

Pemanfaatan Limbah *Candlenut Shells Ash* sebagai Substitusi Agregat Halus Dalam Modifikasi Paving Berlubang Mendukung Upaya Mitigasi Banjir

Rido Fabian Naufal¹, Luqman Cahyono¹, Nur Fajar Aprillia Sari¹

Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 60111

*E-mail : luqmancahyono24@ppns.ac.id

Abstrak

Candlenut shells merupakan komoditas unggulan dalam sektor perkebunan dengan potensi pengembangan yang besar. Cangkang *candlenut shells* memiliki nilai kalor yang baik dan digunakan sebagai bahan bakar boiler dalam industri makanan. Namun, proses pembakaran menghasilkan limbah berupa abu *candlenut* sekitar ± 3 ton setiap hari, yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak diolah lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penambahan limbah *candlenut shells ash* untuk pembuatan *paving block* berlubang, menggunakan metode eksperimental. Penggunaan paving untuk perkerasan jalan seringkali memperlambat laju penyerapan air ke tanah. Salah satu solusi untuk masalah ini adalah memanfaatkan limbah *candlenut shells ash* untuk pembuatan *paving block* berlubang. Hasil uji XRF menunjukkan kandungan CaO sebesar 77,5 %, di mana CaO memiliki sifat *pozzolan*, Reaksi *pozzolanic* terjadi ketika CaO dan SiO₂ yang ada dalam *candlenut shells ash* bereaksi dengan air, menghasilkan proses pengerasan dan kekakuan. Hasil uji kuat tekan menunjukkan peningkatan kualitas *paving block* pada variasi komposisi 1:4 sebesar 15,9 MPa, memenuhi standar mutu B menurut SNI 03-0691-1996, dengan nilai penyerapan air sebesar 9% yang memenuhi mutu C. Hasil uji infiltrasi menunjukkan nilai 0,15066 mm/h. Pemanfaatan limbah *candlenut shell ash* untuk pembuatan *paving block* dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat timbunan limbah tersebut, serta mengoptimalkan desain *paving block* berlubang untuk upaya mengurangi potensi banjir.

Keywords: *Candlenut shells ash*, Kalsium oksida, Uji kuat tekan, Uji daya serap air, *Revenue cost ratio*.

1. Pendahuluan

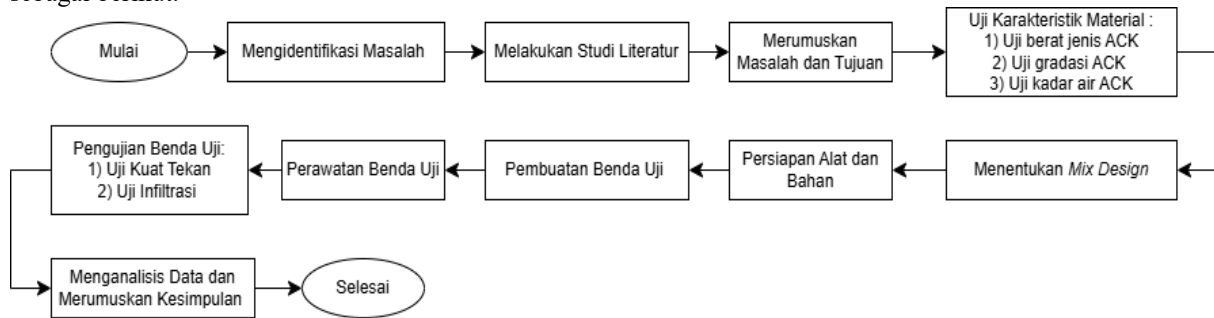
Candlenut shell ash adalah salah satu komoditas unggulan di sektor perkebunan dengan potensi pengembangan yang signifikan. Beberapa keunggulannya meliputi kandungan minyak dalam biji, kayu yang besar dan ringan, serta sering digunakan untuk *furniture* dan perabotan rumah tangga. Cangkang bijinya juga dimanfaatkan sebagai bahan bakar, memiliki sifat keras, dan mengandung kalor sebesar 4164 kal/g, sehingga cocok untuk bahan bakar boiler di industri makanan. Namun, pembakaran ini menghasilkan limbah berupa abu yang mengandung kalsium oksida (CaO) dan magnesium oksida (MgO) dalam jumlah tinggi, yang belum dimanfaatkan secara maksimal (Cahyono dkk., 2023). Uji XRF menunjukkan bahwa cangkang *candlenut shells* mengandung senyawa kalsium oksida (CaO) yang tinggi yakni 77,5%, dan magnesium oksida (MgO) sebesar 14,96%. Senyawa-senyawa ini adalah komponen kimia dalam semen yang memiliki karakteristik kekuatan saat bereaksi (Pasae dkk., 2023).

Paving block adalah produk bahan bangunan yang dihasilkan dari campuran air, agregat, dan semen *Portland*, dengan tambahan bahan lain tanpa mengurangi kualitas. *Paving block* biasanya digunakan sebagai alternatif untuk perkerasan jalan, diterapkan pada jalur pejalan kaki, jalan kompleks/perumahan, area taman/publik, halaman rumah/industri/sekolah, serta tempat parkir. Berdasarkan klasifikasinya, *paving block* memiliki berbagai mutu sesuai dengan penggunaannya masing-masing. Berikut adalah klasifikasi *paving block* menurut Badan Standarisasi Nasional (1996). Mutu A digunakan untuk jalan raya, mutu B untuk pelataran parkir kendaraan, mutu C untuk pedestrian atau trotoar, mutu D untuk taman dan jalan perumahan. Namun, perkerasan jalan menggunakan *paving block* seringkali menyebabkan laju alir penyerapan air menjadi melambat dikarenakan kepadatan pori-pori pada paving. Pada penelitian ini menerapkan inovasi lubang pada *paving block* untuk mengoptimalkan laju alir air untuk penyerapan air limpasan hujan.

Penelitian (Riska dkk., 2023) mengaplikasikan *candlenut shells ash* sebagai substitusi semen pada pembuatan batako berlubang dengan variasi komposisi *candlenut shells ash* 0%, 5%, 10%, dan 15% hasil riset menunjukkan penggunaan 15% *candlenut shells ash* mampu meningkatkan kuat tekan batako mencapai 26,13 kg/m³. Namun, penelitian saat ini melakukan pemanfaatan *candlenut shells ash* sebagai substitusi agregat halus pengganti abu batu untuk pembuatan *paving block* berlubang. Limbah *candlenut shells ash* diharapkan dapat menghasilkan kuat tekan *paving block* berlubang yang memenuhi SNI dan optimal untuk upaya mitigasi banjir.

2. METODE

Metode penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan metode pendekatan eksperimen dengan alur sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini menggunakan cetakan *paving block* ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm yang telah dimodifikasi besi berdiameter 10 mm dengan metode pembuatan manual menggunakan tenaga manusia. Komposisi bahan yang digunakan untuk pembuatan *paving block* berlubang yaitu limbah *candlenut shells* yang diperoleh dari PT. Heinz ABC, pasir Lumajang dan semen PCC dengan merk Semen Gresik di toko bangunan terdekat.

2.2 Mix Design

Sampel benda uji *paving block* berlubang dibuat dengan perbandingan semen dan agregat halus 1 : 4 dengan modifikasi jumlah lubang 6. Rincian *mix design* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Mix Design

Kode Benda Uji	Perbandingan Semen : Agregat Halus	Semen (gr)	Pasir Lumajang (gr)	<i>Candlenut Shells Ash</i> (gr)	Faktor Air Semen (FAS)	Jumlah Lubang (buah)
PB 6	1:4	576	576	1728	0,4	6
PB 7		576	1152	1152		6
PB 8		576	1728	576		6

2.3 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Pembuatan benda uji *paving* berlubang dilakukan secara manual menggunakan tenaga manusia, dengan cetakan yang telah dimodifikasi. Kebutuhan material dalam pembuatan benda uji disesuaikan dengan kebutuhan yang ada pada *mix design*. Metode perawatan benda uji *paving* berlubang (*curing*) menggunakan metode benda uji dengan karung goni yang telah dibasahi selama 28 hari dan akan dilanjutkan pengujian benda uji. Proyeksi *paving block* berlubang dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Paving Block Berlubang

2.4 Pengujian Paving Block Berlubang

Sampel benda uji yang telah melalui proses perawatan (*curing*) selanjutnya akan dilakukan pengujian, yaitu pengujian kuat tekan dan uji keausan mengacu pada SNI 03-0691-1996, Setelah, pengujian kuat tekan dan keausan maka didapatkan nilai hasil uji dan kemudian dilakukan pengelompokan sesuai nilai mutu *paving block* yang mengacu pada standard yang berlaku.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Karakteristik

Pengujian karakteristik fisik material bertujuan untuk menganalisis sifat dan kualitas material atau agregat

yang akan digunakan dalam pembuatan *paving block*.

3.1.1 Uji Berat Jenis *Candlenut Shells Ash*

Tabel 2. Hasil Uji Berat Jenis *Candlenut Shells Ash*

Sampel	Berat (gram)	Volume awal (ml)	Volume akhir (ml)	Berat jenis (gram/ml)	Berat jenis rata-rata (gram/ml)
1	64	0	24	2,667	2,74
2	64	0	22,8	2,807	

Pada Tabel 2 hasil pengujian berat jenis didapatkan berat jenis *candlenut shells ash* yaitu 2,74 gram/ml. Pada penelitian ini *candlenut shells ash* sebagai substitusi agregat halus. Bahan substitusi merupakan bahan pengganti bahan utama sehingga harus memiliki karakteristik yang hampir sama.

3.1.2 Uji Gradasi *Candlenut Shells Ash*

Tabel 3. Hasil Uji Gradasi *Candlenut Shells Ash*

Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Lolos (gram)	Jumlah Persen (%)		
			Tertahan	Lolos	Tertahan Akumulatif
4.75	127.6	872.4	12.76	87.24	12.760
2.38	157.3	697.1	17.53	69.71	30.290
1.18	214.8	482.3	21.48	48.23	51.770
0.6	228.9	253.4	22.89	25.34	74.660
0.3	113.5	139.9	11.35	13.99	86.010
0.15	98.6	41.3	9.86	4.13	95.870
Pan	41.3	0	4.13	0	0.000
Total	1000	0	100	0	351.360
Fine Modulus	Total Tertahan Kumulatif : 100				
FM	3.514				

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan nilai *fine modulus* sebesar 3,51, nilai tersebut sangat besar dan melebihi ketentuan PUBLI 1982 perlu dilakukan penghalusan sebelum digunakan agar memenuhi standard ukuran agregat halus dan kekuatan *paving block*.

3.1.3 Uji Berat Jenis Pasir Lumajang

Tabel 4. Hasil Uji Berat Jenis Pasir Lumajang

Sampel	Berat Pasir SSD (W1) (gram)	Berat Picnometer + Air + Pasir (W2) (gram)	Berat Picnometer + Air (W3) (gram)	Berat jenis (gram)	Berat jenis Rata-rata (gram)
1	500	1558	1241	2.734	2.70
2	500	1552	1241	2.657	

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai berat jenis rata-rata adalah 2,70 gr. Semakin besar nilai berat jenis dari agregat halus yang digunakan, maka mutu paving yang dihasilkan akan semakin baik (SNI 1969-2008). Berat jenis agregat memengaruhi proporsi campuran, di mana agregat dengan berat jenis rendah memiliki volume yang lebih besar, hal ini penting saat menentukan jumlah berat material untuk pembuatan *paving block*.

3.1.4 Uji Gradasi Pasir Lumajang

Tabel 5. Hasil Uji Gradasi Pasir Lumajang

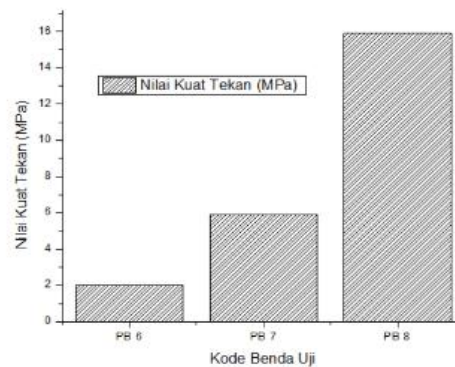
Saringan (mm)	Berat tertahan (gram)	Berat lolos (gram)	Jumlah persen (%)		
			Tertahan	Lolos	Tertahan akumulatif
4.75	22.6	977.4	2.26	97.74	2.260
2.38	74.8	902.6	7.48	90.26	9.740
1.18	201.6	701	20.16	70.1	29.900
0.6	246.8	454.2	24.68	45.42	54.580
0.3	159.3	294.9	15.93	29.49	70.510
0.15	211.5	83.4	21.15	8.34	91.660
pan	83.4	0	8.34	0	0.000
Total	1000	-	100	-	258.650

Saringan (mm)	Berat tertahan (gram)	Berat lolos (gram)	Jumlah persen (%)		
			Tertahan	Lolos	Tertahan akumulatif
<i>Fine modulus</i>	Total % tertahan kumulatif : 100				
FM	2,59				

Berdasarkan Tabel 5. didapatkan nilai *fine modulus* sebesar 2,59 sesuai dengan ketentuan angka kehalusan terletak antara 2,2 - 3,2 pada PUBI, 1982. Gradasi pasir dapat berpengaruh secara langsung terhadap keseragaman, konsistensi, dan pencapaian kepadatan maksimum.

3.2 Uji Kuat Tekan

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 tentang *paving block*, pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui nilai mutu *paving block* berlubang berdasarkan nilai kuat tekannya. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Paving Berlubang

Keterangan :

PB 6 = 1 semen : 1 pasir Lumajang : 3 *candlenut shells ash* (6 lubang)

PB 7 = 1 semen : 2 pasir Lumajang : 2 *candlenut shells ash* (6 lubang)

PB 8 = 1 semen : 3 pasir Lumajang : 1 *candlenut shells ash* (6 lubang)

Pada **Gambar 5**. Menunjukkan bahwa nilai kuat tekan PB6 2 MPa, PB7 5,9 MPa, dan tertinggi PB8 mencapai 15,9 MPa termasuk kedalam kategori mutu C yang memenuhi persyaratan SNI 03-0691-1996. Perbedaan nilai kuat tekan disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain ; perbedaan komposisi dan umur benda uji serta jumlah lubang pada paving. Sampel benda uji dengan umur 28 hari menghasilkan nilai kuat tekan yang tinggi, karena nilai kuat tekan maksimal terjadi pada umur 28 hari (Mulyati & Arkis, 2020). Nilai kuat tekan juga dipengaruhi oleh faktor kepadatan *paving block* dan proses pencampuran bahan yang dapat menyebabkan reaksi mengikat antara CaO dan SiO.

3.3 Uji Infiltrasi

Pengujian infiltrasi bertujuan untuk mengetahui kecepatan pengeringan air yang meresap melalui lubang drainase yang diisi dengan pasir dan agregat lainnya, infiltrasi adalah kemampuan paving dalam mengalirkan atau meloloskan air berdasarkan ASTM C1701.

Tabel 6. Hasil Uji Infiltrasi Paving Berlubang

Jenis Pasir	Jumlah lubang	Ketinggian air (cm)	Laju Infiltrasi		Waktu Habis (jam)	
			mm/h	m/h	<i>Fish Bone 90°</i>	<i>Stack Bone</i>
Pasir Pasang	6	20	27,66	0,02766	7 jam	6 jam
Pasir Lumpur	6	20	150,66	0,15066	1,5 jam	1,2 jam

Berdasarkan Tabel 6 laju infiltrasi pada media pasir pasang dan pasir lumpur menunjukkan perbedaan yang signifikan. Perbedaan yang terjadi diakibatkan oleh ukuran partikel dan butiran dari jenis pasir Lumajang yang cukup besar yang menyebabkan aliran air memiliki kecepatan menembus lubang paving dengan cepat dibandingkan dengan ukuran pasir lumpur yang lebih halus sehingga memperlambat laju alir air dikarenakan kerapatan celah yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa faktor banyaknya pori-pori dan celah sangat berpengaruh terhadap kecepatan air mengalir melewati rongga dan lubang tersebut (Iqbal Maulia dkk., 2019).

4. KESIMPULAN

Hasil pengukuran material menunjukkan limbah *candlenut shells ash* memiliki ukuran partikel yang sama dengan ukuran agregat halus sesuai dengan ASTM C1701. pembuatan paving berlubang secara manual dapat mempengaruhi kepadatan dan kekuatan pada paving berlubang, hasil kuat tekan tertinggi mencapai 15,9 MPa. Laju infiltrasi optimal terjadi pada pasir lumpur dengan nilai 0,15066 mm/h. Pemanfaatan limbah *candlenut shells ash* dapat digunakan sebagai bahan pembuatan paving block berlubang untuk mengoptimalkan mitigasi banjir.

5. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C128-93. (1993). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. ASTM International. West Conshocken
- Cahyono, L. C., Sinta, Y. R. D., Jannah, N. R., Fikriyah, I. A., Anwar, P. N., Putri, D. R. S., & Utomo, A. P. (2023). Pemanfaatan Limbah Abu Cangkang Kemiri Industri Makanan Sebagai Substitusi Agregat Halus Paving Block. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(3), 677–684. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i3.23155>
- Iqbal Maulia, Ismeddiyanto, & Suryanita, R. (2019). Sifat Mekanik Paving Block Komposit Sebagai Lapis Perkerasan Bebas Genangan Air (Permeable Pavement). *Jurnal Teknik*, 13(1), 9–16. <https://doi.org/10.31849/teknik.v13i1.2558>
- Mulyati, M., & Arkis, Z. (2020). Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 7(2), 78–84. <https://doi.org/10.21063/jts.2020.v702.05>
- Riska, Y., Sinta, D., Cahyono, L., & Dermawan, D. (2023). Pengaruh Kalsium Oksida (CaO) Abu Cangkang Kemiri dengan Penambahan Silika (SiO₂) sebagai Substitusi Semen terhadap Kuat Tekan Batako Berlubang. 261(2623), 261–265.
- SNI 03-0691-1996. (1996). Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Bata beton (*Paving block*). Sni 03-0691-1996