



Pengaruh penambahan abu tempurung kelapa dan serbuk cangkang telur terhadap kuat tekan dan daya serap *paving block*

Anbar Puspita Ningrum^{a*}, Cintya Orty Arnindisari^a, Hartono^a, Asri Nurdiana^a

^{a*}, ^a *Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia*

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

anbarrrr04@gmail.com

Article history:

Received : 09 June 2024

Accepted : 25 July 2024

Publish : 30 December 2024

Keywords:

coconut shell, compressive strength, eggshell, paving block

ABSTRACT

Egg production, which increases yearly, produces large amounts of eggshell waste. Meanwhile, the coconut shell waste is also underutilized and piling up. Eggshell contains calcium carbonate (CaCO₃), which is used as a cement composition material. Coconut shell ash contains silica, also used as a composition material for cement. The use of waste eggshell powder and coconut shell ash as a partial substitute for cement in the manufacturing of paving blocks is a solution to reduce waste and greenhouse gas (CO₂) emissions during the cement production process. This study aimed to determine the percentage composition of eggshell powder and coconut shell ash that was suitable for producing paving blocks with optimal characteristics and to assess the effect of adding coconut shell ash with variations (0% ATK : 0% SCT); (6% ATK: 2,5% SCT); (3% ATK: 5% SCT); (6% ATK: 5% SCT); (3% ATK: 2,5% SCT) amount of cement, regarding the water absorption and compressive strength testing of paving blocks. The sample was 30 test objects. The experimental method used was a brick-shaped paving block with dimensions of up to 21 cm x 10,5 cm x 6 cm, referring to SNI 03-0691-1996, and testing was carried out after 21 days of age. The research results on the compressive strength of paving blocks with Quality B, the average compressive strength value is 20 MPa.

Copyright © 2024 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur seperti gedung dan jalan memberikan peranan penting dalam pertumbuhan ekonomi dan sebagai langkah awal untuk menuju negara maju. Pembangunan gedung-gedung tinggi seperti area perkantoran, hotel, dan sebagainya tentu memerlukan area parkir dan juga taman yang memadai. Area parkir, trotoar, dan taman biasanya menggunakan paving block sebagai perkerasan jalan (Saputra et al., 2020). Masyarakat memilih penggunaan paving block karena dinilai mampu menyerap air dengan baik sehingga tidak terjadi genangan air. Pemasangannya serta perawatannya pun mudah. Bentuknya juga variatif dan memiliki nilai estetika, serta harganya ekonomis dan terjangkau (Lase, 2021).

Pada SNI 03-0691-1996 dikatakan paving block merupakan bahan bangunan yang tersusun atas beberapa campuran, antara lain: air, semen portland, agregat, dan dengan atau tanpa bahan tambahan lain yang tidak mengurangi mutu dari paving block itu sendiri. Salah satu material penting dalam pembuatan paving block yaitu semen. Kandungan yang terdapat di dalam semen yaitu kapur (CaO), Silika (SiO₂), Sulfur Trioxide (SO₃), Alumina (AL₂ O₃), Magnesium Oksida (MgO), Iron Oxide (Fe₂O₃), Alkali (K₂O), dan Na₂O. Dalam produksi semen dihasilkan emisi gas rumah kaca saat pelepasan karbon dioksida (CO₂) di atmosfer yang dapat merusak lingkungan, serta penggunaan semen secara terus-menerus akan mengurangi sumber daya di masa depan (Susilowati et al., 2016). Oleh karena itu diperlukan bahan pengganti semen yang ramah lingkungan. Limbah organik seperti cangkang telur

dan tempurung kelapa dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah campuran paving block dan sekaligus dapat mengatasi pencemaran lingkungan.

Tingginya minat dan kebutuhan masyarakat terhadap telur tentunya akan menghasilkan limbah cangkang telur yang besar. Menurut data badan pusat statistik, produksi telur di Indonesia pada tahun 2020 yaitu 5.141.570,00 ton sedangkan pada tahun 2021 yaitu 5.155.998,00 ton. Limbah cangkang telur tersebut akan terus menumpuk dan menjadi pencemaran lingkungan serius apabila tidak segera ditangani. Selain masalah lingkungan yang berasal dari limbah cangkang telur, Indonesia sebagai salah satu negara penghasil kelapa terbesar di dunia juga memiliki limbah tempurung kelapa yang sangat besar. Berdasarkan dari badan pusat statistik, hasil produk perkebunan kelapa di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 2853,30 ton.

Dari uraian diatas, maka perlu adanya inovasi untuk menjadikan limbah dari cangkang telur dan tempurung kelapa sebagai alternatif bahan untuk campuran pembuatan *paving block*. Oleh sebabnya, pada pengujian ini tempurung kelapa akan diolah dan dibakar dengan suhu tinggi sampai menjadi arang dan abunya yang tinggi akan Silika (SiO_2) akan digunakan untuk substitusi semen pada pembuatan dari *paving block*. Kekuatan yang terdapat pada struktur tempurung kelapa diharapkan mampu meningkatkan nilai kuat tekan pada beton (Jacky et al., 2018). Sedangkan cangkang telur akan diolah dengan dihancurkan dan nantinya pecahan-pecahan dari cangkang telur akan digunakan sebagai bahan substitusi semen (Agnes Sentani Klau et al., 2021). Diketahui, kandungan Kalsium Karbonat (CaCO_3) yang ada pada cangkang telur sangat besar. Kedua limbah diatas mengandung Silika (SiO_2) dan Kalsium Karbonat (CaCO_3) yang juga terdapat pada semen.

Maka dari itu tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase komposisi dari abu tempurung kelapa dan serbuk cangkang telur yang sesuai agar menghasilkan *paving block* dengan karakteristik yang optimal yang ditinjau dari kuat tekan dan daya serapnya berdasarkan SNI 03-0691-1996. Selain itu, juga untuk mengetahui biaya pembuatan dan perbandingan biaya antara paving block inovasi dengan paving block konvensional.

2. Data dan metode

2.1. Metode penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode kuantitatif eksperimental dengan maksud untuk mengetahui pengaruh penambahan abu tempurung kelapa dan serbuk cangkang telur terhadap kuat tekan dan daya serap *paving block*.

2.2. Pengujian material

Penelitian ini melakukan pengujian material terhadap agregat halus yaitu pasir. Pengujian agregat halus yang dilakukan yaitu analisis gradasi butiran, berat jenis, uji kadar lumpur dan pengujian kadar organis agregat. Adapun pengujian analisis gradasi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Uji Gradasi Agregat

2.3. Pengolahan limbah

Material yang digunakan sebagai bahan tambah adalah abu tempurung kelapa dan serbuk cangkang telur. Tempurung kelapa dibakar terlebih dahulu sampai menjadi arang. Selanjutnya arang tersebut ditumbuk sampai halus hingga menjadi abu dan lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Pengujian yang sama dilakukan pada cangkang telur. Cangkang telur dicuci terlebih dahulu sampai bersih dan dikeringkan di oven sampai tidak ada kandungan air yang tersisa. Setelah itu cangkang telur ditumbuk sampai menjadi serbuk halus yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Serbuk Cangkang Telur

2.4. Job Mix Design

Mix Design pada pembuatan *paving block* mengacu pada penelitian terdahulu. Benda uji dalam penelitian ini berbentuk *paving block* tipe *holland* dengan ukuran 21x10,5x6 cm. Rancangan *job mix design* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Job Mix Design*

| Bahan | Komposisi Pembuatan Benda Uji Untuk 1 <i>Paving Block</i> | | | | | Satuan |
|-----------------------|---|------------------|----------------|----------------|------------------|--------|
| | 0% : 0% (1) | 6% : 2,5% (2) | 3% : 5% (3) | 6% : 5% (4) | 3% : 2,5% (5) | |
| Semen | 0,50 | 0,45 | 0,46 | 0,445 | 0,472 | Kg |
| Air | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Kg |
| Pasir | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | Kg |
| Abu Tempurung Kelapa | - | 0,03 | 0,015 | 0,03 | 0,015 | Kg |
| Serbuk Cangkang Telur | - | 0,012 | 0,025 | 0,025 | 0,012 | Kg |

2.5. Metode pembuatan benda uji

Proses pembuatan benda uji diawali dengan mempersiapkan bahan seperti semen, pasir, abu tempurung kelapa, dan serbuk cangkang telur. Pasir yang digunakan adalah pasir yang lolos saringan diameter 4,75 mm. Setelah itu semua bahan ditimbang sesuai perhitungan *job mix* masing-masing variasi. Kemudian semua bahan dicampur dan diaduk sampai adonan menjadi homogen. Adonan kemudian dimasukkan kedalam mesin press untuk dicetak. *Paving block* yang sudah dicetak kemudian dijemur dan dilakukan proses perawatan dengan cara disiram air setiap pagi dan sore selama 21 hari. Adapun proses pencetakan *paving block* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Pencetakan *Paving Block*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian material

Terdapat empat pengujian pada agregat halus, yaitu uji gradasi, berat jenis, kadar lumpur, dan organis. Berdasarkan pengujian agregat halus, pasir yang digunakan untuk penelitian telah memenuhi SNI acuan dan dapat digunakan sebagai bahan penyusun untuk membuat *paving block*. Adapun hasil rekapitulasi pengujian agregat halus disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus

| Jenis Pengujian | Hasil | SNI Acuan | Keterangan |
|-----------------------|----------------------|--|--------------------------------|
| Uji Modulus Kehalusan | 2,36 | 1,5 – 3,5 | SNI ASTM C136:2012 Memenuhi |
| Uji berat Jenis | 2,6 | 1,6 – 3,3 | SNI 1970:2008 Memenuhi |
| Uji Kadar Lumpur | 3,45% | 3,45% ≤ 5% | SNI S-04-1989-F Memenuhi |
| Uji Organik | Bening - Kuning Muda | Bening/tidak berwarna kuning muda - merah kekuningan | SNI S-04-1989-F Memenuhi |

3.2. Hasil pengujian kuat tekan

Paving block yang telah dicetak dan dilakukan perawatan selama 21 hari selanjutnya di uji kuat tekannya menggunakan alat kuat tekan yang dilakukan dengan metode *british standard* dan mengacu pada SNI 03-0691-1996 klasifikasi *paving block* mutu B. Analisa ini menggunakan benda uji sebanyak 3 buah dari masing-masing variasi. Hasil pengujian ini didapatkan dengan menghitung beban maksimal (P) dibagi dengan luas penampang (A). Adapun hasil uji kuat tekan benda uji *paving block* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Kuat Tekan Rerata *Paving Block*

| Tipe Variasi ATK : SCT (0% : 0%) | Kuat tekan rerata 21 hari (MPa) | Kuat tekan rerata 28 hari (MPa) | SNI 03-0691-1996 | Keterangan |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------|------------|
| | 22,30 | 23,48 | 20 | Memenuhi |

| Tipe Variasi ATK : SCT | Kuat tekan rerata 21 hari (MPa) | Kuat tekan rerata 28 hari (MPa) | SNI 03-0691-1996 | Keterangan |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------|------------|
| (3% : 2,5%) | 30,70 | 32,31 | 20 | Memenuhi |
| (3% : 5%) | 26,93 | 28,35 | 20 | Memenuhi |
| (6% : 5%) | 23,97 | 25,24 | 20 | Memenuhi |
| (6% : 2,5%) | 25,62 | 26,97 | 20 | Memenuhi |

Rata-rata kuat tekan *paving block* dengan campuran abu tempurung kelapa dan serbuk cangkang telur variasi (3% : 2,5%) terjadi peningkatan dibandingkan dengan kuat tekan rata-rata *paving block* normal. Nilai rata-rata kuat tekan *paving block* dengan campuran abu tempurung kelapa dan serbuk cangkang telur variasi (3% : 5%) dan (6% : 2,5%) mengalami penurunan dibandingkan dengan kuat tekan rata-rata *paving block* variasi (3% : 2,5%). Hal tersebut disebabkan karena penambahan abu tempurung kelapa yang mengandung (SiO₂) akan menaikkan kandungan silika pada semen. Kandungan silika (SiO₂) memiliki sifat *pozzolan*, sehingga ketika bercampur dengan air dan (CaO) yang terkandung dalam serbuk cangkang telur akan membentuk kalsium silikat hidrat. Kalsium silikat hidrat ini berkontribusi pada kekuatan *paving block*. Adapun pada penambahan 3% abu tempurung kelapa dan 2,5% serbuk cangkang telur terjadi reaksi secara sempurna sehingga menghasilkan kuat tekan yang optimum. Sedangkan pada persentase lainnya, kuat tekan mengalami penurunan karena tidak seimbang perbandingan SiO₂ dan CaO dalam semen.

3.3. Hasil pengujian daya serap

Pengujian daya serap dilakukan pada saat umur *paving block* mencapai 21 hari. Pengujian ini dilakukan dengan cara merendam *paving block* sebanyak tiga buah dari masing-masing variasi selama 24 jam. Kemudian benda uji ditimbang dan dikeringkan di oven selama 24 jam setelah itu ditimbang kembali. Hasil pengujian ini didapatkan dengan cara mengurangi antara berat basah dan berat kering kemudian dibagi dengan berat kering mengacu pada SNI 03-0691-1996 klasifikasi *paving block* mutu B. Hasil Analisis uji daya serap air disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Daya Serap Air

| Tipe Variasi ATK : SCT | Daya Serap Rerata (%) | SNI 03-0691-1996 | Keterangan |
|---------------------------|--------------------------|------------------|----------------|
| (0% : 0%) | 8,26 | ≤6 | Tidak Memenuhi |
| (3% : 2,5%) | 4,65 | ≤6 | Memenuhi |
| (3% : 5%) | 4,76 | ≤6 | Memenuhi |
| (6% : 5%) | 5,28 | ≤6 | Memenuhi |
| (6% : 2,5%) | 5,63 | ≤6 | Memenuhi |

Rata-rata daya serap *paving block* dengan campuran abu tempurung kelapa dan serbuk cangkang telur variasi (3% : 2,5%) yaitu 4,65% terjadi penurunan sebesar 3,61% dibandingkan dengan rata-rata daya serap *paving block* normal yaitu 8,26%. Nilai rata-rata daya serap *paving block* dengan campuran abu tempurung kelapa dan serbuk cangkang telur variasi (3% : 5%) yaitu 4,76% mengalami peningkatan sebesar 0,11% dibandingkan dengan rata-rata daya serap *paving block* variasi (3% : 2,5%). Nilai rata-rata daya serap *paving block* dengan campuran abu tempurung kelapa dan serbuk cangkang telur variasi (6% : 5%) yaitu 5,28% mengalami peningkatan sebesar 0,52% dibandingkan dengan rata-rata daya serap *paving block* variasi (3% : 5%). Nilai rata-rata daya serap *paving block* dengan campuran abu tempurung kelapa dan serbuk cangkang telur variasi (6% : 2,5%) yaitu 5,63% mengalami peningkatan sebesar 0,35% dibandingkan dengan rata-rata daya serap *paving block* variasi (6% : 5%). Sehingga disimpulkan bahwa daya serap terendah terdapat pada persentase (3% : 2,5%) sebesar 4,65%. Hal tersebut disebabkan karena rongga-rongga kosong diisi oleh kalsium silikat hidrat yang banyak terbentuk pada persentase tersebut sehingga dapat memperkecil pori-pori pada *paving block* dan menghasilkan penyerapan air yang rendah. Sedangkan pada persentase lain mengalami kenaikan daya serap yang disebabkan karena kandungan SiO₂ dan CaO yang berlebih membuat SiO₂ tidak bisa bereaksi secara maksimum untuk membentuk kalsium silikat hidrat sehingga menyebabkan kenaikan penyerapan air (Zebua & Medan, 2023).

3.4. Analisis keseluruhan

Penambahan abu tempurung kelapa dan serbuk cangkang telur sebagai substitusi semen pada *paving block* dengan variasi (3% : 2,5%); (3% : 5%); (6% : 5%); dan (6% : 2,5%)) kuat tekan dan daya serapnya memenuhi syarat mutu B. Sedangkan variasi (0% : 0%) kuat tekannya memenuhi mutu B namun daya serapnya memenuhi syarat mutu D. Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Saputra et al., 2020) *paving block* yang disubstitusi hanya dengan abu tempurung kelapa sejumlah 6% dari semen memiliki kuat tekan dan daya serap yang lebih baik sebesar 37,68 Mpa dan 3,06% yang dapat dikategorikan sebagai *paving block* mutu A. Kemudian apabila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Lase, 2021), *paving block* dengan tambahan serbuk cangkang telur 5% dari semen memiliki kuat tekan dan daya serap yang lebih rendah sebesar 9,92 Mpa dan daya serap 8,10% dan diklasifikasikan sebagai *paving block* mutu D. Hal tersebut disebabkan karena abu tempurung kelapa mengandung SiO₂ dan cangkang telur mengandung CaO yang mana keduanya memiliki sifat *pozzolan*.

Pozzolan merupakan senyawa silika yang ketika ditambahkan pada campuran adukan beton dengan batas tertentu dapat menambah kekuatan beton (Ruliyansyah, 2015). Selain itu, penambahan SiO₂ dan CaO yang optimal juga akan mempengaruhi kepadatan dan daya serap air karna SiO₂ dan CaO akan bereaksi membentuk kalsium silikat terhidrasi yang dapat memperkecil pori-pori batu bata dan menghasilkan penyerapan air yang rendah (Zebua & Medan, 2023). Oleh karena itu, nilai kuat tekan dan daya serap variasi (3% : 2,5%) dapat melebihi mutu *paving block* normal dengan nilai kuat tekan sebesar 25,34 MPa memenuhi syarat mutu B dan daya serap sebesar 8,26 % memenuhi syarat mutu D.

3.5. Biaya material

Analisis perhitungan biaya dibuat berdasarkan kebutuhan *job mix* dan disesuaikan dengan analisa harga satuan (AHSP) Kota Semarang tahun 2024. Perhitungan biaya modifikasi *paving block* disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisis Biaya Pembuatan Satu *Paving Block*

| ATK (%) | SCT (%) | Semen (Rp) | Pasir (Rp) | Air (Rp) | Abu Tempurung Kelapa (Rp) | Serbuk Cangkang Telur (Rp) | Total Biaya Produksi (Rp) |
|---------|---------|------------|------------|----------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 0 | 0 | 700 | 810 | 3 | 0 | 0 | 1.513 |
| 3 | 2,5 | 641 | 810 | 3 | 0 | 0 | 1.454 |
| 3 | 5 | 644 | 810 | 3 | 0 | 0 | 1.457 |
| 6 | 5 | 623 | 810 | 3 | 0 | 0 | 1.436 |
| 6 | 2,5 | 662 | 810 | 3 | 0 | 0 | 1.475 |

Biaya yang paling efisien berada pada persentase (6%:5%). Dapat disimpulkan bahwa perbandingan biaya *paving block* dengan variasi lebih efisien dari *paving block* normal dikarenakan harga semen dapat ditekan dengan adanya substitusi dari limbah cangkang telur dan abu tempurung kelapa.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah *paving block* dengan kuat tekan dan daya serap optimum berada pada variasi campuran 3% abu tempurung kelapa dan 2,5% serbuk cangkang telur dengan kuat tekan rata-rata 34,88 Mpa dan daya serap sebesar 4,65%. Dari hasil tersebut *paving block* tergolong mutu B. Penambahan abu tempurung kelapa dan serbuk cangkang telur berpengaruh terhadap nilai rerata kuat tekan dan daya serap *paving block* umur 28 hari dengan variasi (0% : 0%),

(3% : 2,5%), (3% : 5%), (6% : 5%), (6% : 2,5%) beturut-turut adalah (25,34 Mpa dan 8,26%); (34,88 Mpa dan 4,65%); (30,60 Mpa dan 4,76%); (27,24 Mpa dan 5,28%); (29,12 Mpa dan 5,63%). Dari perhitungan analisis biaya, diketahui bahwa pembuatan *paving block* pada variasi (0% : 0%), (3% : 2,5%), (3% : 5%), (6% : 5%), dan (6% : 2,5%) beturut-turut adalah Rp. 1.513 ; Rp. 1.454 ; Rp. 1.457 ; Rp. 1.436 ; Rp. 1.475. Terlihat bahwa *paving block* dengan bahan tambah lebih murah dibandingkan dengan *paving block* konvensional. Biaya yang paling efisien berada pada campuran (6% : 5%) yaitu Rp. 1,436/buah.

Ucapan terima kasih

Puji dan Syukur kami ucapkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan kehendaknya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih kami sampaikan kepada dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pencerahan kepada penulis. Terima kasih kepada seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian.

Referensi

- Agnes Sentani Klau, Phengkarsa, F., & Sanggaria, O. J. (2021). Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton. *Paulus Civil Engineering Journal*, 3(4), 479-488. <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i4.327>
- Jacky, Elnov, D., Debrinda Rama, A., Fernando, R., & Rachmansyah. (2018). Pengaruh Pecahan Tempurung Kelapa Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dalam Campuran Beton Effect of Coconut Shell Fragments As Substitute for Coarse Aggregate in Concrete Mixture. *Jurnal Teknik Dan Ilmu Komputer*, 07(26), 157-166.
- Lase, P. I. (2021). Pemanfaatan serbuk Cangkang Telur Ayam sebagai bahan tambahan pembuatan Paving Block. Skripsi Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sumatra Utara, Medan, 1-46. <http://repository.uinsu.ac.id/id/eprint/12014>
- Saputra, W., Prihantono, & Bachtiar, G. (2020). PENAMBAHAN ABU TEMPURUNG KELAPA TERHADAP KUAT TEKAN PAVING BLOCK. *Pendidikan Teknik Dan Vokasional*, 3, 159-168.
- Susilowati, A., Simanullang, K. A., & Aprilia, L. (2016). Bata Beton (Paving Block) Geopolimer Dengan Variasi Konsentrasi Serat Sabut Kelapa. *Politeknologi*, 15(1).
- Zebua, W. D., & Medan, U. N. (2023). Pengaruh SiO₂ Dari Fly Ash dan CaO Dari Cangkang Kerang Terhadap Densitas dan Daya Serap Air Batako. *Journal of Chemistry, Education, and Science*, 7(2), 137-141.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1968-1990 Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 03-0691-1996 Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Paving Block.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI 15-2040-2004 Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Semen Portland.