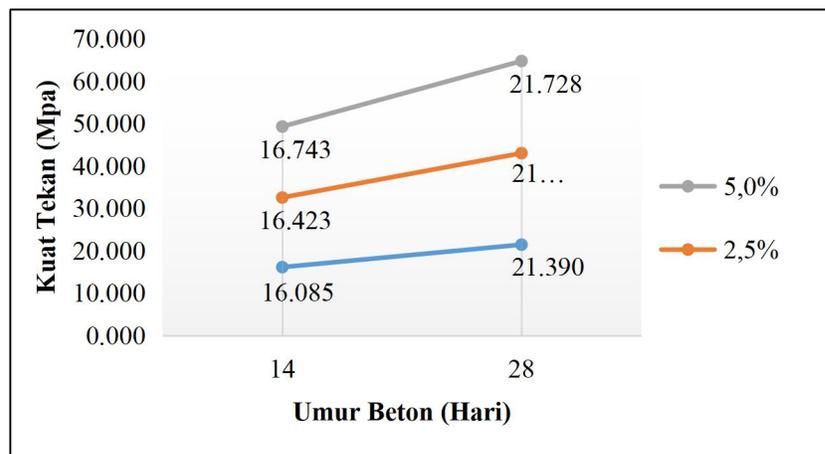
Pada beton berumur 14 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 31% dari beton berumur 28 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 5,155 Mpa.



Gambar 5. Kuat Tekan Beton Variasi Marmer 5,0%

Pada Gambar 5, dapat diuraikan penjelasan bahwa Pada uji kuat tekan beton untuk beton variasi Marmer 5,0% didapatkan nilai kuat tekan rata-rata pada beton berumur 14 hari sebesar 16,743 Mpa, dan untuk umur 28 hari sebesar 21,728 Mpa, mencapai kuat tekan yang telah direncanakan yaitu f_c 20 Mpa.

Pada beton berumur 14 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 30% dari beton berumur 28 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 4,985 Mpa.



Gambar 6. Gabungan Kuat Tekan Beton Variasi Marmer

Dari Gambar 6 grafik yang ditampilkan, diketahui bahwa kuat tekan pada umur 14 hari dengan tambahan limbah marmer 2,5% didapatkan hasil kuat tekan sebesar 16,423 Mpa, sedangkan beton dengan tambahan limbah marmer 5,0% didapatkan hasil kuat tekan sebesar 16,743 Mpa. Pada umur 28 hari dengan tambahan limbah marmer 2,5% didapatkan hasil kuat tekan sebesar 21,390 Mpa, sedangkan beton dengan tambahan limbah marmer 5,0% didapatkan hasil kuat tekan sebesar 21,728 Mpa.

Maka penggunaan limbah marmer dapat memberikan pengaruh kuat tekan beton normal. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar persen digunakan maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan.

Daya Serap Air

Daya serap air adalah kemampuan suatu material untuk menyerap dan menahan air di dalam pori-porinya dalam kondisi tertentu.

Tabel. 5 Daya Serap Air Beton Porous

No	Umur beton	Variasi	Berat jenuh (kg)	Berat kering (kg)	Daya serap air (%)
1	14 hari	Normal	10,260 kg	10,175 kg	0,835%
2		2,5 %	10,130 kg	10,109 kg	0,208%
3		5,0 %	10,103 kg	10,059 kg	0,437%
4	28 hari	Normal	11,086 kg	11,067 kg	0,172%
5		2,5 %	11,060 kg	11,017 kg	0,390%
6		5,0 %	11,076 kg	11,045 kg	0,281%

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa daya serap air beton porous normal, pada umur 14 hari memiliki daya serap air sebesar 0,835%, sedangkan pada umur 28 hari daya serap air sebesar 0,172%. Pada variasi 2,5% limbah marmer, daya serap pada umur 14 hari sebesar 0,208%, sedangkan pada umur 28 hari daya serap air sebesar 0,390% menunjukkan bahan tambah 2,5% limbah marmer tidak mengurangi porositas, bahkan sedikit meningkatkannya. Pada variasi 5,0% limbah marmer daya serap air pada umur 14 hari sebesar 0,437%, sedangkan pada umur 28 hari daya serap air sebesar 0,281%.

KESIMPULAN

Kuat tekan beton porous pada Substitusi limbah marmer 5% meningkat baik pada umur 14 hari maupun 28 hari. Kuat tekan naik dari 16,085 MPa menjadi 16,743 MPa (14 hari) dan dari 21,390 MPa menjadi 21,728 MPa (28 hari). Artinya, limbah marmer dapat digunakan sebagai bahan tambah yang ramah lingkungan tanpa menurunkan mutu beton. Daya serap air untuk Substitusi limbah marmer pada beton porous menurun, meskipun penurunannya tidak signifikan. Pada umur 14 hari, daya serap air untuk benda uji tanpa limbah marmer menurun dari 0,835 % menjadi 0,437% untuk benda uji substitusi 5,0% limbah marmer. Sedangkan benda uji tanpa limbah marmer pada 28 hari, daya serap air meningkat 0,172% menjadi 0,281% untuk benda uji substitusi 5,0% limbah marmer

DAFTAR REFERENSI

- [1] A. C. I. Committee, *ACI 522R-06 In Concrete Construction - World of Concrete*. American: Technical Documents, 2006.
- [2] 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 Lingkungan*. - *CENTECH*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 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," *Materials (Basel)*, 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. R. Adriansyah, "Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton Antara Campuran Agregat

- Kasar Batu Pecah (Split) dan Agregat Kasar Batu Alam Sungai Noling,” *J. Ilm. Ecosyst.*, vol. 24, no. 1, pp. 47–54, 2024.
- [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] M. Mustakim, K. Kasmada, and S. Samsul, “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] D. Cahyono and J. Budianto, *Pengaruh Pemanfaatan Limbah Marmer sebagai Substitusi Semen pada Campuran Paving Block dengan Presentase 3%, 8% dan 12%*. Yogyakarta: Universitas Teknologi Yogyakarta, 2019.
- [10] Y. Rusdianto and M. Munir, “Penggunaan Limbah Marmer Sebagai Filler Terhadap Absorpsi, Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas pada Beton,” *J. Media Tek. Sipil*, vol. 13, no. 1, p. 99, 2015.
- [11] S. Zuraidah and R. A. Jatmiko, “Pengaruh Penggunaan Limbah Pecahan Batu Marmer Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton,” *J. Rekayasa Perenc.*, vol. 3, no. 3, p. 12, 2007.
- [12] E. M. Julmile, F. Phengkarsa, and S. R. Tonapa, “Pengaruh Silica Fume dan Pecahan Batu Marmer Sebagai Bahan Substitusi Pada Campuran Beton,” *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 29–39, 2023.
- [13] I. A. Arifin, “Pengaruh Substitusi Limbah Marmer pada Fly Ash terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton Geopolimer pada Molaritas 10M,” *J. Rekayasa Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 186–194, 2018.
- [14] B. Tangkelayuk, S. R. Tonapa, and L. Febriani, “Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Penambahan Superplasticizer Pada Beton Normal,” *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 6, no. 4, pp. 587–597, 2024.
- [15] K. Kasmada, M. S. Syamsuddin, H. Hamsyah, and M. Jabir, “Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton K-200 Dan Substitusi Serbuk Tempurung Kelapa Terhadap Beton Normal,” *J. Karajata Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 107–110, 2023.
- [16] A. Sulfanita, I. Fadly, M. Syahril, and A. S. N. Ruslan, “Studi Eksperimen Pengujian Kuat Tekan Beton Pasca Bakar terhadap Beton Normal,” *J. Ilm. Univ. Batanghari Jambi*, vol. 23, no. 2, pp. 1199–1205, 2023.
- [17] SNI 1974-2011, *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2011.
- [18] M. J. Muhammadiyah, Rezkhy Akbar, and H. Hamka, “Uji Kuat Tekan Bata Beton Dengan Bahan Ikat Kapur dan Abu Terbang,” *J. Karajata Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 66–70, 2024.