



Penggunaan Limbah Tongkol Jagung Sebagai Bahan Tambah pada Pembuatan Bata Ringan

Ahmad Alfanzuhri^{1*}, Adnan², Muh. Jabir M³

¹⁻³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Parepare, Indonesia

*Penulis Korespondensi: alfanzuhry22@gmail.com

Abstract. *Abundant corn cob waste in Malua District, Enrekang Regency, holds potential for use as an additive in lightweight brick production, offering a way to reduce cement consumption while enhancing the utilization of agricultural waste. This study aimed to determine the effect of adding corn cob charcoal on the water absorption and compressive strength of lightweight bricks. An experimental method was employed at the Structures and Materials Laboratory, utilizing corn cob charcoal addition levels of 2.5%, 5.0%, and 7.5%. Testing was conducted at curing ages of 7, 14, and 28 days. The parameters tested included weight, water absorption, and compressive strength. The results indicate that the addition of corn cob charcoal influenced the water absorption of lightweight bricks at 28 days; specifically, higher percentages of corn cob charcoal addition resulted in higher water absorption values. The lowest water absorption value (14.50%) was observed at the 2.5% addition level, increasing to 17.48% at the 5.0% level, and rising further to 26.24% at the 7.5% level. Regarding compressive strength at 28 days, higher percentages of corn cob charcoal addition resulted in lower compressive strength values. The highest compressive strength (1.00 MPa) was obtained at the 2.5% addition level, decreasing to 0.875 MPa at the 5.0% level, and dropping further to 0.625 MPa at the 7.5% level.*

Keywords: *Compressive Strength; Corn Cob; Lightweight Brick; Substitution; Water Absorption.*

Abstrak. Limbah tongkol jagung yang melimpah di Kecamatan Malua, Kabupaten Enrekang, berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambah dalam pembuatan bata ringan sebagai upaya mengurangi penggunaan semen sekaligus meningkatkan pemanfaatan limbah pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan arang tongkol jagung terhadap daya serap air dan kuat tekan bata ringan. Penelitian menggunakan metode eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan dengan variasi penambahan arang tongkol jagung sebesar 2,5%, 5,0%, dan 7,5%. Pengujian dilakukan pada umur perawatan 7, 14, dan 28 hari. Parameter yang diuji meliputi berat, daya serap air, dan kuat tekan bata ringan. Hasil menunjukkan bahwa penambahan arang tongkol jagung berpengaruh terhadap daya serap air bata ringan pada umur 28 hari, yaitu semakin besar persentase penambahan tongkol jagung yang digunakan, semakin tinggi nilai daya serap air yang dihasilkan. Nilai daya serap terendah diperoleh pada variasi penambahan tongkol jagung 2,5% sebesar 14,50%, kemudian meningkat pada variasi 5,0% menjadi 17,48%, dan meningkat kembali pada variasi 7,5% menjadi 26,24%. Pada kuat tekan bata ringan pada umur 28 hari, yaitu semakin besar persentase penambahan tongkol jagung yang digunakan, semakin rendah nilai kuat tekan yang dihasilkan. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi penambahan tongkol jagung 2,5% sebesar 1,00 MPa, kemudian menurun pada variasi 5,0% menjadi 0,875 MPa, dan menurun kembali pada variasi 7,5% menjadi 0,625 MPa.

Kata kunci: Bata Ringan; Bonggol Jagung; Daya Serap; Kuat Tekan; Substitusi.

1. LATAR BELAKANG

Pertumbuhan penduduk dan kebutuhan infrastruktur di Indonesia mendorong pengembangan material konstruksi yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan. Salah satunya adalah bata ringan, yang memiliki bobot lebih rendah dibandingkan bata konvensional sehingga mempermudah konstruksi dan mengurangi beban struktur. Bata ringan terdiri atas AAC dan CLC, dengan target densitas di bawah 1.000 kg/m³ dan kuat tekan minimal 3 MPa untuk konstruksi standar (Don R. G. Kabo dkk., 2026).

Semen Portland sebagai bahan pengikat utama bata ringan memiliki dampak lingkungan yang besar karena produksinya menghasilkan sekitar 0,8–0,9 ton CO₂ per ton semen dan

menyumbang sekitar 7–8% emisi CO₂ global. Kondisi tersebut mendorong pemanfaatan bahan pozzolan dari limbah pertanian untuk mengurangi penggunaan semen dan meningkatkan kinerja material (Okeke dkk., 2024).

Indonesia menghasilkan jagung lebih dari 20 juta ton per tahun, dengan tongkol jagung mencapai sekitar 20% dari residu tanaman jagung (Khan dkk., 2022). Limbah tersebut masih banyak dibakar atau dibiarkan membusuk sehingga menimbulkan pencemaran. Padahal, pembakaran tongkol jagung pada suhu 400–700°C menghasilkan arang tongkol jagung yang kaya silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃). Kandungan tersebut memiliki sifat pozzolan dan dapat bereaksi dengan Ca(OH)₂ membentuk C-S-H yang berpotensi meningkatkan kekuatan material (Okeke dkk., 2024).

Penelitian menunjukkan bahwa berpotensi digunakan sebagai bahan tambah semen. (Stel'makh dkk., 2024) melaporkan bahwa dapat menggantikan semen hingga 15–16%, dengan kinerja mekanik optimal pada 8–10%. Ouedraogo dkk. (2024) juga menunjukkan bahwa dengan pra-perlakuan termal 600°C dapat menghasilkan beton berkekuatan tinggi dan meningkatkan durabilitas. Sementara itu, (Widodo dkk., 2024) menemukan bahwa penambahan 8% pada bata ringan CLC menurunkan densitas, tetapi kuat tekan masih rendah, yaitu 0,25–0,29 MPa, serta meningkatkan penyerapan air. (Alwi dkk., 2026) melaporkan bahwa penggunaan 6% abu bonggol jagung meningkatkan kuat tekan beton hingga 34,4%.

Penggunaan 8–10% meningkatkan kekuatan tekan 6,06–7,14% dan menurunkan penyerapan air sebesar 10,31% (Stel'makh dkk., 2024). Kadar substitusi optimum sekitar 6,86%, meskipun hasil penelitian bervariasi bergantung pada komposisi dan metode yang digunakan (Okeke dkk., 2024). Kombinasi 10% dan 1% serat kulit jagung meningkatkan kuat tekan beton ringan sebesar 7,54% (Hasan dkk., 2026), sedangkan penelitian lain menemukan kadar optimum 7,5% pada beton M20 dengan kuat tekan yang sebanding dengan beton normal (Solomon Oyebisi dkk., 2022).

Meskipun demikian, penelitian arang tongkol jagung yang secara khusus diterapkan pada bata ringan masih terbatas. Belum terdapat konsensus mengenai kadar optimum yang memberikan keseimbangan antara kuat tekan, daya serap air, dan densitas. Selain itu, penelitian berbasis material tongkol jagung lokal Indonesia masih minim karena karakteristik arang tongkol jagung dipengaruhi varietas tanaman, kondisi tanah, dan metode pembakaran (Ouedraogo dkk., 2024). Kajian mengenai pengaruh arang tongkol jagung terhadap kuat tekan dan daya serap air bata ringan secara terpadu juga masih terbatas di Indonesia.

Berdasarkan kondisi tersebut, pemanfaatan arang tongkol jagung sebagai bahan tambah semen pada bata ringan berpotensi memberikan manfaat lingkungan, teknis, dan ekonomis,

melalui pengurangan limbah pertanian, penggunaan semen, emisi CO₂, serta biaya produksi (Yang dkk., 2025). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi kadar abu tongkol jagung terhadap kuat tekan dan daya serap air bata ringan untuk memperoleh komposisi campuran yang optimal, sekaligus mendukung pengembangan material bangunan ramah lingkungan berbasis sumber daya lokal.

2. KAJIAN TEORITIS

Bata ringan

Bata ringan atau sering disebut sebagai bata hebel, adalah jenis material bangunan yang terbuat dari campuran bahan-bahan seperti pasir silika, semen, kapur, air, dan bahan pengembang (misalnya, bubuk aluminium) yang menciptakan gelembung udara dalam campuran tersebut, sehingga menghasilkan bata yang lebih ringan dibandingkan dengan bata konvensional (M. Shaju, 2023). Proses pembuatan bata ringan ini melibatkan reaksi kimia untuk menghasilkan udara yang terperangkap, yang membuat material ini memiliki sifat ringan, insulasi termal yang baik, dan ketahanan terhadap api (Bakiroglu & Yaras, 2025).

Tongkol Jagung

Tongkol jagung merupakan bagian jagung yang tersisa setelah jagung dikonsumsi. Tongkol jagung juga merupakan salah satu limbah pertanian di Indonesia yang produksinya cukup tinggi berkorelasi dengan jumlah limbah yang dihasilkan. Jagung mengandung kurang lebih 30% tongkol jagung dan sisanya adalah biji dan kulit. Tongkol jagung memiliki potensi untuk meningkatkan mutu beton karena kandungan silikanya yang cukup tinggi, yaitu sebesar 66,38% (Selvan, 2021).

Kuat Tekan

Nilai kekuatan, mutu, dan daya tahan (*durability*) beton tergantung pada beberapa faktor, di antaranya adalah perbandingan campuran, mutu bahan penyusun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, serta temperatur dan kondisi perawatan yang diawasi (Jaramillo dkk., 2025). Faktor-faktor tersebut akan mempengaruhi beton dalam hal kelecakan (*workability*), konsistensi pengerjaan bata ringan, ketahanan terhadap kondisi khusus (seperti kedap air, korosif, dan lainnya), serta kemampuannya untuk memenuhi uji kuat yang direncanakan (Adnan dkk., 2024). Secara matematis, kuat tekan beton ringan dapat dihitung menggunakan rumus yang ditetapkan dalam (SNI 1974-2011), yang hampir serupa dengan peraturan ASTM C796. Rumus tersebut ditunjukkan dalam Persamaan (1).

$$F_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

F_c = Kuat Tekan Beton (kg/cm^2)

P = Beban yang bekerja (kg)

A = Luas penampang benda (cm^2)

Daya Serap

Pengukuran daya serap air merupakan persentase perbandingan antara selisih massa basah dengan massa kering. Pengujian daya serap air ini bertujuan untuk menentukan besarnya persentase air yang terserap oleh benda uji yang direndam selama 7, 14 dan 28 hari (Jabir dkk., 2023), kemudian dianalisis menggunakan Persamaan (2) menurut (ASTM C796-91.) sebagai berikut:

$$W_A = \frac{W_b - W_k}{W_k} \times 100 \% \quad (2)$$

Keterangan:

W_A = daya serap air (%)

W_b = berat sampel setelah direndam (kg),

W_k = berat sampel sebelum direndam (kg).

3. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif, yaitu metode yang melibatkan penggunaan angka mulai dari pengumpulan data hingga penyajian hasilnya, yang biasanya disertai gambar, tabel, atau grafik. Data hasil penelitian kemudian dianalisis sesuai dengan prosedur pengujian laboratorium menggunakan metode eksperimental.

Teknik pengumpulan data menggunakan metode kuantitatif melalui pengujian di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare. Data meliputi data primer berupa karakteristik agregat halus, berat jenis abu bonggol jagung, serta kuat tekan dan penyerapan air bata ringan, dan data sekunder yang diperoleh dari buku, laporan, peraturan, dokumen, dan literatur.

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian setiap variasi campuran melalui tabel dan grafik untuk mengetahui pengaruh penambahan abu tongkol jagung terhadap sifat bata ringan. Pembuatan sampel diawali dengan pengumpulan dan pembakaran tongkol jagung selama 2–4 jam hingga menjadi abu, kemudian abu dicampurkan dengan pasir, semen, air, dan *foaming agent* hingga homogen. Campuran dicetak pada cetakan berukuran $60 \times 10 \times$

20 cm, didiamkan selama 24 jam, dipotong menjadi benda uji berukuran $10 \times 10 \times 10$ cm, dan dirawat selama 28 hari. Setelah perawatan, dilakukan pengujian penyerapan air dengan menimbang massa basah dan massa kering, sedangkan pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan mesin uji tekan hingga benda uji mengalami kerusakan. Nilai penyerapan air dan kuat tekan dihitung sesuai rumus pada persamaan 1 dan 2.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Material

Pengujian agregat berdasarkan pada SNI dilakukan terhadap agregat halus. Hasil pengujian agregat halus dan arang tongkol jagung, yaitu sebagai berikut.

Tabel 1. Rekapitulasi Pengujian Arang Tongkol Jagung.

Karakteristik Agregat	Interval	Hasil
Berat volume		
a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	0,22
b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	0,28

Pada Tabel 1, hasil pengujian berat volume arang bonggol jagung menunjukkan bahwa pada kondisi lepas diperoleh nilai sebesar 0,22 kg/liter, sedangkan pada kondisi padat diperoleh nilai sebesar 0,28 kg/liter, dengan standar interval yang digunakan sebagai acuan yaitu 1,4 - 1,9 kg/liter untuk kedua kondisi tersebut.

Tabel 2. Rekapitulasi Pengujian Agregat Halus Pasir.

Karakteristik Agregat	Interval	Hasil
Kadar lumpur	Maks 5%	3,14%
Kadar organik	< No. 3	1%
Kadar air	2% - 5%	3,08%
Berat volume		
a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1,41
b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1,64
Absorpsi	0,2% - 2%	1,77%
Berat jenis spesifik		
a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,76
b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,63
c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,68
Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	2,96

Pada Tabel 2, menunjukkan bahwa agregat halus memenuhi semua spesifikasi yang disyaratkan untuk digunakan sebagai material campuran bata ringan. Dengan karakteristik tersebut, agregat halus dapat digunakan dengan optimal dalam pembuatan bata ringan yang berkualitas. Ketika tidak memenuhi sesuai yang disyaratkan, melakukan pencucian material.

Mix Design Bata Ringan

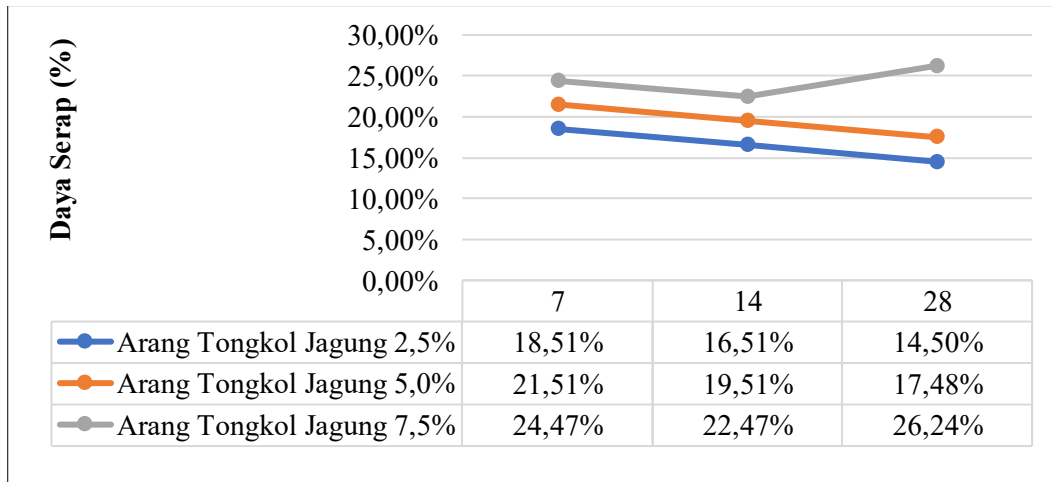
Tabel 3. Kebutuhan Material yang Diperlukan Setiap Satu Sampel.

Bahan	Arang Bonggol Jagung 2,5% (kg)	Arang Bonggol Jagung 5% (kg)	Arang Bonggol Jagung 7,5% (kg)
Semen	4,800	4,800	4,800
Pasir	9,600	9,600	9,600
Bonggol Jagung	0,010	0,020	0,030

Air Untuk Pasta	4,320	4,320	4,320
Foam agent	0,002	0,002	0,002
Air Untuk Foam	0,062	0,062	0,062

Hasil Pengujian Daya Serap

Pengujian dilakukan pada bata ringan dengan variasi penambahan arang tongkol jagung sebesar 2,5%, 5,0%, dan 7,5% serta pada umur perawatan 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian daya serap bata ringan dapat dilihat sebagai berikut:

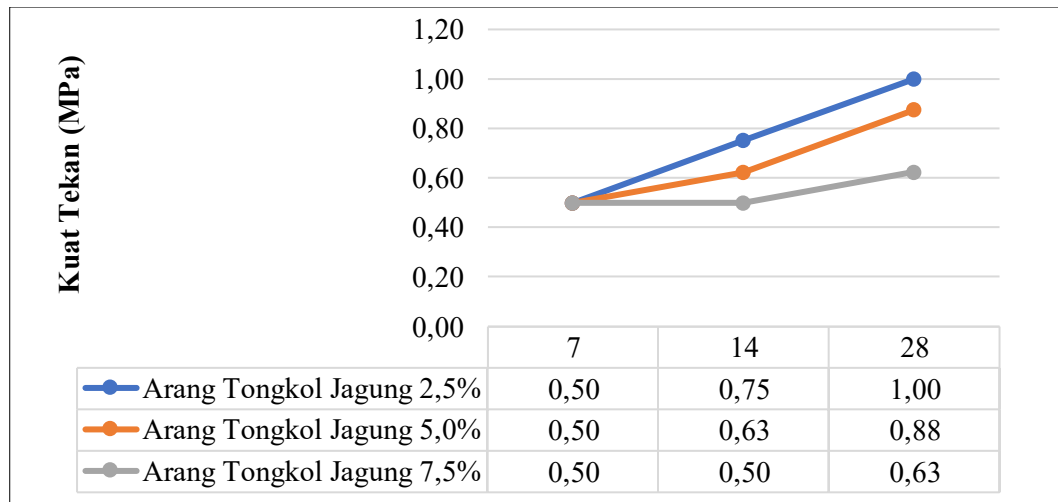


Gambar 1. Hubungan Variasi Arang Bonggol Jagung terhadap Daya Serap.

Pada Gambar 1 di atas menunjukkan bahwa nilai daya serap mortar cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya persentase variasi arang bonggol jagung yang ditambahkan. Pada variasi 2,5%, nilai daya serap sebesar 18,51% pada umur 7 hari menurun sebanyak 2,00% menjadi 16,51% pada umur 14 hari dan menurun sebanyak 2,01% menjadi 14,50% pada umur 28 hari. Pada variasi 5,0%, nilai daya serap sebesar 21,51% pada umur 7 hari menurun sebanyak 2,00% menjadi 19,51% pada umur 14 hari dan menurun sebanyak 2,03% menjadi 17,48% pada umur 28 hari. Pada variasi 7,5%, nilai daya serap sebesar 24,47% pada umur 7 hari menurun sebanyak 2,00% menjadi 22,47% pada umur 14 hari dan meningkat sebanyak 3,77% menjadi 26,24% pada umur 28 hari.

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari dengan menggunakan benda uji berbentuk kubus yang diperoleh dari pemotongan bata ringan. Terdiri dari 3 variasi campuran yaitu arang bonggol jagung 2,5%, 5,0%, dan 7,5%. Benda uji dipotong menjadi kubus berukuran $100 \times 100 \times 100$ mm, menyesuaikan dengan ketebalan bata ringan yang digunakan, yaitu 100 mm, hasil kuat tekan sebagai berikut:



Gambar 2. Hubungan Variasi Arang Bonggol Jagung terhadap Kuat Tekan.

Pada Gambar 2 di atas menunjukkan bahwa nilai kuat tekan mortar cenderung menurun seiring dengan bertambahnya persentase variasi arang bonggol jagung yang ditambahkan. Pada variasi 2,5%, nilai kuat tekan sebesar 0,50 MPa pada umur 7 hari meningkat sebanyak 0,25 MPa menjadi 0,75 MPa pada umur 14 hari dan meningkat sebanyak 0,25 MPa menjadi 1,00 MPa pada umur 28 hari. Pada variasi 5,0%, nilai kuat tekan sebesar 0,50 MPa pada umur 7 hari meningkat sebanyak 0,125 MPa menjadi 0,625 MPa pada umur 14 hari dan meningkat sebanyak 0,25 MPa menjadi 0,875 MPa pada umur 28 hari. Pada variasi 7,5%, nilai kuat tekan sebesar 0,50 MPa pada umur 7 hari tetap sebesar 0,50 MPa pada umur 14 hari dan meningkat sebanyak 0,125 MPa menjadi 0,625 MPa pada umur 28 hari.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan tongkol jagung berpengaruh terhadap kuat tekan dan daya serap air bata ringan pada umur 28 hari. Semakin besar persentase penambahan tongkol jagung, semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan. nilai 1,00 MPa, kemudian menurun menjadi 0.875 MPa pada variasi 5,0% dan 0.625 MPa pada variasi 7,5%. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan jumlah tongkol jagung menyebabkan berkurangnya kepadatan dan kekuatan bata ringan. Sebaliknya, daya serap air meningkat seiring bertambahnya persentase tongkol jagung, yaitu sebesar 14,50% pada variasi 2,5%, 17,48% pada 5,0%, dan 26,24% pada 7,5%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak tongkol jagung yang ditambahkan, semakin tinggi porositas bata ringan sehingga kemampuan menyerap air meningkat.

DAFTAR REFERENSI

- Adnan, A. A., Sanning, S., Jasman, J., & Salasiah A, S. A. (2024). Investigasi kuat tarik belah beton menggunakan pencampuran air laut mix disain f'c 30 Mpa. *Konstruksia*, 16(1), 94–101. <https://doi.org/10.24853/jk.16.1.94-101>
- Alwi, S., Dhiva, I. A., Megawati, Sudibyo, A., & Prihatin, K. (2026). Pengaruh Substitusi Abu Sekam Padi Pada Semen Dan Abu Bonggol Jagung Pada Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 31(1), 180–188. <https://doi.org/10.36728/jtsa.v31i1.5630>
- Bakiroglu, G., & Yaras, A. (2025). Utilization of drinking water treatment sludge and eggshells as clay substitute in porous brick manufacturing: Target zero waste. *Construction and Building Materials*, 495, 143708. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143708>
- Don R. G. Kabo, Tumpu, M., Denny B. Pinasang, Carter Kandou, Herman Tumengkol, & Hoong-Pin Lee. (2026). Enhancing The Performance and Sustainability of Lightweight Hebel Bricks Using Local Coco Fiber Additives: A Green Material Innovation for Circular Construction. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 12(1). <https://doi.org/10.22399/ijcesen.4490>
- Hasan, N. Md. S., Murshed, N. H. M. M., Al Noman, Md. A., Miah, M. J., Sobuz, Md. H. R., & Kabbo, Md. K. I. (2026). Performance of fiber reinforced low-carbon concrete: Role of corn cob ash and corn husk fiber. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 15(3), 786–806. <https://doi.org/10.1080/21650373.2025.2580424>
- Jabir, M., Hamsyah, & Syamsuddin, M. (2023). Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton K-200 Dan Subtitusi Serbuk Tempurung Kelapa Terhadap Beton Normal. *Jurnal Karajata Engineering*, 3(2), 107–110. <https://doi.org/10.31850/karajata.v3i2.2690>
- Jaramillo, H. Y., Vasco-Echeverri, O., López-Barrios, R., & García-León, R. A. (2025). Optimization of Bio-Brick Composition Using Agricultural Waste: Mechanical Properties and Sustainable Applications. *Sustainability*, 17(5), 1914. <https://doi.org/10.3390/su17051914>
- Khan, M., Shakeel, M., Khan, K., Akbar, S., & Khan, A. (2022). A Review on Fiber-Reinforced Foam Concrete. *The 12th International Civil Engineering Conference*, 13. <https://doi.org/10.3390/engproc2022022013>
- M. Shaju, P. (2023). Bio-based lightweight building blocks: A review. *I-Manager's Journal on Structural Engineering*, 11(4), 40. <https://doi.org/10.26634/jste.11.4.19806>
- Okeke, F., Ahmed, A., Canterbury Christ Church University, UK, Imam, A., Canterbury Christ Church University, UK, Hassanin, H., & Canterbury Christ Church University, UK. (2024). *Assessment Of Compressive Strength Performance Of Corn Cob Ash Blended Concrete: A Review*. 136–150. <https://doi.org/10.18552/2024/SCMT/606>
- Ouedraogo, A. K. A. H., Koteng, D. O., & Ambassah, N. (2024). Effect of Pretreated Corn Cob Ash on the Mechanical and Durability Characteristics of High-Strength Concrete. *International Journal of Civil Engineering*, 11(3), 125–138. <https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V11I3P111>
- Selvan, A. (2021). Experimental Study on Light Weight Concrete Block with Granulated Corn Cob. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9(2), 105–113. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.32985>

- Solomon Oyebisi, Festus Olutoge, Parthiban Kathirvel, Increase Oyaotuderekumor, David Lawanson, Joy Nwani, A. N. Ede, & Cyriaque Rodrigue Kaze. (2022). *Sustainability assessment of geopolymer concrete synthesized by slag and corncob ash*. <https://doi.org/10.60692/QJWTS-MRN47>
- Stel'makh, S. A., Beskopylny, A. N., Shcherban', E. M., Mavzolevskii, D. V., Drukarenko, S. P., Chernil'nik, A. A., Elshaeva, D. M., & Shilov, A. A. (2024). Influence of corn cob ash additive on the structure and properties of cement concrete. *Construction materials and products*, 7(3), 2–2. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2024-7-3-2>
- Widodo, S., Arianto, Y., & Kurniawan, N. (2024). Perencanaan Bata Ringan CLC Bonggol Jagung Sebagai Pengganti Sebagian Semen: Perencanaan Bata Ringan CLC Bonggol Jagung Sebagai Pengganti Sebagian Semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 1–9. <https://doi.org/10.56071/deteksi.v9i2.947>
- Yang, W., Ji, Y., Meng, X., Gong, S., & Zhou, S. (2025). Hybrid data-driven estimation for compressive strength of eco-friendly geopolymer concrete containing corncob ash. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, 14727978251385192. <https://doi.org/10.1177/14727978251385192>