

## PENGARUH ABU CANGKANG KELOMANG SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Ratu Thifal<sup>1</sup>, Alfred Jonathan Susilo<sup>2</sup>, dan Arif Sandjaya<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Doktor Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*\*arifs@ft.untar.ac.id*

Masuk: 11-11-2025, revisi: 11-01-2026, diterima untuk diterbitkan: 01-02-2026

### ABSTRACT

Cement production grows by around 5-6.5% per year. Cement is made from a mixture of materials, one of which is limestone, with a portion of 75-90%. Most limestone is formed from shells, skeletons, and remains of dead marine organisms that go through geological processes over thousands to millions of years. Therefore, alternative materials that are more environmentally friendly and sustainable are important to reduce cement use. Hermit crab shell ash was studied in this study as a partial substitute for cement in concrete mixtures. The substitution variations used were 0%, 3%, 5%, and 7% of the cement weight. The mixture plan  $f_c' = 25$  MPa based on SNI 03-2834-2000. The test specimen was a 15x30 cm cylinder and was cured by immersion for 28 days based on SNI 2493:2011. Compression testing was based on SNI 1974:2023. The results showed a decrease in compressive strength, but not significantly. A 3% substitution yielded the best results compared to the others, with a reduction in compressive strength of around 2.3%. Hermit crab shells have the potential to be a sustainable alternative material to limestone without the need for geological processes that take thousands to millions of years.

Keywords: Cement; Hermit crab; shell ash; partial substitute; compressive strength

### ABSTRAK

Produksi semen tumbuh sekitar 5-6,5% per tahun. Semen terbuat dari campuran bahan, salah satunya adalah batu kapur dengan porsi 75-90%. Sebagian besar batu kapur terbentuk dari cangkang, kerangka, dan sisa-sisa organisme laut mati yang melalui proses geologis dengan waktu ribuan hingga jutaan tahun. Oleh sebab itu, material alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi penting untuk mengurangi penggunaan semen. Abu cangkang kelomang dikaji dalam penelitian ini sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton. Variasi substitusi yang digunakan yaitu sebesar 0%, 3%, 5%, dan 7% terhadap berat semen. Rencana campuran  $f_c' = 25$  MPa berdasarkan SNI 03-2834-2000. Benda uji berupa silinder 15x30 cm dan dirawat rendam selama 28 hari berdasarkan SNI 2493:2011. Pegujian tekan berdasarkan SNI 1974:2023. Hasil menunjukkan nilai kuat tekan menurun, tetapi tidak signifikan. Substitusi 3% memberikan hasil paling baik dibandingkan lainnya, dimana penurunan kuat tekan sekitar 2,3%. Cangkang kelomang memiliki potensi menjadi material alternatif berkelanjutan menggantikan batu kapur tanpa perlu melalui proses geologis dengan waktu ribuan hingga jutaan tahun.

Kata kunci: Semen; Kelomang; abu cangkang; substitusi sebagian; kekuatan tekan

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan pembangunan infrastruktur secara langsung berdampak pada tingginya permintaan dan konsumsi semen sebagai bahan utama pembentuk beton. Oleh sebab itu, pencarian material alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi hal yang sangat penting untuk mengurangi penggunaan semen dalam campuran beton. Sejumlah penelitian terdahulu mengungkapkan bahwa pemanfaatan limbah dari lingkungan sekitar dapat dijadikan substitusi sebagian semen, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam (Ghinaya & Masek, 2021). Limbah dengan karakteristik fisik dan kimia tertentu, memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam campuran beton. Pemanfaatannya dapat berfungsi sebagai substitusi parsial semen maupun pengisi, sehingga tidak hanya membantu mengurangi ketergantungan terhadap semen, tetapi juga memberikan solusi pengelolaan limbah yang lebih ramah lingkungan serta mendukung prinsip keberlanjutan (Susilo, 2016).

Banyak penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, antara lain penelitian dengan menggunakan cangkang kerang dara (Anadara Granosa) yang diolah menjadi bubuk tanpa melalui proses pembakaran. Limbah diperoleh dari industri makanan. Limbah kerang dibersihkan, dikeringkan, dihancurkan hingga halus, lalu diayak hingga lolos saringan No.

325. Bubuk digunakan sebagai substitusi berat semen sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% dengan bentuk uji kubus berukuran 5 cm. Hasil penelitian menunjukkan bubuk kerang dara tanpa pembakaran kurang reaktif terhadap air dan menurunkan kekuatan di 28 hari, tetapi mampu meningkatkan kuat tekan awal di 7 hari. Efisiensi tertinggi dicapai pada substitusi 20% (Sandjaya et al., 2019). Safarizki (2020) menggunakan serbuk cangkang kerang dara (Anadara Granosa) tanpa melalui proses pembakara dan dicampurkan ke dalam beton. Variasi substitusi yang digunakan adalah sebesar 3%, 5%, dan 7% dari berat semen. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggantian pada kisaran 3–5% mampu mempertahankan bahkan meningkatkan kuat tekan beton. Berbeda dengan penelitian tanpa pembakaran, beberapa studi menunjukkan bahwa proses pembakaran dapat meningkatkan reaktivitas cangkang kerang.

Mohamad et al. (2024) memanfaatkan abu cangkang kerang darah (*cockle shell ash*) sebagai substitusi sebagian semen pada mortar. Abu cangkang diperoleh melalui proses pembakaran, kemudian dihaluskan, dan diayak hingga berukuran halus sebelum dicampurkan ke dalam campuran mortar. Penelitian ini menggunakan variasi substitusi semen dengan proporsi sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60% dari total berat semen dalam campuran beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa persentase penggantian abu cangkang kerang yang paling optimal berada pada kisaran 5–10%.

Penelitian selanjutnya oleh Syahrani (2017) memanfaatkan limbah cangkang Kepah dan limbah kaca dengan tambahan material tanah liat sebagai bahan campuran. Komposisi campuran yang digunakan terdiri atas 80% limbah cangkang Kepah, 5% limbah kaca, dan 15% tanah liat. Variasi campuran terhadap jumlah semen ditetapkan sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%. Seluruh material dicampur secara merata, kemudian dihaluskan hingga homogen. Selanjutnya, campuran tersebut dibakar pada suhu 1500 °C selama kurang lebih 15 jam. Pengujian menunjukkan hasil yang cukup baik, walaupun ada sedikit yang di bawah perencanaan, namun selisihnya relatif kecil.

Mukminin et al. (2020) meneliti pemanfaatan cangkang kelomang air laut (*Paguroidea*). Cangkang menjalani proses kalsinasi pada suhu 900 °C selama kurang lebih 4 jam. Kandungan mineral utama berupa kalsium (Ca) sebesar 29,2% berat dan stronsium (Sr) kurang dari 0,2%. Tingginya kandungan kalsium pada abu tersebut membuktikan potensi bahan baku alternatif yang dapat berfungsi sebagai pengganti semen.

Dalam penelitian ini, digunakan limbah cangkang kelomang spesies *Clibanarius Erythropus* yang diperoleh dari lingkungan pesisir Karangantu, Kota Serang, Provinsi Banten (Gambar 1). Kelomang ini hidup secara alami, cangkannya banyak ditemukan sepanjang pesisir, dan hingga kini belum dimanfaatkan. Abu cangkang kelomang diharapkan dapat menggantikan semen.



Gambar 1. Lokasi sumber kelomang

## 2. METODE PENELITIAN

Limbah cangkang yang sudah dikumpulkan kemudian dibersihkan, dikeringkan (Gambar 2), dihancurkan kasar dengan mesin *Los Angeles Abrasion*, dibakar pada suhu sekitar 900°C selama 5 jam menggunakan Furnace

Laboratorium, dan dihancurkan menjadi abu. Diharapkan pembakaran dapat membuat abu bersifat sementius. Abu yang digunakan adalah yang lolos saringan No. 200. Variasi substitusi yang digunakan yaitu sebesar 0%, 3%, 5%, dan 7% dari berat semen.



Gambar 2. Limbah Cangkang Kelomang

Rencana campuran beton berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan target mutu 25 MPa. Bahan yang digunakan adalah semen Portland type I, Pasir Jalupang, dan kerikil dari Lingkar Selatan Cilegon. Analisis saringan agregat berdasarkan SNI ASTM C136:2012. Pengujian agregat dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Universitas Serang Raya. Campuran yang telah dibuat diuji slump berdasarkan SNI 1972:2022.

Sebagian abu diambil untuk uji komposisi kimia menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF) di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro dan dibandingkan dengan semen Portland type I. Kemudian menghitung berat jenis/densitas cangkang kelomang melalui dua pendekatan, perhitungan teoritis dengan mengalikan persen massa hasil XRF dengan densitas senyawanya dan pengukuran eksperimental menggunakan piknometer air dan abu kelomang. Kemudian pengujian berat jenis (*specific gravity*) abu cangkang kelomang menggunakan metode piknometer yang mengaplikasikan prinsip Hukum Archimedes (perpindahan fluida) untuk menentukan volume efektif partikel padat secara akurat, termasuk pori-pori tertutup.

Ukuran benda uji adalah 15x30 cm (Gambar 3) dan perawatan rendam berdasarkan SNI 2493:2011. Berdasarkan durasi perawatan rendam ada 2 tipe, yaitu 7 hari dan 28 hari. Setiap variasi dan tipe dibuat 3 benda uji.



Gambar 3. Benda uji

Rencana uji tekan berdasarkan SNI 1974:2023 dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Universitas Serang Raya. Mesin uji tekan yang digunakan adalah *Wizard Auto Compact-Line Automatic Compression Machine* dengan kapasitas maksimum 2000 kN dan sistem hidrolik *servo-controlled*.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Abu cangkang kelomang spesies *Clibanarius Erythropus* yang telah lolos saringan No. 200 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Abu cangkang kelomang spesies *Clibanarius Erythropus*

Hasil pengujian agregat halus ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil pengujian agregat kasar ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Persentase
Kadar air	3,5%
Berat jenis SSD	2,5%
Modulus kehalusan (FM)	3,076%
Penyerapan air	3,5%

Tabel 2. Hasil pengujian agregat kasar

Jenis Pengujian	Persentase
Berat jenis SSD	2,55%
Kadar air	1,5%
Penyerapan	1,5%

Secara umum, komposisi kimia semen Portland Tipe I berdasarkan standar ASTM C150/C150M-21 terdiri dari CaO (60–67%), SiO<sub>2</sub> (17–25%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3–8%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,5–6%), dan MgO (0,5–5%). Hasil analisis XRF ditunjukkan pada Tabel 3. Dapat dilihat bahwa cangkang kelomang tidak dapat langsung disamakan dengan semen, tetapi memiliki potensi sebagai bahan baku semen seperti batu kapur. Batu kapur dapat memiliki kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) > 95% yang kemudian diubah menjadi CaO melalui proses kalsinasi (pembakaran). Hasil perhitungan densitas teoritis cangkang ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil perhitungan densitas eksperimental dan densitas eksperimental ditunjukkan

pada Tabel 5-6. Selisih densitas teoritis dan eksperimental mengindikasikan adanya porositas pada struktur cangkang kelomang sebesar 47,27%.

Tabel 3. Komposisi kimia abu cangkang kelomang

Oksida Utama	Abu Cangkang Kelomang (Hasil XRF) (%)
CaO	83,10 %
SiO <sub>2</sub>	0,36 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,17 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,22 %
MgO	(termasuk dalam "Balance" 15,5 %)
SO <sub>3</sub>	0,17 %
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O (Alkali)	0,08 % (K <sub>2</sub> O)
SrO dan lainnya	0,24 % + sisanya (15,5 %)

Tabel 4. Densitas teoritis cangkang kelomang

Komponen	Persen Massa W <sub>i</sub> (%)	Densitas murni ρ <sub>i</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Kontribusi Densitas (W <sub>i</sub> x ρ <sub>i</sub> )
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,17	3,95	0,66
SiO <sub>2</sub>	0,36	2,65	0,94
SO <sub>3</sub>	0,17	1,90	0,33
Cl (as NaCl)	0,06	2,17	0,13
K <sub>2</sub> O	0,08	2,35	0,20
CaO	83,10	3,34	277,55
MnO	0,07	5,37	0,39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,22	5,24	1,15
SrO	0,24	4,70	1,15
Balance	15,50	2,70	41,85
Total	100		324,36
Densitas Teoritis (ρ)			3,24

Tabel 5. Uji berat jenis (piknometer)

Keterangan Pengukuran	Simbol Variabel	Satuan	Nilai Pengukuran
Massa Piknometer Kosong	m1	(g)	24,6
Massa Piknometer + Sampel Abu Kelomang	m2	(g)	32,8
Massa Piknometer + Sampel + Air	m3	(g)	55,9
Massa Piknometer + Air Saja (Penuh)	m4	(g)	51,5

Tabel 6. Densitas eksperimental

Parameter Perhitungan	Rumus (Berdasarkan Data)	Satuan	Hasil
Massa Sampel Abu	m2 - m1	(g)	8,2
Massa Air Penuh Piknometer	m4 - m1	(g)	26,9
Massa Air yang Ditambahkan ke Sampel	m3 - m2	(g)	23,1
Massa Air yang Dipindahkan oleh Sampel (Volume Sampel)	(m4 - m1) - (m3 - m2)	(g)	3,8
Densitas Eksperimental Sampel	$\frac{(m2 - m1)}{(m4 - m1) - (m3 - m2)}$	g/cm <sup>3</sup>	2,2

Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari ditunjukkan pada Gambar 5 dan umur 28 hari ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan hasil uji kuat tekan beton, semua variasi substitusi menunjukkan penurunan kuat tekan. Jika diperhatikan, variasi 3% memberikan hasil penurunan yang paling rendah dibandingkan lainnya berdasarkan porsi substitusi.



Gambar 5. Grafik pengujian kuat tekan beton 7 hari



Gambar 6. Grafik pengujian kuat tekan beton 28 hari

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil uji komposisi kimia, abu cangkang kelomang spesies *Clibanarius Erythropus* berpotensi menjadi pengganti batu kapur karena memiliki kandungan kalsium oksida (CaO) 83,10%.

Berdasarkan hasil uji tekan, penggunaan abu cangkang kelomang spesies *Clibanarius Erythropus* sebagai pengganti sebagian semen akan menurunkan kekuatan. Jika substitusi semakin besar, maka penurunan kekuatan semakin besar. Berdasarkan persentase yang diperoleh dari penelitian ini, substitusi 3% dinilai paling baik karena penurunan kekuatan kurang lebih sama dengan persentase substitusi.

Peluang penelitian menggunakan variasi substitusi yang lebih kecil dapat dilakukan untuk mengetahui sifat penurunan kekuatan lebih detail.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2021). *Standard specification for portland cement (ASTM C150/C150M-21)*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal (SNI 03-2834-2000)*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium (SNI 2493:2011)*.

- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar* (SNI ASTM C136:2012).
- Badan Standardisasi Nasional. (2022). *Metode Uji Slump Beton Semen Hidraulis* (SNI 1972:2022).
- Badan Standardisasi Nasional. (2023). *Metode uji untuk kekuatan tekan spesimen beton silinder (ASTM C39-20, IDT)* (SNI 1974:2023).
- Ghinaya, Z., & Masek, A. (2021). Eco-friendly concrete innovation in civil engineering. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 1(3), 191-198.
- Mohamad, N., Muthusamy, K., Razelan, I. S., & Budiea, A. M. (2024). Effect of ground cockle shell ash as partial cement replacement on compressive strength of mortar. *AIP Conference Proceedings*, 3014(1), 030004. <https://doi.org/10.1063/5.0192514>
- Mukminin, A., Firdaus, M., Yuniarti., & Syabani, M. (2020). Pengaruh waktu kalsinasi cangkang kelomang (Paguroidea) pada suhu tinggi dalam pembentukan CaO sebagai katalis padat. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol4.iss1.art1>
- Safarizki, H. A. (2020). Concrete compressive strength study with Anadara Granosa shell waste as a replacement for part of cement. *International Journal of Sustainable Building, Infrastructure and Environment (IJSBIE)*, 1(1), 1-6.
- Sandjaya, A., Tavio, & Christianto, D. (2019). Experimental study of mortar compressive strength with Anadara Granosa powder as a substitute for partial use of cement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 650, 012037. DOI 10.1088/1757-899X/650/1/012037
- Susilo, A. J. (2016). *Enhancing the strength properties of fly ash by adding waste products*. [Disertasi Doktor, University of Kentucky]. <http://dx.doi.org/10.13023/ETD.2016.388>
- Syahrani, D. (2017). Pemanfaatan limbah cangkang kerang (Kepah) dan limbah kaca sebagai bahan alternatif substitusi parsial semen untuk campuran beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(2), 1–10. <https://doi.org/10.26418/jtsft.v17i2.23890>

