

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ABU CANGKANG KERANG HIJAU TERHADAP KARAKTERISTIK BETON PORUS

Ermitha Ambun Rombe Dendo^{1*}, Parea Rusan Rangan², Age' Joice Lapik³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jl. Nusantara No.12
Makale, Kabupaten Tana Toraja, Indonesia

¹ambun.rombe@gmail.com; ²pareausanrangan68@gmail.com; ³age.joice@gmail.com

*corresponding author : ambun.rombe@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Kata Kunci:

Abu
Beton Porus
Cangkang Kerang Hijau Kuat Tekan
Permeabilitas
Porositas

Beton porous juga dikenal sebagai beton permeable atau beton berpori dapat menjadi salah satu solusi untuk menghindari genangan air akibat betonisasi. Beton porous memiliki banyak rongga sehingga mudah dilewati air. Jika air yang jatuh langsung diserap tanah, maka tidak ada genangan air, sehingga mengurangi resiko banjir. Kondisi ini mengganti fungsi beton konvensional yang tidak dapat menyerap air ke dalam tanah. Namun beton berpori mempunyai daya dukung yang rendah. Peningkatan daya dukung dapat dilakukan dengan menambahkan zat pada campuran beton segar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan abu cangkang kerang hijau terhadap kuat tekan, porositas dan permeabilitas beton berpori. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil UKI Toraja.

Berdasarkan analisis data dari hasil pengujian kuat tekan, pada beton umur 28 hari dengan penambahan abu cangkang kerang hijau 2%, 4% dan 6% menghasilkan nilai kuat tekan berturut-turut 12,88 MPa, 14,58 MPa dan 16,14 MPa sedangkan kuat tekan beton tanpa bahan tambah diperoleh 10,76 MPa. Pada pengujian porositas didapatkan rata-rata pada umur 28 hari untuk penambahan abu cangkang kerang hijau 2%, 4% dan 6% diperoleh nilai porositas berturut-turut 2,435%, 2,375% dan 2,195% sedangkan porositas untuk beton tanpa bahan tambah diperoleh 3,185%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi persen penggunaan bahan tambah abu cangkang kerang hijau pada komposisi tertentu maka nilai porositas semakin berkurang. Pada pengujian permeabilitas beton umur 28 hari untuk penambahan abu cangkang kerang hijau 2%, 4% dan 6% diperoleh nilai permeabilitas berturut-turut 5,62 mm/detik, 5,23 mm/detik dan 5,13 mm/detik, sedangkan permeabilitas untuk beton tanpa bahan tambah 6,06 mm/detik. Dengan demikian penambahan abu cangkang kerang hijau pada komposisi tertentu dapat menambah kuat tekan beton namun menurunkan nilai porositas dan permeabilitas beton porous.

Keywords:

Ash
Porous Concrete Green
Mussel Shells Compressive
Strength Permeability
Porosity

ABSTRACT

Porous concrete, also known as permeable concrete or porous concrete, can be a solution to avoid water pooling due to concretization. Porous concrete has many cavities so water can easily pass through. If the water that falls is directly absorbed by the ground, there will be no puddles, thereby reducing the risk of flooding. This condition replaces the function of conventional concrete which cannot absorb water into the soil. However, porous concrete has a low bearing capacity. Increasing the bearing capacity can be done by adding substances to the fresh concrete mixture. This research aims to determine the effect of adding green mussel shell ash on the compressive strength, porosity, and permeability of porous concrete. The research method used in this research is an experimental method carried out at the UKI Toraja Civil Engineering Laboratory.

Based on data analysis from the results of compressive strength testing, 28-day-old concrete with the addition of 2%, 4%, and 6% green mussel shell ash produces compressive strength values of 12.88 MPa, 14.58 MPa and 16.14 MPa respectively. The compressive strength of concrete without added materials was obtained at 10.76 MPa. In the porosity test, it was found that on average at 28 days, for the addition of 2%, 4%, and 6% green mussel shell ash, the porosity values were 2.435%, 2.375%, and 2.195%, respectively, while the porosity for concrete without added materials was 3.185%. This shows that the higher the percentage of green mussel shell ash added to a certain composition, the more the porosity value decreases. In the permeability test of concrete aged 28 days for the addition of 2%, 4%, and 6% green mussel shell ash, the permeability values were obtained respectively 5.62 mm/sec, 5.23 mm/sec, and

5.13 mm/sec, while the permeability for concrete without additives 6.06 mm/sec. Thus, the addition of green mussel shell ash in certain compositions can increase the compressive strength of concrete but decrease the porosity and permeability values of porous concrete.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



I. Pendahuluan

Pembangunan konstruksi jalan terus berlangsung hingga saat ini. Konstruksi jalan umumnya menggunakan konstruksi kaku, dimana konstruksi ini bersifat impermeable sehingga serapan air ke dalam tanah juga berkurang. Beton porous juga dikenal sebagai beton permeable atau beton berpori yang dapat menjadi salah satu solusi terhadap masalah lingkungan yaitu menghindari genangan air akibat penggunaan beton [1]. Beton porous memiliki banyak rongga sehingga mudah dilewati air. Jika air yang jatuh langsung diserap tanah, maka tidak ada genangan air, sehingga mengurangi resiko banjir. Kondisi ini mengganti fungsi beton konvensional yang tidak dapat menyerap air ke dalam tanah. Tidak hanya mengurangi ancaman banjir, beton porous juga dapat menyaring air sehingga mengurangi kontaminasi [2].

Beton porous memiliki banyak nama yang berbeda diantaranya adalah beton tanpa agregat halus (zero-fines concrete), beton permeabel dan beton berpori (porous concrete). Biasanya beton porous menggunakan sedikit atau tanpa agregat halus dan memiliki cukup pasta semen untuk melapisi permukaan agregat kasar dan untuk menjaga interkoneksi pori. Beton porous memiliki rongga sekitar 15% sampai 35% dengan kuat tekan 2.8 MPa sampai 28 MPa dan rasio kadar air semen 0.27 sampai 0.34 [2].

Beton porous adalah beton dengan kuat tekan rendah. Banyaknya pori dalam campuran beton menyebabkan beton porous memiliki kekuatan yang rendah sehingga beton porous hanya dapat digunakan pada tempat-tempat tertentu seperti pada area parkir dan pedestrian untuk pejalan kaki [2], [3]. Peningkatan mutu beton dapat dilakukan dengan memberikan bahan tambah atau bahan substitusi semen. Berbagai penelitian mengenai penggunaan bahan tambah atau bahan substitusi semen pada beton telah dilakukan. Bahan tambah atau bahan substitusi yang digunakan memiliki pozzolan yaitu suatu material tambahan yang berasal dari alam dan batuan, yang sebagian besar memiliki kandungan senyawa silika (Si) dan alumina (Al), dimana pozzolan mampu bereaksi terhadap senyawa Ca(OH)_2 hasil dari reaksi hidrasi antara semen dan air [4], [5]. Pemakaian bahan pozzolan dalam beton atau mortar akan menghasilkan beton dan mortar yang lebih kedap air. Silika dalam jumlah tertentu dapat berperan sebagai pengisi antara partikel-partikel pembentuk material, sehingga

dengan adanya silika maka porositas beton atau mortar akan menjadi lebih kecil dan selanjutnya kedapan beton dan mortar akan menjadi bertambah. Hal ini dapat menyebabkan kekuatan material meningkat.

Abu cangkang kerang hijau memiliki kandungan silika, hasil pengujian silika pada cangkang kerang hijau mempunyai kandungan silika yaitu 10% sampai 15% dan hampir sama kandungan silika yang terdapat pada mikrosilika buatan pabrik, sehingga penggunaan abu cangkang kerang hijau dapat dimanfaatkan sebagai pozzolan alami dalam pembuatan beton dan meningkatkan kuat tekan beton konvensional [6], [7]. Perkembangan kerang hijau di area perikanan sangatlah cepat. Pemanfaatan kerang hijau sebagai bahan pangan oleh masyarakat terus meningkat. Hal ini juga berakibat pada meningkatnya limbah cangkang kerang hijau. Cangkang kerang hijau banyak terdapat disekitar pemukiman masyarakat di daerah pesisir pantai dan berserakan. Kondisi ini membuat halaman rumah masyarakat menjadi kumuh dan kotor.

Berdasarkan hal yang sudah dikemukakan penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan cangkang kerang hijau sebagai bahan tambah beton porous dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik beton porous, yaitu kuat tekan, porositas dan permeabilitas..

II. Metode

Penelitian ini bersifat eksperimental di laboratorium. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja. Benda uji menggunakan model silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Material penyusun beton yang digunakan adalah

1. Agregat kasar dan halus berasal dari Sungai Sa'dan Kab. Toraja Utara Propinsi Sulawesi Selatan
2. Bahan pengikat yaitu Semen Tonasa.
3. Abu cangkang kerang hijau diambil dari Desa Makitta, Kecamatan Malangke, Kabupaten Luwu Utara, Sulawesi Selatan

Rancangan campuran didasarkan pada standar ACI 522R-10. Pada penelitian ini dibuat beton berpori yang menggunakan gradasi agregat tipe 67 dengan material agregat kasar tertahan saringan nomor ¾, 1/2, 3/8 dan 4. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan dimensi 15 cm x 30 cm.

Pengujian sampel meliputi uji kuat tekan beton porous, uji porositas dan permeabilitas beton porous. Pengujian kuat tekan dilakukan pada sampel beton porous yang berumur 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Sedangkan pengujian porositas dan permeabilitas dilakukan pada sampel beton porous umur 28 hari. Jumlah sampel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Menentukan Jumlah Sampel Benda Uji

No.	Abu Cangkang Kerang Hijau	Umur Beton (Hari)	Jumlah Sampel
1.	0 %	3	3
		7	3
		14	3
		21	3
		28	3
2.	2 %	3	3
		7	3
		14	3
		21	3
		28	3
3.	4 %	3	3
		7	3
		14	3
		21	3
		28	3
4.	6 %	3	3
		7	3
		14	3
		21	3
		28	3
Total Seluruh Sampel			60 Sampel

III. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Fisik Agregat

Hasil pemeriksaan karakteristik fisik agregat kasar seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Sifat Karakteristik Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Spesifikasi SNI/ASTM	Syarat Pengujian	Hasil Pengujian	Keterangan
Kadar Lumpur	SNI 03-2847-2002	0,2 % - 2%	1,23 %	Memenuhi
Berat isi :				
Kondisi Padat	SNI 03-4804-1998	1,2 - 1,9	1,58	Memenuhi
Kondisi Lepas		1,2 - 1,9	1,43	Memenuhi
Kadar Air	SNI 03-1971-1990	0,5 % - 5 %	0,94 %	Memenuhi
		1,6 - 3,1	2,55	Memenuhi
<u>Berat Jenis (Bulk)</u>				
Bj. Jenuh Kering	SNI 03-1969-1990	1,6 - 3,2	2,61	Memenuhi
<u>Permukaan (SSD)</u>				
Bj. Semu (Apparent)		1,6 - 3,3	2,69	Memenuhi
Penyerapan		0,2 % - 5%	1,87%	Memenuhi

B. Kebutuhan Material

Kebutuhan material untuk pembuatan 1 silender = 0,0053 m³ beton porous adalah :

Semen = 1,87 kg

Agregat = 9,09 kg

Air = 0,56 kg

Jumlah abu cangkang kerang hijau yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Proporsi Bahan Tambah Abu Cangkang Kerang Hijau Untuk 1 Silinder

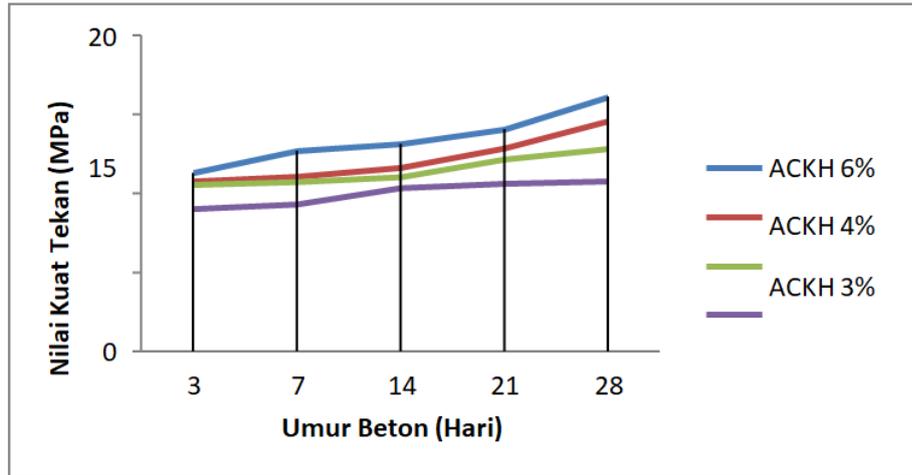
Kebutuhan Abu Cangkang Kerang Hijau (gram)		
2% Terhadap semen	4% Terhadap semen	6% Terhadap semen
37,23	74,46	111,69

C. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porus

Pengujian kuat tekan beton porous dilakukan saat beton berumur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton porous tanpa bahan tambah abu cangkang kerang hijau dan beton porous yang menggunakan abu cangkang kerang hijau menggunakan benda uji silinder 15 x 30 cm dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 1

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Jenis Beton	Umur Beton				
	3	7	14	21	28
	Kuat Tekan (MPa)				
Normal (Tanpa Abu)	9,06	9,34	10,33	10,62	10,76
Abu Cangkang KerangHijau 2%	10,56	10,76	11,04	12,18	12,88
Abu Cangkang KerangHijau 4%	10,76	11,04	11,61	12,88	14,58
Abu Cangkang KerangHijau 6%	11,33	12,74	13,16	14,07	16,14



Gambar 1. Hasil Pengujian Kuat Tekanan Beton Porus



Gambar 2. Pengujian Kuat Tekan Beton Porus

Tabel 4 dan Gambar 1 memperlihatkan memperlihatkan bahwa hasil yang didapatkan kuat tekan beton porus tanpa bahan tambah abu cangkang kerang hijau pada umur 28 hari dengan rata-rata 9,16 Mpa, sedangkan yang menggunakan penambahan abu cangkang kerang hijau 2% mengalami peningkatan didapatkan hasil kuat tekan dengan rata-rata 10,2 Mpa, penambahan abu cangkang kerang hijau 4% mengalami peningkatan didapatkan hasil kuat tekan beton dengan rata-rata 10,95 Mpa dan pada penambahan abu cangkang kerang hijau 6% didapatkan hasil kuat tekan 12,39 Mpa yang juga mengalami peningkatan. Perbandingan pengujian kuat tekan umur 28 hari pada beton dengan penggunaan bahan tambah abu cangkang kerang hijau 2%, 4%, dan 6% mengalami peningkatan beturut-turut 33,33%, 20,20% dan 9,67% dari kuat tekan beton porus tanpa bahan tambah.

D. Hasil Pengujian Porositas

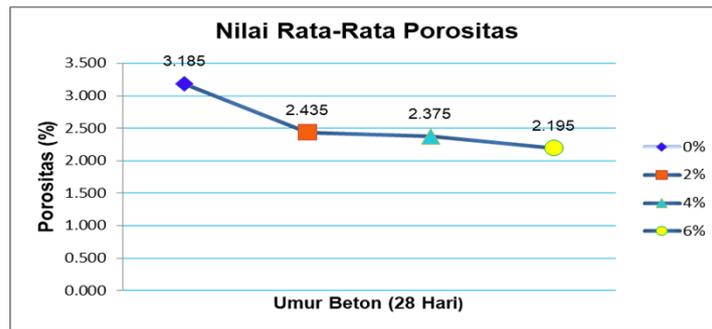
Pengujian porositas beton porus dilakukan saat beton berumur 28 hari. Hasil pengujian porositas beton porous tanpa abu cangkang kerang hijau dan beton porus yang menggunakan abu cangkang kerang hijau 2%, 4% dan 6% dengan benda uji silinder 15 x 30 cm dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 4.



Gambar 3. Pengujian Porositas Beton Porus

Tabel 5. Nilai Porositas Beton Porous Pada Umur 28 Hari

Kode	Umur Beton (Hari)	Penambahan Abu Cangkang	Nilai Porositas (%)	Nilai Rata-Rata Porositas (%)
BN1	28	0%	3,53	3,185
BN2			2,84	
BT1	28	2%	2,29	2,435
BT2			2,58	
BT1	28	4%	2,34	2,375
BT2			2,41	
BT1	28	6%	1,62	2,195
BT2			2,77	

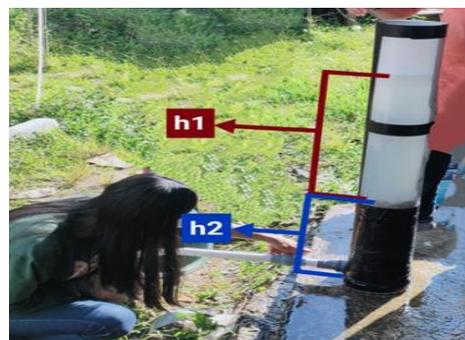


Gambar 4. Hasil Pengujian Porositas Beton Pada Berbagai Variasi Abu Cangkang Kerang Hijau

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 4 memperlihatkan bahwa porositas beton yang tidak menggunakan bahan tambah Abu Cangkang Kerang Hijau pada umur 28 hari dengan rata-rata 3,185% sedangkan yang menggunakan penambahan Abu Cangkang Kerang Hijau 2% didapatkan hasil porositas beton dengan rata-rata 2,435% dan penambahan Abu Cangkang Kerang Hijau 4% didapatkan hasil porositas beton dengan rata-rata 2,375% sedangkan penambahan Abu Cangkang Kerang Hijau 6% didapatkan hasil porositas beton dengan rata-rata 2,195%. Perbandingan pengujian porositas selalu mengalami penurunan, setiap variasi penggunaan bahan tambah dari 0%, 2%, 4% dan 6% secara berturut-turut yaitu 23,55%, 25,43%, 31,08% dari beton porus tanpa bahan tambah. Semakin tinggi persen penggunaan bahan tambah maka nilai porositas semakin berkurang, hal itu disebabkan oleh karena setiap penambahan Abu Cangkang Kerang Hijau bereaksi dengan beton porus sehingga semakin banyak bahan tambah yang digunakan semakin berkurang pori juga yang terdapat pada setiap beton porus dan mengakibatkan berkurangnya nilai porositas.

E. Hasil Perhitungan Permeabilitas

Pengujian permeabilitas beton porus dilakukan saat beton berumur 28 hari. Hasil pengujian permeabilitas beton porous tanpa abu cangkang kerang hijau dan beton porus yang menggunakan abu cangkang kerang hijau 2%, 4% dan 6% dan menggunakan benda uji silinder 15 x 30 cm dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 6.

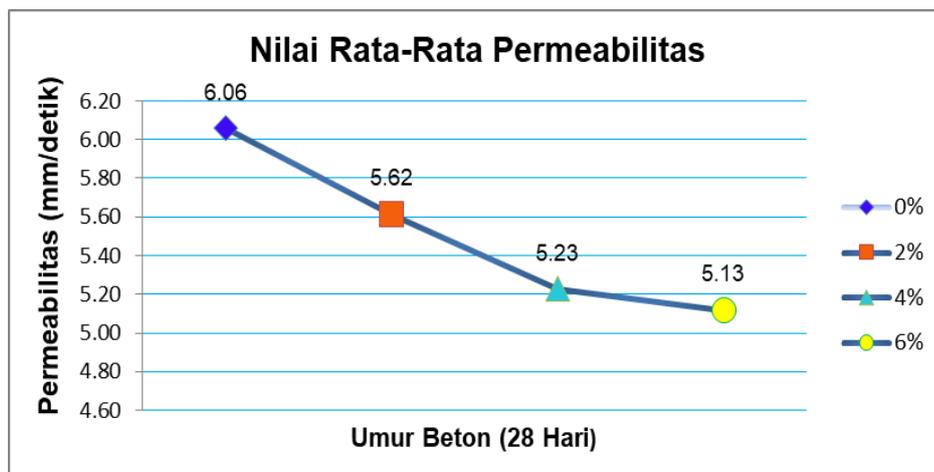


Gambar 5. Pengujian permeabilitas beton porous umur 28 hari

Hasil pengujian permeabilitas beton porous dapat dilihat pada Tabel 6 :

Tabel 6. Hasil Pengujian dan Nilai Rata-Rata Permeabilitas Beton Porous Umur 28 Hari

Kode	Umur Beton (Hari)	Penambahan Abu Cangkang Kerang	Nilai Porositas (%)	Nilai Rata-Rata Porositas (%)
BN1	28	0%	5,60	6,06
BN2			6,52	
BT1	28	2%	5,90	5,62
BT2			5,33	
BT1	28	4%	5,38	5,23
BT2			5,08	
BT1	28	6%	5,25	5,13
BT2			5,02	



Gambar 6. Nilai Permeabilitas Beton Porous Normal dan Beton Dengan Bahan Tambah

Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 6 memperlihatkan bahwa hasil yang didapatkan permeabilitas beton porous yang tidak menggunakan bahan tambah Abu Cangkang Kerang Hijau pada umur 28 dengan rata-rata 6,06 mm/detik sedangkan yang menggunakan penambahan Abu Cangkang Kerang Hijau 2% didapatkan hasil permeabilitas beton dengan rata-rata 5,62 mm/detik dan penambahan Abu Cangkang Kerang Hijau 4% didapatkan hasil permeabilitas beton dengan rata-rata 5,23 mm/detik sedangkan penambahan Abu Cangkang Kerang Hijau 6% didapatkan hasil permeabilitas beton dengan rata-rata 5,13 mm/detik. Perbandingan pengujian permeabilitas selalu mengalami penurunan, setiap variasi penggunaan bahan tambah dari 2%, 4% dan 6% secara berturut-turut yaitu 6,74%, 13,70%, dan 15,35% dari beton porous tanpa bahan tambah.

Berdasarkan hasil-hasil pengujian terhadap karakteristik beton porous dapat diketahui bahwa semakin tinggi penggunaan kadar bahan tambah maka nilai permeabilitas semakin berkurang, hal itu disebabkan oleh karena setiap penambahan Abu Cangkang Kerang Hijau bereaksi dengan beton porous sehingga semakin banyak bahan tambah yang digunakan semakin berkurang pori yang terdapat pada setiap beton porous dan mengakibatkan berkurangnya nilai permeabilitas.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat di simpulkan bahwa hasil penelitian dengan penambahan abu cangkang kerang hijau sebagai bahan tambah sebagai berikut :

1. Kuat tekan beton porous dari hasil penelitian memperlihatkan bahwa hasil yang didapatkan kuat beton porous normal atau tidak menggunakan bahan tambah abu cangkang kerang hijau 3 hari dengan nilai rata-rata 9,06 Mpa, 7 hari dengan nilai rata-rata 9,34 Mpa, 14 hari dengan nilai rata-rata 10,33 Mpa, 21 hari dengan nilai rata-rata 10,62 Mpa, 28 hari dengan nilai rata-rata 10,76 Mpa. Sedangkan yang menggunakan abu cangkang kerang hijau 2% mengalami peningkatan didapatkan hasil kuat tekan beton pada umur 3 hari dengan nilai rata-rata 10,56 Mpa, 7 hari dengan nilai rata-rata 10,76 Mpa, 14 hari dengan nilai rata-rata 11,04 Mpa, 21 hari dengan nilai rata-rata 12,18 Mpa, 28 hari dengan nilai rata-rata

- 12,88 Mpa. Penambahan abu cangkang kerang hijau 4% mengalami peningkatan didapatkan hasil kuat tekan beton pada umur 3 hari dengan nilai rata-rata 10,76 Mpa, 7 hari dengan nilai rata-rata 11,04 Mpa, 14 hari dengan nilai rata-rata 11,61 Mpa, 21 hari dengan nilai rata-rata 12,88 Mpa, 28 hari dengan nilai rata-rata 14,58 Mpa. Penambahan abu cangkang kerang hijau 6% mengalami peningkatan didapatkan hasil kuat tekan beton pada umur 3 hari dengan nilai rata-rata 11,33 Mpa, 7 hari dengan nilai rata-rata 12,74 Mpa, 14 hari dengan nilai rata-rata 13,16 Mpa, 21 hari dengan nilai rata-rata 14,07 Mpa, 28 hari dengan nilai rata-rata 16,14 Mpa.
2. Porositas beton porous dari hasil penelitian memperlihatkan bahwa hasil yang didapatkan porositas beton tidak menggunakan bahan tambah abu cangkang kerang hijau pada umur 28 hari dengan rata-rata 3,185%, sedangkan yang menggunakan penambahan abu cangkang kerang hijau 2% didapatkan hasil porositas beton dengan rata-rata 2,435%, sedangkan yang menggunakan penambahan abu cangkang kerang hijau 4% didapatkan hasil porositas beton dengan rata-rata 2,375%, dan penambahan abu cangkang kerang hijau 6% didapatkan hasil porositas beton dengan rata-rata 2,195%. Permeabilitas beton porous memperlihatkan bahwa hasil yang didapatkan pada permeabilitas beton porous normal 0% (tanpa bahan tambah) pada umur 28 hari dengan rata-rata 6,06 mm/detik, sedangkan yang menggunakan penambahan abu cangkang kerang hijau 2% didapatkan hasil permeabilitas beton dengan rata-rata 5,62 mm/detik, sedangkan penambahan abu cangkang kerang hijau 4% didapatkan hasil permeabilitas beton dengan rata-rata 5,23 mm/detik, dan penambahan abu cangkang kerang hijau 6% didapatkan hasil permeabilitas beton dengan rata-rata 5,13 mm/detik.

Daftar Pustaka

- [1] E. A. R. Dendo, P. R. Rangan, and M. Palembang, "Analisis Kinerja Beton Berpori," vol. 7, no. 2, pp. 66–72, 2022.
- [2] American Concrete Institute, ACI 522R: Report on Pervious Concrete, no. March. 2010.
- [3] P. J. Harber, "Applicability of No-Fines Concrete as a Road Pavement. Research Project," no. October, 2005.
- [4] J. W. Nika, A. Anisah, and R. Saleh, "Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Hijau Dengan Variasi Suhu Pembakaran Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Pembuatan Beton," *Menara J. Tek. Sipil*, vol. 14, no. 1, pp. 10–18, 2020, doi: 10.21009/jmenara.v14i1.18118.
- [5] T. dan I. G. P. R. Alfred Edvant Liemawan, "Pemanfaatan Limbah Kerang Hijau (*Perna Viridis L.*) sebagai Bahan Campuran Kadar Optimum Agregat Halus pada Beton Mix Design dengan Metode Substitusi," *Pemanfaat. Limbah Kerang Hijau (Perna Viridis L.) sebagai Bahan Campuran Kadar Optim. Agreg. Halus pada Bet. Mix Des. dengan Metod. Substitusi*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2015.
- [6] M. A. Rivai, U. Muamar, P. Studi, T. Sipil, and U. Muhammadiyah, "Bahan Tambah Campuran Semen Terhadap Kuat Tekan Beton K-400," pp. 146–150, 2015.
- [7] R. Triasruti, T., Nugroho, A., "Karakteristik beton busa menggunakan abu cangkang kerang hijau sebagai bahan pengganti semen portland," *Rekayasa Sipil Mercu Buana*, vol. 5, no. 1, pp. 35–41, 2016.