

Paving Block Ramah Lingkungan Menggunakan Limbah Sandblasting Dan Abu Arang Tempurung Kelapa Berbasis Ekonomi Sirkular

Tri Yuhanah^{1*}; Muhammad Hasim Wijaya²

1. Dosen Program Studi Teknik Sipil

2. Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil,

Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11750 Indonesia

^{*)}Email: tri.yuhanah@itpln.ac.id

Received: 26 November 2025 | Accepted: 18 Januari 2026 | Published: 22 Januari 2026

ABSTRACT

The growth of the construction sector in Indonesia has increased the demand for natural materials and will be depleted along with the increase in industrial waste production. This study examines the use of sandblasting waste from the treatment process that contains silica with physical characteristics similar to natural sand. The large production of coconut trees has not been fully utilized, especially coconut shell charcoal ash, which contains silica. The use of these two materials has the potential to produce environmentally friendly paving blocks to support the sustainability of beneficial natural resources. This study evaluates compressive strength and absorption with a 1:3 ratio using sandblasting waste substituted for sand with variations of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% with coconut shell charcoal ash at 5% cement substitution. Standard paving blocks without the use of sandblasting waste and coconut shell charcoal ash were used as test controls. The results of the study showed that the compressive strength of the paving blocks at 28 days of age was 36.417 MPa, 37.500 MPa, 31.750 MPa, 28.250 MPa, 27.167 MPa, and 27.833 MPa, respectively. A significant decrease in compressive strength was observed in sandblasting variations of more than 25%. The absorption results were 7.766%, 7.431%, 4.819%, 4.476%, 3.430%, and 2.702%, respectively. This study shows that using substitutes from industrial waste can reduce dependence on natural materials and costs.

Keywords: sandblasting, coconut shell ash, compressive strength, absorption

ABSTRAK

Berkembangnya sektor konstruksi di Indonesia, meningkatkan permintaan bahan alam dan akan habis bersamaan dengan peningkatan produksi limbah industri. Penelitian ini mengkaji penggunaan sandblasting limbah proses pengolahan treatment yang mengandung silika dengan karakteristik fisik seperti pasir alami. Banyaknya produksi tanaman kelapa belum dimanfaatkan maksimal khususnya abu arang tempurung kelapa yang mengandung silika. Penggunaan kedua bahan tersebut berpotensi produksi paving block ramah lingkungan untuk mendukung keberlanjutan sumber daya alam yang bermanfaat. Penelitian ini mengevaluasi kuat tekan dan absorpsi dengan perbandingan 1 : 3 menggunakan limbah sandblasting substitusi pasir dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dengan abu arang tempurung kelapa sebesar 5% substitusi semen. Paving block standar tanpa penggunaan limbah sandblasting dan abu arang tempurung kelapa digunakan sebagai kontrol pengujian. Hasil penelitian nilai kuat tekan paving block pada umur 28 hari berturut-turut sebesar 36,417 MPa, 37,500 MPa, 31,750 MPa, 28,250 MPa, 27,167 MPa dan 27,833 MPa. Penurunan kuat tekan terlihat variasi sandblasting lebih dari 25%. Hasil absorpsi masing-masing 7,766%, 7,431%, 4,819%, 4,476%, 3,430% dan 2,702%. Studi ini menunjukkan menggunakan substitusi dengan limbah industri dapat mengurangi ketergantungan pada bahan alam dan biaya.

Kata kunci: sandblasting, abu arang tempurung kelapa, kuat tekan, absorpsi

1. PENDAHULUAN

Sektor konstruksi infrastruktur sedang berkembang pesat, yang menyebabkan peningkatan penggunaan pasokan bahan alam yang ada. Sumber daya alam akan habis bersamaan dengan peningkatan signifikan dalam produksi limbah industri[1]. Alternatif bahan paving block ramah lingkungan diperlukan untuk mengurangi konsumsi sumber daya alam dengan memanfaatkan limbah industri. Pemanfaatan limbah diharapkan dapat menghasilkan manfaat ekonomi tanpa mengorbankan lingkungan. Dalam produksi campuran paving block, agregat halus menyumbang 50% hingga 80% dari volume total, yang mempengaruhi karakteristik dan kualitas paving block yang digunakan dalam produksinya. Persentase agregat halus yang dibutuhkan dalam campuran paving block menunjukkan bahwa penggantianannya sangat penting. Beberapa penelitian mengusulkan penggantian agregat halus dengan bahan seperti abu kerak boiler yang dihancurkan [2][3], zeolit [4][5], atau bottom ash [6]. Hasilnya bervariasi, meskipun semua bertujuan untuk mengurangi gangguan lingkungan.

Sandblasting diakui sebagai salah satu limbah yang dihasilkan dalam sektor produk industri dari *proses pengolahan treatment* dalam jumlah terbesar. Namun, sebuah studi yang dilakukan oleh [7] menyimpulkan bahwa limbah sandblasting, meskipun dianggap sebagai limbah, dapat dikembangkan menjadi material agregat halus yang ramah lingkungan, selain dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kinerja beton. Karena adanya oksida besi dan silikat dalam sandblasting, agregat halus yang biasanya digunakan dalam paving block dapat digantikan dengan sandblasting, sehingga memenuhi persyaratan paving konvensional. [8] studi tentang sandblasting menunjukkan bahwa limbah ini dapat menurunkan penyerapan air. [9] mendukung hal ini dengan menunjukkan bahwa penggantian sandblasting sebagai agregat halus dalam paving block tidak hanya meningkatkan kekuatan paving block tetapi juga menurunkan absorpsi.

Selain sebagai pengganti bahan alami seperti pasir, memanfaatkan penggunaan limbah dari lingkungan dan industri sebagai substitusi semen untuk beton maupun *paving block* antara lain abu kelapa sawit [10], *fly ash* [11], abu tongkol jagung [12]. Limbah organik yang berpotensi digunakan sebagai bahan substitusi semen dalam pembuatan campuran beton dan *paving block* yaitu limbah dari buah kelapa merupakan salah satu yang menjanjikan. Abu arang tempurung kelapa memiliki karakteristik kimia yang memungkinkan untuk digunakan sebagai bahan substitusi sebagian semen, karena mengandung senyawa silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) dalam jumlah signifikan [13]. Senyawa silika bersifat pozzolanik, yaitu senyawa utama yang berperan dalam pembentukan kekuatan beton atau *paving block* [14]. Dengan karakteristik tersebut, abu arang tempurung kelapa tidak hanya mampu meningkatkan kualitas *paving block*, tetapi juga menjadi solusi dalam pemanfaatan limbah organik secara lebih bernilai guna dan ekonomis.

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah sandblasting guna mengurangi dan mendaur ulang limbah sandblasting. Dengan menguji sejauh mana pengaruh 5% abu arang tempurung kelapa sebagai substitusi semen dan limbah sandblasting sebagai pengganti pasir dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dari segi uji kuat tekan dan absorpsi dilakukan untuk memastikan tercapainya tujuan penelitian. Tinjauan dari segi ekonomis yang pengadaanya cukup mudah dan murah sehingga menguntungkan dapat mengurangi biaya material dan mengurangi material alam dalam pembuatan paving block.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Proporsi Paving Block

Penelitian ini menggunakan campuran material limbah sand blasting sebagai substitusi agregat halus dan substitusi abu arang tempurung kelapa dari berat semen. Design campuran menggunakan perbandingan satu semen : tiga agregat halus dengan variasi perbandingan 0%, 25%, 50%, 75% dan

100% bahan sand blasting sebagai substitusi pasir dan abu arang tempurung kelapa substitusi semen 5%. Variasi pengujian terdiri dari paving block standar V0 dan campuran V1, V2, V3, V4 dan V5. Ukuran Benda uji paving block 20 cm x 10 cm x 6 cm. Sebanyak 72 sampel digunakan untuk menguji kekuatan tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari, serta untuk menguji penyerapan air pada umur 28 hari. [15]. Kebutuhan berat material untuk desain campuran dihitung dari berat satuan material sebanyak jumlah benda uji. Tabel 1 menunjukkan jumlah kebutuhan berat material yang diperlukan dan tabel 2 jumlah sampel benda uji yang digunakan untuk penelitian ini.

Table 1. Kebutuhan Jumlah Total Material

No	Variation	Komposisi Material				
		Semen (kg)	Pasir (kg)	Air (kg)	Sanblasting (kg)	Abu Arang Tempurung Kelapa (kg)
1	VN Paving Block Standar	9.000	14.100	2.700	0.000	0.000
2	Variasi 1 (LS0% + AATK 5%)	8.690	14.100	2.700	0.000	0.310
3	Variasi 2 (LS 25%+ AATK 5%)	8.690	10.731	2.700	3.370	0.310
4	Variasi 3 (LS 50%+ AATK 5 %)	8.690	6.274	2.700	6.739	0.310
5	Variasi 4 (LS 75% + AATK 5%)	8.690	3.123	2.700	10.109	0.310
6	Variasi 5 (LS 100% + AATK 5%)	8.690	0.000	2.700	13.478	0.310

Tabel 1. Jumlah Benda Uji

Variasi sampel	Umur Sampel (Hari)			Jumlah Sampel
	7	14	28	
VN	3	3	6	12
V1	3	3	6	12
V2	3	3	6	12
V3	3	3	6	12
V4	3	3	6	12
V5	3	3	6	12

2.2. Proses Penelitian

Penelitian terdiri dari beberapa tahap, antara lain persiapan, pengujian bahan, pembuatan benda uji (mix design), pengujian benda uji, analisis data, biaya dan kesimpulan. Tahap persiapan berupa pengumpulan data dan dasar teori tentang material yang digunakan sebagai campuran paving block serta pengumpulan data dan persiapan alat pengujian. Tahapan pengujian bahan persiapan meliputi analisis gradasi agregat halus, berat satuan agregat, pengujian berat jenis dan penyerapan, uji kadar air agregat, kadar lumpur, kadar organik dan berat jenis semen dan abu arang tempurung kelapa. Tahapan pembuatan benda uji meliputi penentuan desain paving blok, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji. Kuat tekan benda uji paving block tahap pengujiannya pada umur 7, 14, 28 hari dan pengujian absorpsi di umur 28 hari. Tahap analisis, berdasarkan data yang diperoleh dari

hasil pengujian untuk mendapatkan kesimpulan yang berkaitan dengan tujuan penelitian yang dilanjutkan analisa biaya pada hasil kuat tekan yang maksimal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Hasil Pengujian

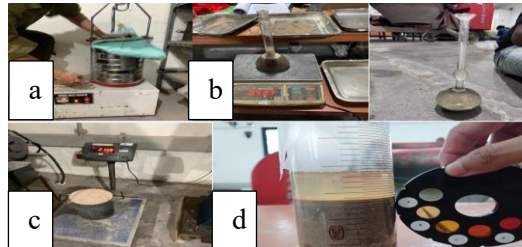
Uji fisik dilakukan pada bahan-bahan yang digunakan dalam campuran paving block untuk memastikan bahwabahan tersebut memenuhi spesifikasinya. Berikut gambar-gambar yang mengilustrasikan persiapan bahan, uji fisik, uji kekuatan tekan, dan uji penyerapan air paving block dilakukan di laboratorium.



a. Pasir. b. Sandblasting. c. Tempurung kelapa. d. Abu tempurung kelapa

Gambar 1. Bahan Persiapan

Gambar 1 menunjukkan berbagai bahan yang digunakan dalam campuran paving block, termasuk agregat halus, sandblasting dan abu arang tempurung kelapa.



Gambar 2. Uji Fisik Material Secara Berurut Dari kiri ke kanan :

a. Gradasi agregat, b. Berat jenis pasir dan semen, c. Berat satuan, d. Kadar organis

Uji fisik pada material untuk mengetahui sifat agregat halus dan limbah sandblasting, pengujian terdiri dari analisis gradasi agregat halus, pemeriksaan kandungan lumpur, uji kadar air agregat halus, berat satuan agregat, berat jenis agregat dan penyerapan, berta jenis semen dan abu arang tempurung kelapa. Agregat halus digunakan pasir untuk paving block standar dan sandblasting untuk variasi lainnya. Hasil pengujian material di laboratorium ditunjukkan pada Tabel 3. Sedangkan hasil berat jenis semen dan abu arang tempurung kelapa masing-masing sebesar 3.125 gr/ml dan 2.155 gr/ml yang lebih kecil.

Tabel 3. Hasil Pengujian Material di Laboratorium

No.	Keterangan	Pasir	Sandblasting	Metode Uji	Syarat
1	Berat Jenis, (SSD)	2.639	2.347	ASTM C 128	1.6 – 3.2
2	Modulus Kehalusan	2.018	1.720	ASTM C 136	2.3 – 3.1
3	Berat Satuan, (kg/m ³)	1,632	1,560	ASTM C 29	1,400 – 1,900

4	Kadar Lumpur, (%)	4.734	2.305	ASTM C 117	1 – 5%
	Kadar organis, (%)	1	3	ASTM C40	1 – 5%
5	Penyerapan Air, (%)	2.794	6.641	ASTM C 127	1 - 4%
6	Kadar Air, (%)	0.603	1.010	ASTM C 566	3 – 5%

Hasil pengujian bahan dibandingkan dengan American Standard for Testing and Materials (ASTM). Berdasarkan Tabel di atas, limbah sandblasting diketahui bahwa modulus kehalusan, berat volume padat dan berat jenis permukaan, kadar lumpur, dan kadar organik telah memenuhi beberapa standar ASTM. Nilai kadar dan penyerapan air limbah sandblasting yang lebih besar dari pasir alami. Limbah sandblasting dengan memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi, menunjukkan bahwa campuran bahan memerlukan lebih banyak air.



Gambar 3. Mix Design Paving Block Variasi

a. Pencampuran bahan, b. Pencetakan paving block, c. Sampel paving block

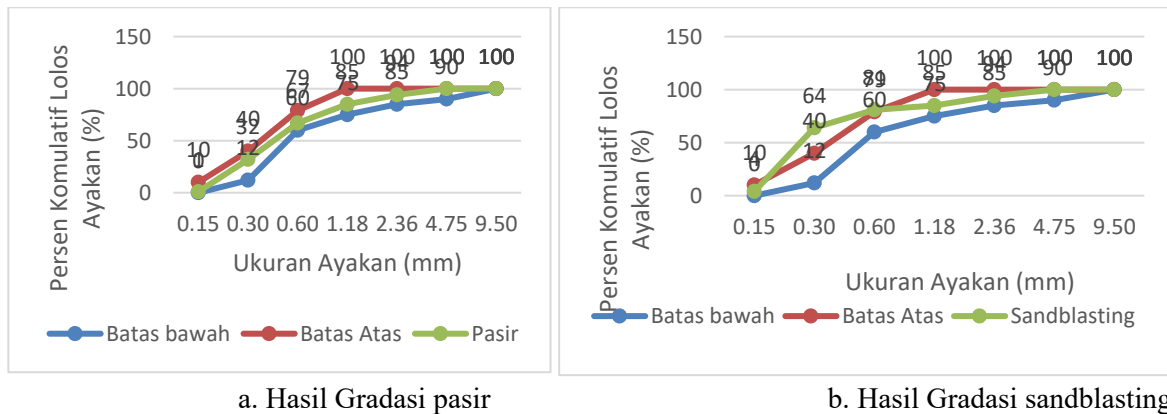
Gambar 3 menunjukkan mix design dan pembuatan sampel variasi paving block berdasarkan proporsi perbandingan yang ditentukan. Gambar 4 mengilustrasikan uji kuat tekan dan uji absorpsi paving block semua sampel.



Gambar 4. Uji Kuat Tekan dan Absorpsi Paving Block

a. Pengujian kuat tekan, b. Penimbangan sampel, c. Pengeringan di oven

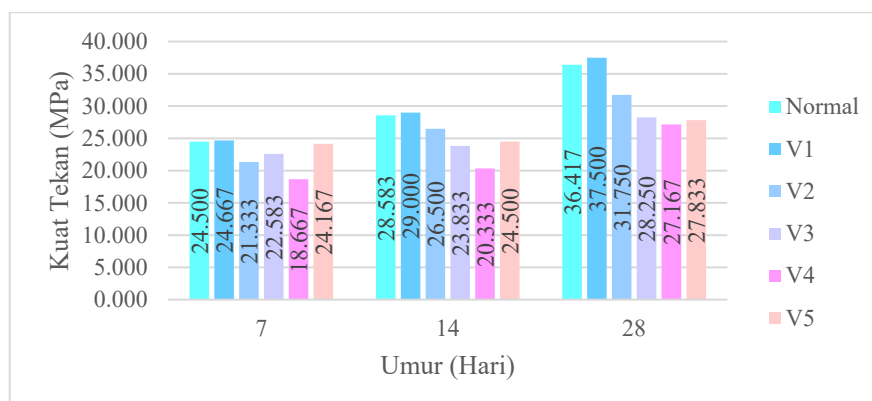
Uji analisis gradasi agregat halus meliputi pasir dan sandblasting untuk menunjukkan variasi bentuk ukuran kehalusan agregat. Hasil uji gradasi agregat halus pasir dan sandblasting ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. Analisis Gradasi Pasir dan Sandblasting

Menurut uji gradasi pasir dan sandblasting berada pada zona 3 agak halus dengan modulus kehalusan pasir 2,018 dan sandblasting 1,720. Angka ini telah memenuhi standar yang ditetapkan untuk agregat halus yaitu diantara 2,3 sampai dengan 3,1. Khusus ukuran 1.18 pada sandblasting melebihi batas atas.

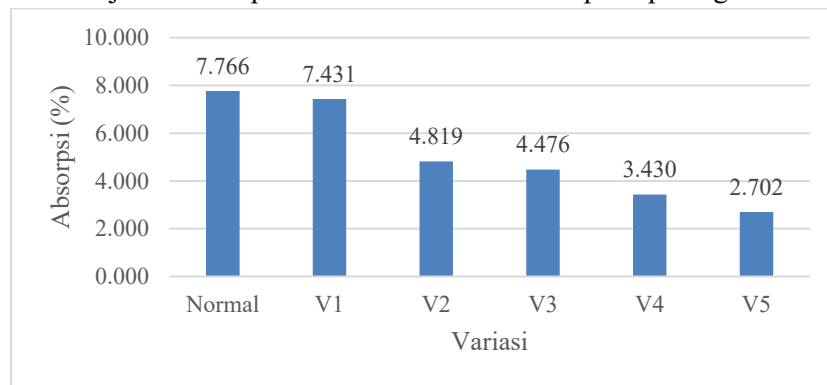
Semua variasi paving block diuji kekuatan tekan pada umur 7, 14 dan 28 hari. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 7. Dengan hasil masing-masing variasi yaitu 36,417 MPa; 37,500 MPa; 31,750 MPa; 28,250 MPa; 27,167 dan 27,833 MPa. Substitusi abu arang tempurung kelapa 5% meningkatkan kuat tekan paving block ditunjukkan pada variasi 1. Namun seiring meningkatnya substitusi limbah sandblasting menyebabkan penurunan kuat tekan paving block, yang ditunjukkan pada variasi V2 sampai V5. Hal ini karena penggabungan abu arang tempurung kelapa dan limbah sandblasting yang sama-sama mengandung SiO_2 menjadi tinggi membentuk kristalin (kuarsa) dan tidak reaktif, sehingga SiO_2 yang ada pada abu arang tempurung kelapa dan limbah sandblasting hanya berfungsi sebagai pengisi yang menggantikan semen dan SiO_2 yang tidak reaktif berakibat pada kuat tekan paving block. Substitusi limbah sandblasting lebih dari 25% dan 5% abu arang tempurung mengalami penurunan kuat tekan kurang dari paving block standar.



Gambar 7. Kuat Tekan Paving Block Pada Umur Uji Semua Variasi

Dapat di lihat pada Gambar 8 hasil uji absorpsi paving block. Dengan hasil masing-masing variasi yaitu 7,766%; 7,431%; 4,819%; 4,476%; 3,430% dan 2,702%. Substitusi abu arang tempurung

kelapa 5% menurunkan absorpsi paving block ditunjukkan pada variasi 1 di bandingkan paving block standar VN, karena memiliki Subtitusi abu arang tempurung kelapa 5% memiliki pori lebih kecil dan mampu mengisi sebagian rongga dalam campuran sebagai filer. Namun ketika peningkatan subtitusi limbah sandblasting menyebabkan penurunan absorpsi paving block secara signifikan, yang ditunjukkan pada variasi V2 sampai V5, karena limbah sandblasting memiliki tekstur tajam dan padat, sehingga mampu mengisi celah antar partikel lebih padat dan mengurangi pori-pori. Hal ini membuat struktur campuran menjadi lebih rapat dan menurunkan kemampuan paving block dalam absorpsi.



Gambar 8. Absorpsi Paving Block Semua Variasi

3.2. Analisis Biaya Pembuatan Paving Block

Harga satuan bahan bangunan dan biaya angkut limbah sandblasting maupun abu arang tempurung kelapa ditunjukkan pada tabel 4. Untuk analisa biaya material pembuatan per satu paving block di tampilkan pada tabel 5. Analisa biaya dilakukan pada variasi yang menghasilkan kuat tekan optimum dan membandingkan dengan paving blok standar.

Tabel 4. Harga Satuan Material Dan Biaya Angkut Limbah

No	Nama Bahan	Satuan	Harga
1	Semen	kg	Rp. 1.475
2	Pasir Rangkas	kg	Rp. 235
3	Biaya Angkut Limbah	kg	Rp. 200

Tabel 5. Biaya Kebutuhan Material Pembuatan Paving Block per Satu Paving

No	Nama Bahan	Koefisien Material (A)	Harga Satuan (B)	Jumlah (C = AxB)
1	Semen	0,750 kg	Rp. 1.475	Rp. 1.106,250
2	Agregat Halus	1,175 kg	Rp. 235	Rp. 276.125
Paving Block Normal				Rp. 1.382,375
1	Semen	0,724 kg	Rp.1.475	Rp. 1.067,900
2	Pasir	1,175 kg	Rp. 235	Rp. 276,125
3	Abu Arang TK	0,026 kg	Rp. 200	Rp. 5,200
Paving Block Variasi 1 (LS 20% + AKS 0%)				Rp. 1.349,225
1	Semen	0,724 kg	Rp. 1.475	Rp. 1.067,900
2	Agregat Halus	0,894 kg	Rp. 235	Rp. 210,090
3	Sandblasting	0,281 kg	Rp. 200	Rp. 52,200

4	Abu Arang TK	0,026 kg	Rp 200	Rp. 5,200
Paving Block Variasi 2 (LS 20% + AKS 5%)				Rp. 1.339,39

Biaya paving block V1 yang menggunakan 5% abu arang tempurung kelapa lebih rendah 2,398% dari paving block standar. Sedangkan pada V2 penggunaan limbah sandblasting sebagai substitusi pasir biaya lebih rendah 3,109%. Penggunaan material limbah ini dapat menekan biaya kebutuhan material.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan kinerja limbah sandblasting dan abu arang tempurung kelapa sebagai pengganti pasir dan semen pada kualitas paving block dalam hal sifat mekanisnya. Evaluasi kinerja paving block meliputi beberapa uji, seperti uji kekuatan tekan dan penyerapan air pada sampel paving block. Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan paving block V1 yang mengandung 0% limbah sandblasting dan 5% abu arang tempurung kelapa menghasilkan kekuatan tekan paving block lebih tinggi dan penyerapan air lebih rendah dibandingkan dari paving block standar. Kuat tekan V1 sebesar 37.500 MPa dan daya serap 7.431% sedangkan kuat tekan paving block standar sebesar 36.417 MPa dan daya serap 7.766%. Penurunan kuat tekan terlihat pada variasi peningkatan substitusi limbah sandblasting, substitusi limbah sandblasting terbaik adalah kurang dari 25%. Jika jumlahnya lebih banyak, maka ikatan semen-silika akan menjadi getas, begitu pula ikatan silika sandblasting. Oleh karena itu, studi ini menunjukkan bahwa penggantian agregat halus dengan limbah industri dapat mengurangi ketergantungan pada bahan alam. Cara termurah dan mudah untuk mendapatkan pengganti pasir alami adalah mensubstitusi dengan sandblasting dan substitusi abu arang tempurung kelapa sehingga dapat menekan kebutuhan bahan baku dan biaya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi kepada kepala Laboratorium Beton Institut Teknologi PLN serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muttashar, H. L., Ali, N.B., Ariffin, M. A. M., & Hussin, M. W. (2018). Microstructures and physical properties of waste garnets as a promising construction materials. *Case studies in construction materials*, 8, 87-96
- [2] T Yuhanah , R Hidayawanti, D Mayasari and B Wicaksono (2020) The effect of parsial granulated blast furnace slag (GBFS) substitution and ashes of the boiler crust of the palm oil shells on paving block. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 930 (2020) 012026 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/930/1/012026
- [3] Tri Yuhanah, Devita Mayasari (2024) : Penambahan Limbah Kerak Boiler Kasar dan Halus pada Beton sebagai Substitusi Pasir dan Bahan Tambah Semen. *Jurnal Forum Mekanika*, Vol.13, No 1, Mei 2024, P-ISSN : 2356-1491, E-ISSN.2655-8211. DOI : <https://doi.org/10.33322/forummekanika.v13i1.2392>
- [4] P. Ramu, S Manikandan (2017) : Experimental Study on Concrete using Zeolite Sand and Zeolite Powder as Partly Replacement for Fine Aggregate and Cement. *Internasional Journal of Engineering Research & Teknologi (IJERT)* ISSN : 2278-0181. ICONNECT-2017 Conference Proceedings

- [5] Fahrizal Zulkarnain, Amar Azhari (2024). Batubara Pengaruh Penggunaan Zeolit dan Serat Agave Sisalana Terhadap Kuat Tekan Dengan Metode Self Compacting Concrete (SCC). *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil* Volume 30, No. 1, 2024, 135-143.
- [6] Navdeep Singh, Mithulraj M., Shubham Arya (2018). Influence of coal bottom ash as fine aggregates replacement on various properties of concretes: A review. *Resources, Conservation & Recycling* 138 (2018) 257-271
- [7] Qomariah, Taufiq Rochman [2023] On the Review of Utilization of Sandblasting Waste in Concrete: Cracks Propagation and Sem Results *Civil Engineering and Architecture* 11(1): 101-113, 2023, DOI: 10.13189/cea.2023.110109
- [8] Nor Hasanah Abdul Shukor Lim, etc [2020]. Properties of Mortar Incorporating Spent Garnet as Fine Aggregates Replacement. *Internasional Journal Of Integrated Engineering* Vol. 12 No. 9 (2020) 96-102 Journal homepage: <http://penerbit.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie> ISSN : 2229-838X e-ISSN : 2600-7916.
- [9] Wahyuniarsih Sutrisno, etc [2024]. Properties of concrete mortar incorporating recycle pulverized sandblasting waste as additives. *Heliyon* 10 (2024) e25623. journal homepage: www.cell.com/heliyon
- [10] Alsubari, B., Shafigh, P., & Jumaat, M. Z. (2016). Utilization of high-volume treated palm oil fuel ash to produce sustainable self-compacting concrete. *Journal of Cleaner Production*, vol 137, 982. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.133>
- [11] Mayasari, D., Yuhanah, ; Tri, & Iduwin, T. (2023). Kontribusi Fly Ash Dan Zeolit Terhadap Absorpsi Dan Kuat Tekan Porous Paving Block. 12(2). <https://doi.org/10.33322/Forummekanika.V12i2.2174>
- [12] Afirul, R. A., & Yuhanah, ; Tri. (2022). Pemanfaatan Limbah Abu Tongkol Jagung Dan Bottom Ash Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Paving Block. 11(2). <https://doi.org/10.33322/Forummekanika.V11i2.1834>
- [13] Satheesh, M., Pugazhvadivu, M., Prabhu, B., Gunasegaran, V., & Manikandan, A. (2019). Synthesis And Characterization Of Coconut Shell Ash. *Journal Of Nanoscience And Nanotechnology*, 19(7), 4123–4128. <https://doi.org/10.1166/Jnn.2019.16299>
- [14] Ihfansyah, K. N., & Teguh, M. (2024). Effect Of Coconut Shell Ash Substitution On Compressive Strength, Wear Resistance And Water Absorption In Paving Blocks. 29(1). <https://journal.uir.ac.id/teknisia/article/view/36067>
- [15] Badan Standarisasi Nasional. (1996). SNI 03-0691-1996. Bata Beton (Paving Block).BSN. <https://bsn.go.id>