



Tersedia Secara Online di
<http://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jurmateks/index>
<https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v6i1.4583>

JURMATEKS

Limbah Cangkang Telur Sebagai Inovasi Material Pengganti Agregat Halus Beton

Bunyamin^{1*}, H. Pramanda², N. Hendrifa³, Afdhal⁴

^{1*,2,4}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Iskandar Muda, Banda Aceh, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

Email : ^{1*}bunyamin@unida-aceh.ac.id, ²herupramanda@unida-aceh.ac.id,

³hendrifa1983@gmail.com, ⁴aduen.srn30@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history :

Artikel masuk : 02-05-2023

Artikel revisi : 23-05-2023

Artikel diterima : 24-06-2023

Keywords :

Calcium Carbonate, Compressive Strength of Concrete, Eggshell, Substitution, Waste.

Style IEEE dalam mensitasi artikel ini:

Bunyamin, H. Pramanda, N. Hendrifa and Afdhal, "Limbah Cangkang Telur Sebagai Inovasi Material Pengganti Agregat Halus Beton," *Jurmateks*, vol.6, no.1, 2023, pp. 17-30 doi: 10.30737/jurmateks.v6i1.4583

ABSTRACT

Eggshells become a huge waste and cause various environmental problems. One of the efforts that can be made to reduce this waste is to use it as a material in concrete. Cement and fine aggregate raw materials that are continuously used will eventually run out and are difficult to renew. This study aims to determine the slump value and compressive strength using eggshell waste as a substitute for cement and fine aggregate in concrete. Eggshells as a substitute for cement were in the oven at 105°C for 24 hours and then fired and the material that passed the No. sieve was taken. 200 (75 μm) and sieve number 4 for fine aggregate. The percentage of mixed eggshell content used was 0%, 5%, 10%, and 15%. The results showed that the slump and compressive strength decreased with increasing eggshell content in the concrete. This is caused by the size of the eggshell. The use of egg shells with a size of 4.75 mm as a substitute for fine aggregate is not recommended for concrete. The irregular shape of the eggshell is considered less capable of filling cavities and even causing cavities in concrete. The right size for using egg shells is in the range of 0.5 – 1 mm. Referring to these results, this study highlights the importance of choosing eggshell size as a substitute for fine aggregate. So that with proper utilization, egg shells can be utilized as a material substitute and improve the quality of concrete.

1. Pendahuluan

Sejak peristiwa gempa dan tsunami yang terjadi pada 26 Desember 2004, pembangunan infrastruktur semakin meningkat di Banda Aceh [1]. Bencana alam tersebut menyebabkan 132.000 korban jiwa tewas dan 37.000 korban hilang serta 139.000 rumah, 2.224 sekolah, 693 puskesmas, 3.000 km jalan, 17 unit dari 14 unit pelabuhan laut hancur [2]. Diperkirakan dibutuhkan anggaran lebih dari Rp 70 triliun untuk memulihkan kembali kondisi

yang ada. Pembangunan infrastruktur terus ditingkatkan terutama pada bangunan gedung pemerintahan, jalan, dan jembatan yang diharapkan mampu meningkatkan kelancaran transportasi. Hal tersebut berdampak pada konsumsi material konstruksi yang meningkat.

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang dominan digunakan. Beton terbentuk dari semen, agregat dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah [3]. Semen menjadi material utama pembentuk beton [4], [5]. Semen berperan sebagai bahan pengikat utama yang menghubungkan partikel-partikel pasir, kerikil, dan bahan tambahan lainnya dalam campuran beton. Ketika semen dicampur dengan air, terjadi reaksi hidrasi di mana senyawa dalam semen membentuk ikatan kimia yang mengeras dan memadatkan campuran beton. Ini memungkinkan beton untuk mencapai kekuatan dan kekokohan yang diperlukan untuk konstruksi [6]–[8]. Proses pembuatan semen menghasilkan polusi yang berdampak terhadap kelestarian lingkungan. Selain itu, material beton didominasi dengan material alam, yang mana penggunaan yang dilakukan terus menerus dalam skala besar dapat menyebabkan kelangkaan sumber daya [9]. Inovasi dalam penggunaan material penyusun beton terus dilakukan sebagai upaya untuk menciptakan beton ramah lingkungan. Penggunaan limbah, maupun material lain dengan sifat yang hampir mirip seperti abu sekam padi [10], *fly ash* [11], *silica fume* [12], abu ampas tebu [13], serbuk kaca [14] telah dilakukan.

Cangkang telur juga menjadi salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan. Produksi cangkang telur mencapai lebih dari 8 juta ton setiap tahun di dunia [15]. Limbah tersebut dapat menyebabkan masalah lingkungan serta berdampak pada kesehatan manusia dan hewan [16]. Cangkang telur mengandung kalsium karbonat, yang dapat dimanfaatkan sebagai material penyusun beton. Saat cangkang telur dihancurkan menjadi serbuk, kalsium karbonat yang ada akan bereaksi dengan air dan senyawa-senyawa lain dalam campuran beton, membentuk ikatan kimia. Sehingga, selain mengurangi limbah, penggunaan cangkang telur juga dapat mengurangi penggunaan semen serta mendukung beton ramah lingkungan [17].

Pemanfaatan limbah cangkang telur yang diolah menjadi serbuk cangkang telur dengan kadar 10% pada beton mampu meningkatkan kuat tekan hingga sebesar 19 MPa dari beton normal 16 MPa [17]. Banyak penelitian menyebutkan hal yang sama bahwa kadar terbaik dalam penambahan serbuk cangkang telur dalam beton adalah sebesar 10% [18], [19], [20]. Di sisi lain, kadar serbuk cangkang telur yang lebih dari 10% akan menurunkan nilai kuat tekan beton [21]. Namun ada pula yang menyebutkan bahwa kadar cangkang telur 15% mampu memberikan nilai kuat tekan yang terbaik [22]. Keandalan cangkang telur dalam menggantikan semen ini tidak terlepas dari komponen utamanya yaitu kalsium karbonat yang dimana

komponen tersebut merupakan bahan baku utama dalam produksi semen [23], [24]. Selain kuat tekan, penambahan serbuk cangkang telur juga mempengaruhi nilai slump (*workability*). Nilai slump pada beton dengan penambahan serbuk cangkang telur akan cenderung menurun seiring dengan kadar penambahan yang semakin banyak [25], [19]. Namun tidak sedikit pula yang menyebutkan bahwa nilai slump akan meningkat [17], [26]. Limbah cangkang telur yang sudah menjadi bubuk rata rata mempunyai *specific surface area* 0,3 – 21,2 m²/g, sedangkan semen 0,28 – 0,45 m²/g. Dengan *specific surface area* antara serbuk cangkang telur dan semen hampir sama atau bahkan lebih tinggi, maka *workability* beton akan meningkat [27]. Pemanfaatan limbah cangkang telur telah banyak diteliti dan terbukti mempunyai efek positif terhadap beton, yaitu dapat meningkatkan kuat tekan beton. Penambahan serbuk kulit telur dalam semen sebesar 10% dapat meningkatkan kuat tekan beton, sedangkan penambahan serbuk sebesar 20% dapat menurunkan kuat tekan beton. Hasil penelitian terdahulu menyebutkan bahwa kuat tekan beton pada variasi serbuk kulit telur 0%, 5%, 10%, 20% berturut-turut sebesar 14.582 MPa, 15.44 MPa, 16.941 MPa, dan 10.829 MPa [28]. Namun dari pemanfaatan tersebut, banyak peneliti hanya cenderung berfokus pada substitusi cangkang telur terhadap semen. Untuk memanfaatkan limbah cangkang telur yang lebih banyak, maka pemanfaatan cangkang telur sebagai substitusi agregat halus juga perlu dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai slump dan kuat tekan beton dengan menggunakan limbah cangkang telur sebagai bahan substitusi semen dan agregat halus. Nilai slump dan kuat tekan akan merepresentasikan kualitas beton. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diketahui sejauh mana limbah cangkang telur dapat mempengaruhi sifat-sifat beton. Sehingga dapat memberikan wawasan tentang potensi penggunaan limbah cangkang telur sebagai bahan alternatif dalam produksi beton.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Bahan Bangunan dan Transportasi Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Iskandar Muda, Banda Aceh dengan berpedoman kepada ASTM (*American Society for Testing and Material*) [29] dan ACI (*American Concrete Institute*) [30]. Penelitian yang dilakukan meliputi pengujian material, merencanakan proporsi campuran beton, pembuatan beton, perawatan, pengujian slump dan kuat tekan.

2.1 Material Penelitian

Semen Portland Type 1, pasir halus ukuran 4,75 mm, pasir kasar ukuran 9,52 mm, kerikil ukuran 25,00 mm, dan air bersih [31]. Agregat halus dan kasar tersebut diambil dari sungai Krueng Aceh. Limbah cangkang telur digunakan sebagai substitusi sebagian semen dan agregat halus, dengan proporsi masing-masing sebanyak 5%, 10%, dan 15% [32].

Limbah cangkang telur dibersihkan melalui proses pencucian dan direndam selama 24 jam. Setelah bersih, dilakukan pengeringan selama 24 jam menggunakan oven dengan suhu 105⁰C. Untuk membuat cangkang telur menjadi bubuk halus, dilakukan pembakaran dan kemudian diayak menggunakan saringan No. 200 (0,075 mm) untuk pengganti semen dan saringan No. 4 (4,75 mm) untuk pengganti sebagian agregat halus.

2.2 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Pemeriksaan ini dilakukan untuk memeriksa apakah agregat yang digunakan sudah memenuhi ketentuan yang disyaratkan. Pemeriksaan sifat fisis agregat dilakukan berdasarkan ASTM, yang terdiri dari pemeriksaan berat volume (ASTM C 29/C 29M – 97) [33], absorpsi (ASTM C 127 – 01) [34], berat jenis dan susunan butiran (ASTM C136 – 01) [35]. Analisis berat volume dikatakan layak apabila mempunyai nilai lebih besar dari 1,4 kg/l, sedangkan berat jenis antara 2,0 sampai 2,7, dan nilai absorpsi kurang dari 2% [36]. Untuk persyaratan nilai Nilai FM pasir halus berkisar antara 1,5-3,8, pasir kasar berkisar antara 2,9-3,2, dan agregat kasar berkisar antara 5,5-8,0 [37].

2.3 Benda Uji Beton

Perencanaan komposisi campuran beton mengacu pada ACI 211.1-91 [38]. Mutu beton yang direncanakan 17,00 MPa dengan slump (75-150) mm [39]. Nilai tersebut sesuai dengan persyaratan minimum untuk beton struktural [40]. Pembuatan beton ini tidak menggunakan bahan tambah. Namun, bahan substitusi yang digunakan yaitu berupa limbah cangkang telur.

Tabel 1. Perencanaan Campuran Beton (m³).

No.	Material	Jumlah (Kg/m ³)
1	Air	193,00
2	Semen	310,70
3	Kerikil	1.165,87
4	Pasir Kasar	188,11
5	Pasir Halus	522,32
	Total	2.380,00

Sumber : Rencana Penelitian (2022).

Benda uji berupa silinder berdimensi 15 x 30 cm. Setiap kode beton mempunyai jumlah 5 benda uji, sehingga akan terdapat 20 benda uji yang digunakan. Pembuatan dilakukan

dengan mengisi mortar ke dalam cetakan silinder secara bertahap sebanyak tiga lapisan. Setelah cetakan terisi penuh, digunakan palu karet untuk mengetuk sisi cetakan agar lebih padat. Beton akan didiamkan selama 24 jam di dalam cetakan sebelum dikeluarkan. Setelah dikeluarkan, akan dilakukan perawatan beton selama 28 hari.

Tabel 2. Perencanaan Kadar Substitusi.

Kode Beton	Substitusi Cangkang Telur dalam Semen		Substitusi Cangkang Telur dalam Pasir Halus		Faktor Air Semen (FAS)
	Jumlah Semen (%)	Jumlah Cangkang Telur (%)	Jumlah Pasir Halus (%)	Jumlah Cangkang Telur (%)	
BN	100	0	100	0	
BKT-5	95	5	95	5	-8%
BKT-10	90	10	90	10	-13%
BKT-15	85	15	85	15	-16%

Sumber: Rencana Penelitian (2022).

Keterangan BN merupakan beton normal, BKT5% merupakan beton substitusi cangkang telur 5 %, BKT10% merupakan beton substitusi cangkang telur 10 %, dan BKT15% merupakan beton substitusi cangkang telur 15 %. Untuk faktor air semen (FAS) dikurangi seiring dengan bertambahnya kadar cangkang telur pada beton. Hal tersebut dikarenakan cangkang telur yang mempunyai daya serap yang rendah [41], [42].

2.4 Pengujian Slump

Pengujian slump mengacu pada ASTM C143. Nilai slump digunakan sebagai tolak ukur dari tingkat *workability* pasta beton. Nilai slump diukur berdasarkan tinggi dari beton setelah dikeluarkan dari kerucut abrams. Adapun nilai yang direncanakan mempunyai rentang 75 mm – 100 mm.

2.5 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian ini dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari [43]. Beton dimasukkan ke dalam mesin kuat tekan kapasitas 200 Tf untuk diuji beban maksimum yang dapat ditahan. Pembebanan diberikan secara bertahap sampai tercapainya beban maksimum dan benda uji pecah [44]. Perbandingan antara beban dan luas permukaan yang ditahan oleh beton menghasilkan nilai kuat tekan.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Pengujian Sifat Fisis Agregat

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat.

No.	Jenis Material yang digunakan	Berat		Absorpsi (%)	Fineness Modulus (FM)
		Volume (Kg/l)	Berat Jenis		
1.	Pasir Halus	1,712	2,70	2,44	2,80
2.	Pasir Kasar	1,765	2,71	2,48	3,55
3.	Kerikil	1,794	2,83	0,98	6,49

Sumber : Hasil Penelitian (2022).

Pengujian menunjukkan bahwa berat volume agregat telah memenuhi syarat dengan nilai lebih besar dari 1,4 kg/l. Berat jenis agregat juga memenuhi persyaratan antara 2,0 sampai 2,7 kecuali pada kerikil. Di lain sisi, nilai absorpsi kerikil telah memenuhi spesifikasi kurang dari 2% dan untuk pasir halus dan kasar tidak memenuhi spesifikasi. Untuk nilai FM, semua agregat memenuhi spesifikasi. Material yang tidak sesuai dengan spesifikasi (tidak layak) ini akan mempengaruhi kualitas beton.

3.2 Pengujian Slump Test

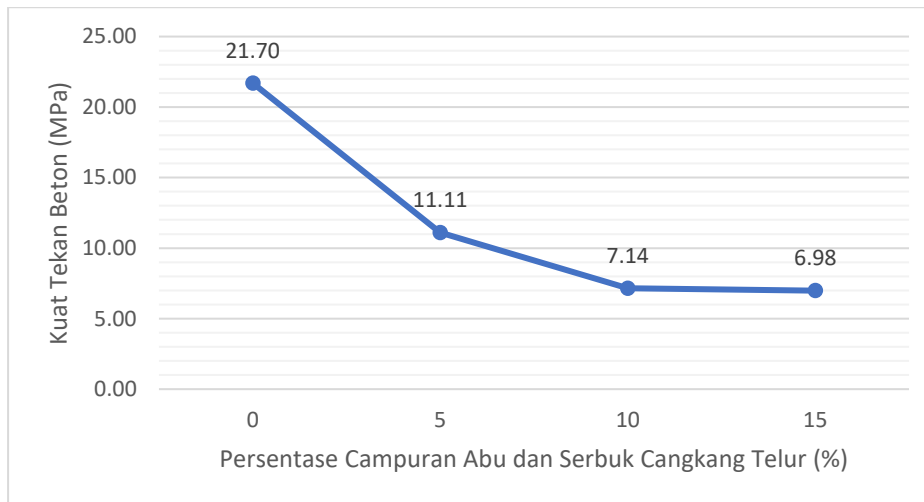
Tabel 4. Data Hasil Uji Slump.

Hari	Jenis Beton	Tinggi Nilai Slump (mm)
28	BN	86,00
	BKT-5	81,00
	BKT-10	78,50
	BKT-15	76,00

Sumber : Analisis Data (2022).

Berdasarkan **Tabel 4** nilai slump telah sesuai dengan yang direncanakan dimana semua beton mempunyai nilai di rentang antara 75 – 100 mm. Nilai slump cenderung menurun seiring bertambahnya kadar cangkang telur yang juga dialami oleh Lakhari [19]. Penurunan ini dipengaruhi oleh kalsium karbonat yang ada di cangkang telur. Kalsium Karbonat akan mempercepat pembentukan Calcium-Silicate-Hydrate (C-S-H) yang berdampak pada mengecilnya pori dalam beton sehingga menurunkan kemampuan penyerapan air beton dan mempercepat proses hidrasi. Hal tersebut menyebabkan nilai slump menjadi rendah [45]. Nilai slump yang rendah menunjukkan bahwa campuran beton memiliki konsistensi yang lebih kaku. Konsistensi yang lebih kaku dapat menyebabkan adanya segregasi dan munculnya rongga dalam campuran beton dan berdampak pada kualitas beton.

3.3 Pengujian Kuat Tekan Beton



Sumber : Analisa Data (2022).

Gambar 1. Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dengan Beton Serbuk Cangkang Telur.

Gambar 1 menunjukkan bahwa kuat tekan beton menurun seiring dengan meningkatnya serbuk cangkang telur pada beton. Nilai kuat tekan beton normal didapatkan 21,70 Mpa (melebihi yang direncanakan 17,00 MPa). Sedangkan kuat tekan beton dengan serbuk cangkang telur 5%, 10%, dan 15 % mempunyai kuat tekan masing masing sebesar 11,11 MPa, 7,14 MPa, dan 6,98 MPa.

Penggunaan cangkang telur dengan ukuran 4,75 mm menyebabkan penurunan kuat tekan. Dengan ukuran dan kekerasan dari cangkang telur yang rendah menyebabkan terjadinya pecah pada saat proses *mixing* beton. Pecahnya cangkang telur menjadi ukuran yang lebih kecil ini tentunya akan mengubah distribusi ukuran partikel beton yang sebelumnya telah direncanakan. Hakeem et al. mengungkapkan bahwa penggunaan cangkang telur dengan ukuran 0.5 hingga 1 mm mampu meningkatkan kuat tekan sebesar 18.01% pada kadar penambahan 10% [46]. Hal ini mengindikasikan bahwa ukuran partikel cangkang telur sangat mempengaruhi terhadap kualitas beton.

3.4 Mortar

Dalam pengaplikasian cangkang telur terhadap beton sebagai pengganti agregat halus, mortar mempunyai peran utama dalam mempengaruhi kuat tekan beton. Agregat halus mempunyai fungsi pengisi rongga di antara partikel-partikel agregat kasar. Bentuk cangkang telur yang tidak beraturan dinilai kurang mampu dalam mengisi rongga dan bahkan menyebabkan rongga beton. Hal ini tentunya sangat berdampak negatif pada kuat tekan beton.

Selain itu, kualitas mortar dipengaruhi oleh banyak faktor seperti konsistensi, pelaksanaan mixing, serta perawatan. Konsistensi mortar merujuk pada tingkat kelembutan atau kekentalan campuran. Konsistensi yang tepat akan memastikan mortar mudah diaplikasikan dan mencapai pengikatan yang sempurna. Konsistensi mortar yang buruk, seperti terlalu kering atau terlalu basah, dapat mempengaruhi nilai slump (*workability*) beton. Nilai absorpsi material menjadi faktor yang mempengaruhi cukup mempengaruhi. Material yang mempunyai nilai absorpsi tinggi cenderung berdampak negatif pada mortar [47]. Mengacu pada **Tabel 3** dimana agregat halus mempunyai kelebihan nilai absorpsi, maka hal tersebut menyebabkan mortar yang terbentuk terlalu kering. Mortar yang terlalu kering mengakibatkan menurunnya nilai slump, sehingga campuran beton sukar untuk diaplikasikan pada cetakan. Hal ini menegaskan kembali bahwa kualitas material memainkan peran penting dalam mempengaruhi kualitas mortar. Oleh karena itu, dalam pembuatan beton perlu dilakukan pengujian material dan memastikan material yang digunakan telah layak.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai slump, dan kuat tekan menurun seiring dengan meningkatnya kadar cangkang telur dalam beton. Penurunan nilai slump disebabkan oleh sifat Kalsium Karbonat yang mempercepat pembentukan Calcium-Silicate-Hydrate (C-S-H). Hal tersebut berdampak pada mengecilnya pori dan menurunkan kemampuan penyerapan air beton dan mempercepat proses hidrasi. Selain itu, penggunaan cangkang telur dengan ukuran 4,75 mm sebagai pengganti agregat halus menyebabkan penurunan kuat tekan beton. Dimana dengan ukuran dan kekerasan dari cangkang telur yang rendah menyebabkan terjadinya pecah pada saat proses *mixing* beton. Bentuk cangkang telur yang tidak beraturan dinilai kurang mampu dalam mengisi rongga dan bahkan menyebabkan rongga pada beton. Ukuran yang tepat dalam pemanfaatan cangkang telur mempunyai rentang 0.5 – 1 mm. Mengacu pada hasil tersebut, penelitian ini menyoroiti pentingnya pemilihan ukuran cangkang telur sebagai pengganti agregat halus. Sehingga dengan pemanfaatan yang tepat, cangkang telur dapat dimanfaatkan sebagai substitusi material dan meningkatkan kualitas beton.

5. Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM), Universitas Iskandar Muda (Unida) yang memberikan dukungan pada penelitian ini yaitu berupa biaya yang dikeluarkan guna untuk meningkatkan penelitian di

lingkungan Unida. Biaya ini diperuntukkan untuk penelitian bersama dosen dan mahasiswa pada Tahun 2022. Selain itu, peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat selama proses penelitian dilaksanakan.

Daftar Pustaka

- [1] Bunyamin, "Comparison of deflection of hollow block concrete blocks with normal reinforced concrete beam," in *AIP Conference Proceedings*, 2019, vol. 2059, no. 1, p. 20039.
- [2] A. W. Lestari and C. Husna, "Sistem peringatan bencana dan mobilisasi sumber daya dalam menghadapi bencana gempa bumi dan tsunami," *Idea Nurs. J.*, vol. 8, no. 2, pp. 23–29, 2017.
- [3] W. Zhang *et al.*, "Effect of calcium leaching on the fracture properties of concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 365, p. 130018, 2023.
- [4] A. P. Gursel and C. Ostertag, "Life-Cycle Assessment of High-Strength Concrete Mixtures with Copper Slag as Sand Replacement," *Adv. Civ. Eng.*, 2019, doi: 10.1155/2019/6815348.
- [5] G. Abebaw, B. Bewket, and S. Getahun, "Experimental Investigation on Effect of Partial Replacement of Cement with Bamboo Leaf Ash on Concrete Property," *Adv. Civ. Eng.*, 2021, doi: 10.1155/2021/6468444.
- [6] D. Siang *et al.*, "Influence of SiO₂, TiO₂ and Fe₂O₃ nanoparticles on the properties of fly ash blended cement mortars," *Constr. Build. Mater.*, vol. 258, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119627.
- [7] E. Zahraalsadat, N. D. N. Norsyahariati, Z. M. Yusoff, and V. Rostami, "Evaluation of the Effects of Cement and Lime with Rice Husk Ash as an Additive on Strength Behavior of Coastal Soil," *Materials (Basel)*, vol. 14, 2021, doi: 10.3390/ma14051140.
- [8] R. Palod, S. V Deo, and G. D. Ramtekkar, "Sustainable Approach for Linz-Donawitz Slag Waste as a Replacement of Cement in Concrete : Mechanical , Microstructural , and Durability Properties," *Adv. Civ. Eng.*, 2020, doi: 0.1155/2020/5691261.
- [9] R. M. Andrew, "Global CO₂ emissions from cement production, 1928--2017," *Earth Syst. Sci. Data*, vol. 10, no. 4, pp. 2213–2239, 2018.
- [10] M. S. Chennakesava Rao *et al.*, "Utilization of agricultural, industrial waste and nanosilica as replacement for cementitious material and natural aggregates – Mechanical, microstructural and durability characteristics assessment," *Environ. Res.*, vol. 231, 2023, doi: 10.1016/j.envres.2023.116010.
- [11] J. Wang, Z. Che, K. Zhang, Y. Fan, D. Niu, and X. Guan, "Performance of recycled aggregate concrete with supplementary cementitious materials (fly ash, GBFS, silica fume, and metakaolin): Mechanical properties, pore structure, and water absorption,"

- Constr. Build. Mater.*, vol. 368, 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.130455.
- [12] V. Kannan and K. S. Natarajan, “Gravimetric weight loss of steel in self-compacting concrete blended with wood ash and silica fume,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 30, no. 4, pp. 9483–9495, 2023, doi: 10.1007/s11356-022-22780-9.
- [13] T. A. Abdalla, D. O. Koteng, S. M. Shitote, and M. Matallah, “Mechanical Properties of Eco-friendly Concrete Made with Sugarcane Bagasse Ash,” *Civ. Eng. J.*, vol. 8, no. 6, pp. 1227–1239, 2022, doi: 10.28991/CEJ-2022-08-06-010.
- [14] R. Raydan, J. Khatib, A. Jahami, A. K. El Hamoui, and F. Chamseddine, “Prediction of the mechanical strength of concrete containing glass powder as partial cement replacement material,” *Innov. Infrastruct. Solut.*, vol. 7, no. 5, 2022, doi: 10.1007/s41062-022-00896-8.
- [15] D. Yang *et al.*, “Potential use of waste eggshells in cement-based materials: A bibliographic analysis and review of the material properties,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 344, p. 128143, 2022.
- [16] H. Y. Tiong, S. K. Lim, Y. L. Lee, and J. H. Lim, “Engineering Properties of 1200 kg/m Lightweight Foamed Concrete with Egg Shell Powder as Partial Replacement Material of Cement,” *E3S Web Conf.*, vol. 65, 2018, doi: 10.1051/e3sconf/20186502010.
- [17] B. O. Orogade *et al.*, “Investigation of partial replacement of cement with egg shell powder in palm oil fiber-concrete,” *Mater. Today Proc.*, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.04.164.
- [18] P. C. Kumar, T. Shanthala, K. Aparna, and S. V Babu, “Experimental Investigation on the Combined Effect of Fly Ash and Eggshell Powder as Partial Replacement of Cement,” in *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2022, vol. 222, pp. 371–378, doi: 10.1007/978-981-16-8496-8_46.
- [19] M. T. Lakhari and S. Y. Kong, “Strength and Workability of Concrete Incorporating Silica Fume and Egg Shell Powder as Cement Replacement,” in *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2022, vol. 201, pp. 171–180, doi: 10.1007/978-981-16-6932-3_15.
- [20] S. Ali Said Al Abri, C. Rahul Rollakanti, K. Kumar Poloju, and A. Joe, “Experimental Study on Mechanical Properties of Concrete by partial replacement of Cement with Eggshell Powder for Sustainable Construction,” *Mater. Today Proc.*, vol. 65, pp. 1660–1665, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.04.708.
- [21] A. R A*, S. Reddy B, G. S. Yadav, and D. S. Sudarshan, “Partial Replacement of Cement and Coarse Aggregate by Egg Shell Powder and Coconut Shells,” *Int. J. Innov. Technol.*

- Explor. Eng.*, vol. 9, no. 4, pp. 1242–1246, 2020, doi: 10.35940/ijitee.d1573.029420.
- [22] V. R. Prasath Kumar, M. Balasubramanian, A. Sreekumar, and G. K. Jospheh, “Study on mechanical properties of concrete by replacing cement partially with EGG shell powder,” *J. Adv. Res. Dyn. Control Syst.*, vol. 10, no. 8 Special Issue, pp. 583–588, 2018.
- [23] S. Sathvik, A. Edwin, A. Basnett, P. Sharma, and J. Carmicheal, “Experiment of partial replacement of egg shell powder and coconut fibre in concrete,” *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 8, no. 6 Special Issue 4, pp. 1034–1038, 2019, doi: 10.35940/ijitee.F1213.0486S419.
- [24] H. Abdulhameed, A. Abdulhameed, A. Mansi, A. Hanoon, and A. Mohammed, “Study the use of Nano-limestone and Egg-shell Ash in Eco-friendly SCC: An Experimental and Statistical Evaluation Based on Computer Programming,” in *Proceedings - International Conference on Developments in eSystems Engineering, DeSE, 2021*, vol. 2021-Decem, pp. 509–514, doi: 10.1109/DESE54285.2021.9719563.
- [25] M. Vignesh, S. Vijayanand, and P. V. Christy, “Efficacy of partial replacement of cement with hypo sludge and egg shell powder in concrete,” *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 68, no. 2, pp. 107–114, 2020, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V68I2P217S.
- [26] Y. Kumar Kushwaha, V. Kumar Badal, and S. R. Lal, “Study on Properties Strength of Concrete By Partial Replacement of Fine Aggregate With Copper Slag and Cement With Egg Shell Powder,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, 2022.
- [27] N. Sathiparan, “Utilization prospects of eggshell powder in sustainable construction material--a review,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 293, p. 123465, 2021.
- [28] Y. Ashariyanto, A. I. N. Diana, and D. Deshariyanto, “Pengaruh Penggunaan Serbuk Kulit Cangkang Telur Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton,” *Publ. Ris. Orientasi Tek. Sipil*, vol. 4, no. 2, pp. 114–119, 2022.
- [29] I. Standards-Worldwide, “Annual Book of ASTM Standard 2004,” *Sect. 4, Vol. 04.02, Concr. Aggregates*, 2004.
- [30] A. C. I. Standard, “Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete,” *ACI Man. Concr. Pract.*, pp. 1–38, 1996.
- [31] B. Bunyamin, N. Hendrifa, and M. Ridha, “Pengaruh Substitusi Cangkang Tiram Sebagai Pengganti Sebahagian Semen Dan Pasir Halus Terhadap Kuat Tarik Belah Beton,” *TERAS J.*, vol. 11, no. 2, pp. 272–281, 2021.
- [32] B. Bunyamin and A. Mukhlis, “Utilization of Oyster Shells as a Substitute Part of Cement and Fine Aggregate in the Compressive Strength of Concrete,” *Aceh Int. J. Sci.*

Technol., vol. 9, no. 3, 2020.

- [33] American Society for Testing and Material, “Standard Test Method for Bulk Density (‘Unit Weight’) and Voids in Aggregate,” *ASTM Int.*, 2010.
- [34] American Society for Testing and Material, “Standard test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate,” *Am. Soc. Test. Mater.*, 1993.
- [35] American Society for Testing and Material, “ASTM C136-01, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates,” *ASTM Int.*, 2001.
- [36] M. S. Shetty and A. K. Jain, *Concrete Technology (Theory and Practice)*. S. Chand Publishing, 2019.
- [37] American Society for Testing and Material, “C 33-97: Standard specification for concrete aggregates,” *ASTM Int.*, vol. 4.
- [38] ACI, “ACI Manual of Concrete Practice 2005, Part I, Report: ACI 104-71 (97) to ACI 223-98, Selecting Proportions For Mass Concrete (ACI 211.1-91),” *Am. Concr. Institute, Detroit, Michigan.*, 2005.
- [39] B. Bunyamin, R. P. Munirwan, M. Ridha, and N. Hendrifa, “Utilization of wood processing dust as a substitute for a part of cement in concrete,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, vol. 1087, no. 1, p. 12004.
- [40] B. S. N. (BSN), “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019),” *Standar Nas. Indones.*, no. 8, pp. 653–659, 2019.
- [41] H. Y. Tiong, S. K. Lim, Y. L. Lee, C. F. Ong, and M. K. Yew, “Environmental impact and quality assessment of using eggshell powder incorporated in lightweight foamed concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 244, p. 118341, 2020.
- [42] H. M. Hamada, B. A. Tayeh, A. Al-Attar, F. M. Yahaya, K. Muthusamy, and A. M. Humada, “The present state of the use of eggshell powder in concrete: A review,” *J. Build. Eng.*, vol. 32, p. 101583, 2020.
- [43] B. Bunyamin, F. D. Kurniasari, R. P. Munirwan, and R. Putra Jaya, “Effect of Coral Aggregates of Blended Cement Concrete Subjected to Different Water Immersion Condition,” *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2022, 2022.
- [44] B. Bunyamin, “Pengaruh Sambungan Beton Pracetak Hollow Block terhadap Pola Retak yang Timbul,” *J. Serambi Eng.*, vol. 5, no. 2, 2020.
- [45] F. S. A. Ghaffar *et al.*, “Mechanical Properties of Concrete Containing Untreated Palm Oil Fuel Ash and Egg Shell Powder,” in *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2021, vol. 157 LNCE, pp. 259–270, doi: 10.1007/978-981-16-2187-1_23.

- [46] I. Y. Hakeem, R. O. Abd-Al Ftah, B. A. Tayeh, and R. D. A. Hafez, "Eggshell as a fine aggregate replacer with silica fume and fly ash addition in concrete: A sustainable approach," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 18, p. e01842, 2023, doi: 10.1016/j.cscm.2023.e01842.
- [47] X. Xu *et al.*, "Chemical upcycling of waste PET into sustainable asphalt pavement containing recycled concrete aggregates: Insight into moisture-induced damage," *Constr. Build. Mater.*, vol. 360, no. November, p. 129632, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129632.